

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**



**VIII МІЖНАРОДНА ШКОЛА-СЕМІНАР  
ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

**Ужгород, 26 вересня – 1 жовтня 2016 р.**

**ПРАЦІ ШКОЛИ-СЕМІНАРУ**

**УЖГОРОД – 2016**

**Програмний комітет:**

Асташкін В.І., Бабич М.Д., Бардачов Ю.М., Белько І.В., Бідюк П.І., Бодянський Є.В., Величко В.Ю., Винокурова О.А., Волошин О.Ф. – співголова, Воронін А.М., Гаращенко Ф.Г., Гече Ф.Е., Головач Й.І., Григорків В.С., Гуляницький Л.Ф., Гупал А.М., Задирака В.К., Зайченко Ю.П., Згуровський М.З., Івохін Є.В., Котов В.М., Крак Ю.В., Кривонос Ю.Г., Кудін В.І., Лепа Р.М., Литвиненко В.І., Литвинов В.В., Любчик Л.М., Маляр М.М., Марков К., Михальов О.І., Мікловда В.П. – співголова, Оксіюк О.Г., Онищенко А.М., Панкратова Н.Д., Провотар О.І., Семенова Н.В., Сергієнко І.В., Скатков О.В., Снитюк В.Є., Тесля Ю.М., Федунов Б.Є., Хапко Р.С., Чикрій А.О., Шило В.П., Яджак М.С.

**Організаційний комітет:**

Маляр М.М. – голова, Гече Ф.Е., Глебена М.І., Гренджа В.І., Кузка О.І., Млавець Ю.Ю., Мулеса О.Ю., Мулеса П.П., Повідайчик М.М., Поліщук В.В., Шаркаді М.М., Штимак А.Ю.

**Підготовка матеріалів до друку:** Маляр М.М., Млавець Ю.Ю., Повідайчик М.М.

**Рецензування:** Волошин О.Ф., Гуляницький Л.Ф.

Праці VIII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, УжНУ, 2016. – 287 с.

© УжНУ, 2016

© Автори публікацій, 2016

© ПП “Інвазор”, 2016

## ПЕРЕДМОВА

Від імені і за дорученням програмного комітету Міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень» вітаю її учасників з круглою датою – 1000 числом проведення (у двійковому численні)! Бажаю всім творчої наснаги, міцного здоров'я, здійснення всіх розумних бажань, до яких, в першу чергу, рекомендую занести участь у наступному зібранні в 2018 році! Особливе вітання тим учасникам, хто реалізував своє розумне бажання участі в нашому сьогоденному зібранні «наживо»!

Цього разу нашу Міжнародну школу-семінар «Теорія прийняття рішень» присвячено двом славним датам:

- 80-річчю видатного українського вченого, організатора і педагога, академіка НАН України, директора Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України Івана Васильовича Сергієнка;

- 50-річчю математичного факультету ДВНЗ «Ужгородський державний університет».

Інформацію про життєвий і творчий шлях Сергієнка І.В., підготовлену його учнями, колегами, співробітниками відділу Інституту кібернетики, який він очолює з 1965 року, дивіться далі. Особисто від себе висловлюю вдячність Івану Васильовичу за підтримку в різних життєвих ситуаціях, бажаю здоров'я, творчої наснаги, довгих років життя. В далекому 1978 році Іван Васильович виступав у якості першого опонента на захисті моєї кандидатської дисертації, як голова наукової спецради підтримував моїх учнів при захистах кандидатських і докторських дисертацій. Він підтримував також науковий напрям «Послідовний аналіз варіантів», започаткований моїм науковим консультантом по докторській дисертації академіком Міхалевичем В.С. і з яким пов'язані мої наукові інтереси. Так, під час роботи нашої школи-семінару буде представлено монографію «Последовательный анализ вариантов в задачах исследования и проектирования сложных систем» (А.Ф.Волошин, В.И.Кудин, ИПЦ «Киевский университет» - «Наукова думка», 2015. – 351с.), науковим редактором якої виступив І.В. Сергієнко. Дивіться далі також інформацію про математичний факультет Ужгородського національного університету, з яким я маю честь співпрацювати понад 15 років, допомагати його співробітникам виховувати студентів, аспірантів та докторантів.

На VIII-у школу-семінар було прийнято 153 тези доповідей 278 авторів, загальний обсяг матеріалів конференції становить майже 300 сторінок (для порівняння: обсяг праць першої школи – 72 стор.) Як завжди, серед авторів – академіки, член-кореспонденти, професори, доктори наук, кандидати, доценти, аспіранти і студенти. Географія учасників представлена всією Україною. В доповідях представлені всі наукові напрямки, заявлені програмою: філософські та методологічні основи теорії прийняття рішень; математичні моделі та методи підтримки прийняття і оптимізації рішень та їх застосування; інтелектуальні системи та інформаційні технології підтримки прийняття рішень; методи штучного інтелекту, інтелектуальний аналіз даних та знань; прикладні задачі алгебри, диференціальні та ймовірності моделі; задачі обчислювальної математики, прикладної механіки та оптимізація обчислень; методологічні засади та програмні системи електронної освіти.

На жаль, «складний геополітичний стан нашої держави», про який ішлося в Привітанні-2014 не покращився, тому залишається лише повторити, «що життя продовжується, в сьогоденні закладається підґрунтя майбутнього, в якому наука повинна зайняти чільне місце у розв'язанні цивілізаційних проблем».

Як і в попередні роки, будуть прочитані лекції для студентів математичного факультету УжНУ. Висловили бажання прочитати лекції професори Зайченко Ю.П., Панкратова Н.Д., Гайворонська Г.С., Гуляницький Л.Ф., Снитюк В.Є., Волошин О.Ф.

Бажаю всім нам плідної роботи, конструктивних дискусій, приємного відпочинку у вільний час!

Співголова програмного комітету проф. Волошин О.Ф.

## ДО 80-РІЧЧЯ АКАДЕМІКА НАН УКРАЇНИ І.В. СЕРГІЄНКА

13 серпня 2016 р. виповнилось 80 років від дня народження академіка НАН України І.В. Сергієнка – відомого вченого, доктора фізико-математичних наук, професора, директора Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. Він вніс значний вклад у розвиток інформатики, обчислювальної математики, системного аналізу та математичного моделювання. Наукова спільнота України щиро вітає Івана Васильовича зі славним ювілеєм.

І.В. Сергієнко народився на Полтавщині. У 1959 р. закінчив механіко-математичний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. Відтоді й дотепер усе його наукове життя нерозривно пов'язане з Інститутом кібернетики (який у ті часи називався Обчислювальний центр Академії наук УРСР). У 1964 р. Іван Васильович захистив кандидатську дисертацію, а в 1972 р. – докторську.

Наукові інтереси І.В. Сергієнка формувалися під впливом його вчителів, відомих учених – академіків В.М. Глушкова, А.О. Дородніцина, В.С. Михалевича та члена-кореспондента НАН України К.Л. Ющенко.

Наукова діяльність І.В. Сергієнка починалася з дослідження задач дискретної оптимізації. Він запропонував новий підхід до побудови алгоритмів наближеного розв'язання таких задач, створив нову алгоритмічну схему – метод вектора спаду, який дозволив побудувати сімейство нових алгоритмів розв'язання багатоекстремальних задач. Ці алгоритми зіграли важливу роль при розробці пакетів прикладних програм серії ДИСПРО, ДИСНЕЛ, при створенні комп'ютерних технологій для розв'язання задач дискретної оптимізації. Метод вектора спаду отримав свій розвиток у роботах Івана Васильовича, його учнів і фахівців різних наукових напрямів. Зокрема, на основі цього методу був розроблений метод глобального рівноважного пошуку – потужний засіб розв'язання складних задач дискретної оптимізації. Порівняльний аналіз кращих відомих алгоритмів, призначених для розв'язання таких задач, і алгоритмів глобального рівноважного пошуку показав переваги останніх. На основі нових розробок отримано кращі результати з меншими витратами часу, особливо при розв'язанні задач великої розмірності. Під керівництвом І.В. Сергієнка проведено дослідження проблеми стійкості багатокритеріальних моделей дискретної оптимізації до збурювань вихідних даних, вивчено взаємозв'язки різних типів стійкості векторних задач цілочислової оптимізації, отримано необхідні й достатні умови стійкості.

Велику увагу І.В. Сергієнко та його учні приділяють науковим дослідженням, що стосуються системного аналізу багатокомпонентних розподілених систем. Побудовано математичні моделі основних процесів, характерних для багатокомпонентних ґрунтових середовищ, що вміщують довільно розташовані у просторі тонкі прошарки і включення природного та штучного походжень як нові класи крайових та початково-крайових задач у частинних похідних з розривними розв'язками. Ці моделі та методи заклали теоретичну основу проблемних складових автоматизованих систем НАДРА, НАДРА-Д, НАДРА-3D. За допомогою комплексу НАДРА-3D та обчислювального комплексу PENTIUM-СКІТ уперше в просторовій постановці розв'язано задачу аналізу динаміки підземних вод Київської промислово-міської агломерації до та в процесі інтенсивної експлуатації водоносних горизонтів.

І.В. Сергієнко – автор понад 700 наукових праць з інформатики, обчислювальної математики, теорії оптимізації, системного аналізу і математичного моделювання, математичного забезпечення ЕОМ, серед яких 50 монографій. П'ять із них перекладено англійською мовою та видано за кордоном. Він підготував 28 докторів та понад 60 кандидатів наук.

У 1978 р. І.В. Сергієнка обрано членом-кореспондентом НАН України, а в 1988 р. – академіком НАН України. З 1982 р. по 1995 р. він – заступник директора, а з 1995 р. – директор Інституту кібернетики, генеральний директор Кібернетичного центру НАН України. З 1995 р. до 2009 р. – академік-секретар Відділення інформатики НАН України, член Президії НАН України. З 2009 р. – радник Президії НАН України.

І.В. Сергієнко створив наукову школу з комп'ютерної математики та інтелектуальних інформаційних технологій. Його наукова діяльність пов'язана насамперед зі створенням і дослідженням моделей та методів оптимізації, зокрема дискретної оптимізації, з розв'язанням ряду сучасних проблем обчислювальної і прикладної математики, з розробленням теорії програмування та створенням пов'язаних з нею комп'ютерних інтелектуальних технологій, які становлять підґрунтя для розв'язання на комп'ютерах реальних задач, у тому числі задач трансобчислювальної складності.

Під науковим керівництвом І.В. Сергієнка у 2004–2010 рр. в Інституті кібернетики тривала наполеглива праця зі створення сімейства суперкомп'ютерів СКІТ та інформаційних комп'ютерних технологій для них, завдяки чому Інститут увійшов до числа передових фірм світу, спроможних самостійно розв'язувати надскладні задачі державного масштабу. Це стосується задач, пов'язаних з ринковою економікою, різноманітними проблемами управління, розвитком самої науки (інформатики, біології, медицини, енергетики, освоєння космосу тощо), вирішенню завдань оборонного комплексу, захисту інформації в комп'ютерних мережах та з багатьма іншими галузями.

Основні результати академіка НАН України І.В. Сергієнка і його учнів у галузі обчислювальної математики та інформаційних технологій моделювання і дослідження процесів різної природи пов'язані з розв'язанням на суперкомп'ютерах та обчислювальних мережах сучасних проблем економіки, управління, екології, медицини, енергетики, захисту навколишнього природного середовища, меліорації та інших предметних галузей.

З 1972 р. І.В. Сергієнко працює професором у філіях кафедр Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Московського фізико-технічного інституту (нині – Фізико-технічний навчально-науковий центр НАН України). Ці кафедри функціонують як базові безпосередньо в Інституті кібернетики. Завдячуючи їх випускникам, Інститут зміцнює свій науковий і кадровий потенціал, постійно підтримує тісні зв'язки з університетською науковою спільнотою.

Про високий рівень наукових досліджень, що в останні роки здійснюються в Інституті кібернетики під керівництвом І.В. Сергієнка, свідчать численні гранти, одержані вченими Інституту від міжнародних організацій та установ. До речі, щоліта, починаючи з 2005 р., на конкурсній основі науковці і студенти старших курсів деяких університетів США проходять стажування в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України.

І.В. Сергієнко – президент Української федерації інформатики (УФІ), голова Національного комітету України з інформатики, голова наукових рад НАН України «Інтелектуальні інформаційні технології» та з проблеми «Кібернетика», головний редактор міжнародного наукового журналу «Кібернетика і системний аналіз» та збірника «Комп'ютерна математика».

І.В. Сергієнко – почесний академік Академії наук вищої школи України, іноземний член РАН, почесний дослідник ІТНЕА (Institute for Information Theories and Applications, Болгарія). Йому присвоєно звання Почесного професора 12 провідних вітчизняних та зарубіжних університетів, в тому числі Ужгородського національного університету. Він заслужений діяч науки і техніки (1991 р.), лауреат державних премій в галузі науки і техніки України (1972, 1993, 1999, 2005 рр.) та СРСР (1981 р.), премії Ради Міністрів СРСР (1982 р.), премій імені В.М. Глушкова (1986 р.), імені С.О. Лебедева (1997 р.), імені В.С. Михалевича (2002 р.), імені А.О. Дородніцина (2007 р.) НАН України, нагороджений орденом Дружби народів та орденами «За заслуги» I, II, та III ступенів.

Вітаємо Івана Васильовича з ювілеєм, бажаємо йому міцного здоров'я, творчого натхнення та нових плідних успіхів на благо науки і рідної країни!

## МАТЕМАТИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 50!

У 2016 р. математичний факультет УжНУ святкує 50-річний ювілей. Історія факультету є предметом гордості всіх, хто в ньому працює та навчається, даниною глибокої подяки тим, хто збагатив його славу і честь, створював традиції та заклав фундамент на майбутнє. Неоціненний вклад у розвиток математичного факультету здійснили вчені М. Зарицький, доктор філософії, професор, перший завідувач кафедри загальної математики, науковці Н. Айзенберг, А. Бовді, С. Берман, А. Буледза, А. Галасі, Б. Гартштейн, П. Гудивок, Ю. Ковач, Ю. Студнев, В. Севбо, Ю. Червак, І. Шулла та ін., які започаткували формування окремих наукових шкіл та виховали не одне покоління математиків.

З 1 вересня 1966 р. розпочинається історія математичного факультету як окремого підрозділу нашого вишу, першим деканом якого став Г. Сірик. В цей час відбувається бурхливе зростання новоствореного факультету. За перші роки свого існування на факультеті працює три кафедри – загальної математики, теоретичної механіки та диференціальних рівнянь, теоретичної кібернетики і математичної логіки, які з часом були перейменовані і доповнені новими структурними підрозділами. На даний час на факультеті функціонують п'ять кафедр: алгебри, теорії ймовірностей і математичного аналізу, диференціальних рівнянь та математичної фізики, системного аналізу і теорії оптимізації, кібернетики і прикладної математики.

На сьогоднішній день на математичному факультеті ліцензовано 5 бакалаврських та 3 магістерські програми (табл. 1).

Таблиця 1.

Ліцензовані обсяги підготовки фахівців на математичному факультеті

Код та найменування галузі знань	Шифр та найменування спеціальності	Ліцензований обсяг			
		ОР «Бакалавр»		ОР «Магістр»	
		Денна форма	Заочна форма	Денна форма	Заочна форма
01 Освіта	014.04 Середня освіта (Математика)	45	35	20	20
11 Математика та статистика	111 Математика	55	45	20	20
11 Математика та статистика	112 Статистика	40	–	–	–
11 Математика та статистика	113 Прикладна математика	80	–	20	20
12 Інформаційні технології	124 Системний аналіз	40	–	–	–

Післяпрофесійна підготовка математиків здійснюється в аспірантурі за спеціальностями 111 «Математика» та 113 «Прикладна математика», а також у докторантурі за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

На факультеті навчається біля 400 студентів та аспірантів, а навчально-виховний процес забезпечують 5 докторів наук, професорів, 31 кандидат наук, доцент та 8 викладачів.

Значна увага на факультеті приділяється науково-дослідницькій діяльності. Професорсько-викладацький склад працює над дослідженням наукових тем за профілем кафедр. На математичному факультеті регулярно видається науковий вісник УжНУ (серія «Математика і Інформатика»), де публікуються результати наукових досліджень як співробітників УжНУ, так і наукові статті вчених інших наукових та навчальних закладів. Результати досліджень викладачів факультету знаходять своє відображення в тематиці дипломних та курсових робіт студентів, а також у нових навчальних курсах.

За час свого існування на базі математичного факультету було проведено низку конференцій та семінарів: Всесоюзна конференція з теорії зображень скінченних груп

(1959 р.), Всесоюзна школа з граничних теорем теорії ймовірностей (1961 р.), Всесоюзна алгебраїчна конференція (1964 р.), Всесоюзна конференція з теорії ймовірностей і математичної статистики (1964 р.), Всесоюзна конференція з теорії кодів (1967 р.), Всесоюзний семінар «Зображення груп та їх застосування» (1972 р.), Республіканська літня математична школа-семінар з диференціальних рівнянь та їх застосування (1980 р.), Восьма Всесоюзна конференція з числових методів розв'язування задач теорії пружності і пластичності (1983 р.), Всесоюзний семінар проблем стійкості стохастичних моделей (1984 р.), Виїзна сесія АН СРСР з алгебри, теорії чисел і математичної логіки (1988 р.), Всесоюзний симпозіум «Механіка і фізика руйнування композитних матеріалів і конструкцій» (1988 р.), Міжнародна алгебраїчна конференція, присвячена 70-річчю від дня народження С. Бермана (1992 р.), Друга українсько-угорська конференція з нових напрямків у теорії ймовірностей і математичної статистики (1992 р.), Міжнародний науковий семінар «Асимптотичні та якісні методи теорії диференціальних рівнянь» (1998 р.). З 2002 р. один раз на два роки проводиться Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень», завдяки якій наші студенти та аспіранти мають змогу слухати лекції та доповіді провідних українських та закордонних вчених.

Принагідно зауважимо, що протягом свого становлення математичний факультет постійно підтримує тісну співпрацю як з вітчизняними, так і зарубіжними науково-дослідними установами: Інститутом кібернетики ім. В.М. Глушкова, Інститутом математики НАН України, Київським національним університетом ім. Т. Шевченка, Харківським національним університетом радіоелектроніки, Університетом ім. П. Шафарика (м. Кошіце, Словаччина), Поморською академією (м. Слупськ, Польща), Дебреценським університетом (Угорщина) та ін.

До загальноєвропейського наукового простору включено не лише викладацький колектив математичного факультету – наші студенти також активно долучаються до міжнародної співпраці. Молоді люди мають змогу за програмою академічної мобільності навчатися в провідних вишах Польщі, Словаччини, Угорщини. Наші студенти беруть активну участь у міжнародних літніх школах, тренінгах, виграють грантові програми та стають стипендіатами міжнародних фондів.

Для всебічного розвитку студентів на факультеті створені належні умови: функціонує студентське самоврядування, працюють наукові та професійно спрямовані гуртки, організовуються екскурсії, в тому числі і міжнародні, студенти приймають участь у спортивних змаганнях і організовують творчі вечори; також ведеться постійна робота з працевлаштування наших випускників.

За час свого становлення значно зміцнилася навчально-лабораторна база математичного факультету. Заняття студентів проходять у 5 комп'ютерних класах, в яких нараховується близько 50 сучасних персональних комп'ютерів. Студенти мають змогу готувати свої курсові та випускові роботи в спеціалізованих лабораторіях, слухати лекції із використанням сучасної мультимедійної техніки.

В основу перспективного плану розвитку математичного факультету покладено подальше вдосконалення форм і методів навчально-методичної та виховної роботи, розвиток творчих здібностей майбутніх фахівців, впровадження проблемних методів навчання, засобів активізації пізнавальної діяльності студентів, використовуючи при цьому передовий вітчизняний та зарубіжний досвід підготовки спеціалістів.

## SOME RESULTS FOR THE PROBABILITY OF NON-RUIN BY MHULL OF TOP INSURANCE COMPANIES OF UKRAINE

In this paper we present numerical results for the probability of non-ruin by MHull of 10 Top Insurance companies of Ukraine for the period 01/01/2015 to 06/30/2015.

Let the insurance company starts advertising activities to attract new customers, some part of the income, exactly  $\delta > 0$  ( $0 < \delta < 1$ ), have been deducted on advertising. The intensity of premiums will increase by  $j_1(\delta)$ , at the same time the intensity of claims to the insurance company increases by the  $j(\delta)$ . We used modified Cramer-Lundberg model when the capital of the company is described by the equation

$$\xi_x(t + \Delta t) = \xi_x(t) + (1 - \delta) \left[ c(1 + j_1(\delta))\Delta t - \int_0^{+\infty} \int_t^{t+\Delta t} \alpha \nu_{\lambda(1+j(\delta))}(d\alpha, ds) \right], \quad (1)$$

where  $x(x \geq 0)$  is the initial capital,  $\xi_x(t)$  - the capital of the company at time  $t$ ,  $c > 0$  is the premium rate,  $\lambda(\lambda > 0)$  is a parameter of Poisson process that describes the intensity of the received claims and  $(Y_k : k \in N)$  is an sequence of positive random variables, modeling the claim sizes. We denote the distribution function of  $Y$  by  $F(y)$ . We have also used the view of compound Poisson process as stochastic integral by Poisson measure.

**Theorem.** For the infinite time interval  $t \in [0, \infty)$  if the evolution of the capital satisfies to (1), the probability of non-ruin of the insurance company with the deductions on advertising is the solution of the integro-differential equation

$$\frac{(1 - \delta)c(1 + j_1(\delta))}{\lambda(1 + j(\delta))} \varphi'(x) = \varphi(x) - \int_0^x \varphi(x - y) dF(y) \quad (2)$$

with the limit condition  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \varphi(x) = 1$ .

In the special case when the claims to insurance company have exponential distribution with parameter  $a$  ( $a > 0$ ), we deducted the analytical solution of (2), and it is

$$\varphi(x) = 1 - \frac{\lambda(1 + j(\delta))}{a \cdot (1 - \delta)c(1 + j_1(\delta))} e^{\left( \frac{\lambda(1 + j(\delta))}{(1 - \delta)c(1 + j_1(\delta))} - a \right) x}. \quad (3)$$

We present numerical results by MHull of such Top Ukrainian Insurance companies as Oranta, VUSO, Illichevske, Providna, Arsenal-insurance, UPSK, Alfa-insurance, Persha, Aha-insurance, PZU-Ukraine. With the Maple we construct graphs of the non-ruin probability as a function of the initial capital with fixed proportion of funds for advertising for each company, as well as graphs of the non-ruin probability of insurance companies from the deposited share of advertising at a fixed value of the initial capital.

We found a fairly high similarity in the obtained results for the companies of the top 10. When we fixed the initial capital level at 1.5 million UAH and  $\delta = 1\%$ , we have found that for each of the companies for this selected risk model, the probability of non-ruin is equal to 1. All of these companies have a high degree of reliability.



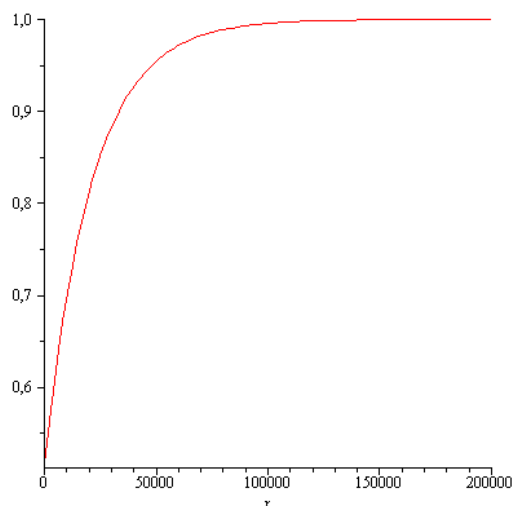


Fig.1. Probability of non-ruin,  $x \in (0, 200\,000)$

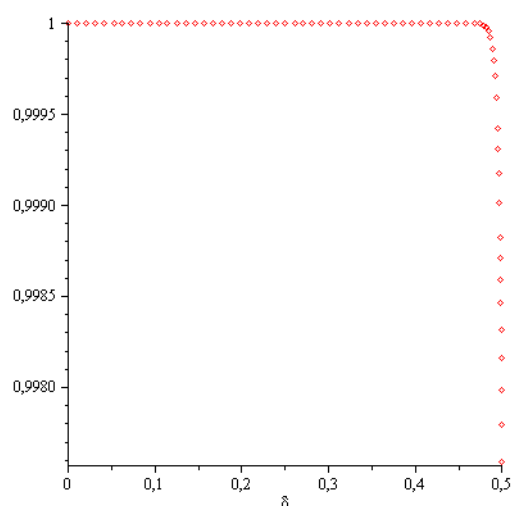


Fig.2. Probability of non-ruin,  $\delta \in (0, 0.5)$

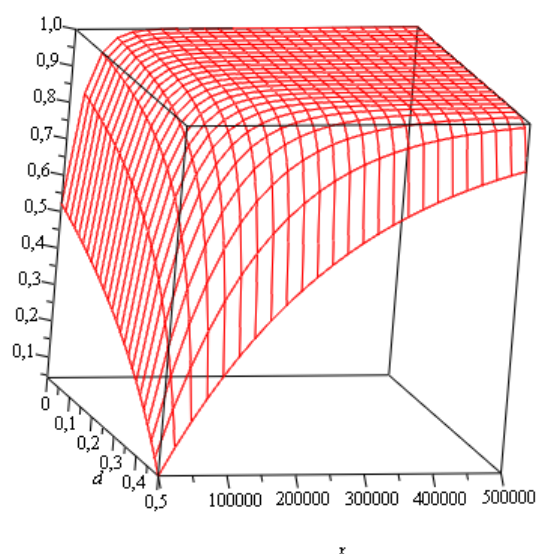


Fig.3. Probability of non-bankruptcy as function of initial capital and costs on advertising

**Conclusions.** This work builds on previous research of authors and improving results [1]. We constructed the equation for the model of risk that allows to calculate the probability of non-ruin in the case if insurance company is having promotional costs. The results have been applied in the analysis of the activities by MHull of 10 Top Insurance companies of Ukraine for the period 01/01/2015 to 06/30/2015.

## References

1. Bondarev B., Boldyreva V. (2012) On the non-ruin probability of insurance company model with the cost of advertising. I. Applied Stat. Actuar. and Financ. Math., 2, 47-65. (in Russian)
2. Lundberg, F. (1903). I. Approximerad Framst llning av Sannolikhetsfunktioner. II. Aterf ors kring av Kollektivrisker. Almqvist & Wiksell, Uppsala.
3. Zhmykhova T. (2011) Control by interest-bearing fund with the insurance company functions and investments in financial (B,S) –market with advertising in the case of random premiums. Applied Stat. Actuar. and Financ. Math., 1-2, 21-26. (in Ukrainian)
4. Zhmykhova T. (2011) Control by customer fund with the insurance company functions and investments in financial (B,S) –market with advertising. Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics., 3, 149-152. (in Ukrainian)

**Chapko R.**

Ivan Franko National University of Lviv  
*chapko@lnu.edu.ua*

## **ON THE GREEN'S FUNCTION TECHNIQUE FOR THE BOUNDARY RECONSTRUCTION IN THE POTENTIAL THEORY**

**1. Introduction.** We consider the reconstruction of an interior curve from the given Cauchy data of a harmonic function on the exterior boundary of the given planar domain. With the help of Green's function and potential theory the non-linear boundary problem is reduced to the system of non-linear boundary integral equations [2,4]. The three iterative algorithms are developed for its numerical solution. We find the Frechët derivatives for the corresponding operators and show unique solvability of the linearized systems. Full discretization of the systems is realized by a trigonometric quadrature method [3]. Due to the inherited ill-posedness in the obtained system of linear equations we apply the Tikhonov regularization. The numerical results show that the proposed methods give a good accuracy of reconstructions with an economical computational cost. The presented results are described in detail in the forthcoming paper [1].

The mathematical modeling of electrostatic or thermal imaging methods in nondestructive testing and evaluation leads to inverse boundary value problems for the Laplace equation. In principle, in these applications an unknown inclusion within a conducting host medium with constant conductivity is resolved from the overdetermined Cauchy data on the accessible part of the boundary of the medium.

The idea to reduce the problem of the boundary reconstruction to the system of non-linear equations and to employ a regularized iterative procedure was firstly suggested in [4]. As an alternative to the reciprocity gap approach based on Green's integral theorem we propose iterative solutions methods based on the Green's function.

We assume that  $D$  is a doubly connected bounded domain in  $R^2$  with the boundary  $\partial D$  consisting of two disjoint closed  $C^2$  curves  $\Gamma$  and  $\Lambda$  such that  $\Gamma$  is contained in the interior of  $\Lambda$ .

The corresponding direct problem is: Given a function  $f$  on  $\Lambda$  consider the Dirichlet problem for  $u \in C^2(D) \cap C(\bar{D})$  satisfying the Laplace equation

$$\Delta u = 0 \quad \text{in } D \quad (1)$$

and the boundary conditions

$$u = 0 \quad \text{on } \Gamma, \quad (2)$$

$$u = f \quad \text{on } \Lambda. \quad (3)$$

The inverse problem we are concerned with is: Given the Dirichlet data  $f$  on  $\Lambda$  with  $f \neq 0$  and the Neumann data

$$g := \frac{\partial u}{\partial \nu} \quad \text{on } \Lambda, \quad (4)$$

determine the shape of the interior boundary  $\Gamma$ . Here, and in the sequel, by  $\nu$  we denote the outward unit normal to  $\Gamma$  or to  $\Lambda$ . As opposed to the forward boundary value problem, the inverse problem is nonlinear and ill-posed.

**2. Reduction to boundary integral equations.** Let  $B$  is the interior of  $\Lambda$  and by  $G$  we denote the Green's function for  $B$  of the form

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{|x - y|} + \tilde{G}(x, y),$$

where the function  $\tilde{G}$  is harmonic in  $B$  with respect to  $x$ . The solution  $w$  to the Dirichlet problem in  $B$  with boundary values  $w = f$  on  $\Lambda$  can be represented in the form

$$w(x) = - \int_{\Lambda} \frac{\partial G(x, y)}{\partial \nu(y)} f(y) ds(y), \quad x \in B.$$

Seeking the unique solution of (1)–(3) in the form

$$u(x) = \int_{\Gamma} G(x, y) \varphi(y) ds(y) + w(x), \quad x \in D,$$

now leads to the integral equation of the first kind

$$\int_{\Gamma} G(x, y) \varphi(y) ds(y) = -w(x), \quad x \in \Gamma,$$

for the unknown density  $\varphi$ . The given flux  $g$  on  $\Lambda$  leads to the integral equation

$$\int_{\Gamma} \varphi(y) \frac{\partial G(x, y)}{\partial \nu(x)} ds(y) = g(x) - \frac{\partial w}{\partial \nu}(x), \quad x \in \Lambda.$$

Let introduce the single-layer potential

$$(S\varphi)(x) := \int_{\Gamma} G(x, y) \varphi(y) ds(y), \quad x \in \Gamma, \quad (5)$$

and the operator

$$(A\varphi)(x) := \int_{\Gamma} \frac{\partial G(x, y)}{\partial \nu(x)} \varphi(y) ds(y), \quad x \in \Lambda, \quad (6)$$

for the normal derivative of the single-layer potential on  $\Lambda$ .

It is easy to prove that the inverse boundary value problem (1)–(4) is equivalent to the system of integral equations

$$S\varphi = -w \quad \text{on } \Gamma, \quad (7)$$

$$A\varphi = g - \frac{\partial w}{\partial \nu} \quad \text{on } \Lambda. \quad (8)$$

To describe the algorithms conveniently a parametrization of boundary curves is required. Let

$$\lambda(s) = \{(x_1(s), x_2(s)) : s \in [0, 2\pi]\}$$

is the parametrization for the exterior curve  $\Lambda$ . For simplicity we consider only starlike interior curves, i.e., we choose a parametrization in polar coordinates of the form

$$\gamma_r(s) = \{r(s)c(s) : s \in [0, 2\pi]\},$$

where  $c(s) = (\cos s, \sin s)$  and  $r : R \rightarrow (0, \infty)$  is a  $2\pi$  periodic function representing the radial distance from the origin. For further investigation we need the Frechët derivatives of our integral operators. They have the following Frechët derivatives with respect to the function  $r$

$$(S'[r, \varphi]q)(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \varphi(\tau) [q(\tau) L^{(1)}(t, \tau) + q(t) L^{(2)}(t, \tau)] d\tau,$$

$$(A'[r, \varphi]q)(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \varphi(\tau) q(\tau) H^{(1)}(t, \tau) d\tau.$$

Here we introduced the kernels

$$L^{(1)}(t, \tau) := -\frac{r(\tau) - r(t) \cos(t - \tau)}{|\gamma(t) - \gamma(\tau)|^2} + \nabla_{\gamma(\tau)} \tilde{G}(\gamma(t), \gamma(\tau)) \cdot c(\tau),$$

$$L^{(2)}(t, \tau) := -\frac{r(t) - r(\tau) \cos(t - \tau)}{|\gamma_r(t) - \gamma(\tau)|^2} + \nabla_{\gamma(t)} \tilde{G}(\gamma(t), \gamma(\tau)) \cdot c(t),$$

$$H^{(1)}(t, \tau) := \nabla_{\gamma(\tau)} \frac{\partial G(\lambda(t), \gamma(\tau))}{\partial \nu(\lambda(t))} \cdot c(\tau).$$

These representation were obtained by standard differentiation procedure in (5) and (6) (for details see [1]). Also we will need the Frechët derivative for the function  $w$

$$(w'[r]q)(t) = -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\tau) q(\tau) W(t, \tau) d\tau$$

with

$$W(t, \tau) := |\lambda'(\tau)| \nabla_{\gamma(t)} \frac{\partial G(\gamma(t), \lambda(\tau))}{\partial \nu(\lambda(\tau))} \cdot c(t).$$

**3. Iterative algorithms.** Now we describe three iterative algorithms for the numerical solution of (7)–(8).

*Algorithm 1.*

1. Choose some starting value  $r$ . Solve the well-posed integral equation

$$S\varphi = -w.$$

2. For the given  $r$  and  $\varphi$  solve the system of linearized ill-posed integral equations

$$S\psi + S'[r, \varphi]q + w'[r]q = -S\varphi - w,$$

$$A\psi + A'[r, \varphi]q = g - \frac{\partial w}{\partial \nu} - A\varphi$$

with respect to functions  $\psi$  and  $q$ .

3. Calculate new approximations for the radial function  $r = r + q$  and for the density  $\varphi = \varphi + \psi$ .

4. Repeat steps 2-3 until some stopping criterion is satisfied.

*Algorithm 2.*

1. Choose some starting value  $r$ .

2. Solve the well-posed integral equation

$$S\varphi = -w.$$

3. For the given  $r$  and  $\varphi$  solve the linearized ill-posed integral equation

$$A'[r, \varphi]q = g - \frac{\partial w}{\partial \nu} - A\varphi$$

with respect to function  $q$ .

4. Calculate new approximations for the radial function  $r = r + q$ .

5. Repeat steps 2-4 until some stopping criterion is satisfied.

*Algorithm 3.*

1. Choose some starting value  $r$ .

2. Solve the ill-posed integral equation

$$A\varphi = g - \frac{\partial w}{\partial \nu}.$$

3. For given  $r$  and  $\varphi$  solve the linearized ill-posed integral equation

$$S'[r, \varphi]q + w'[r]q = -S\varphi - w,$$

with respect to function  $q$ .

4. Calculate new approximations for the radial function  $r = r + q$ .

5. Repeat steps 2-4 until some stopping criteria is satisfied.

Note here that we need to use some regularization methods in the case of ill-posed integral equations. According to properties of the corresponding integral operators an application of the Tikhonov regularization is justified for the algorithms 1-3.

The numerical implementation of described algorithms is realized by trigonometrical quadrature method [1-3].

As one can observe from the presented numerical examples, a satisfactory quality for the reconstruction of the inclusion shape is obtained with a reasonable stability against noisy data.

### References

1. Chapko R., Ivanyshyn Yaman O., Kanafotskyi T. On the non-linear integral equation approaches for the boundary reconstruction in double-connected planar domains // J. Numer. Appl. Math, 2016 (accepted).
2. Ivanyshyn O., Kress R. Nonlinear integral equations for solving inverse boundary value problems for inclusions and cracks // J. Integral Equations Appl. , 2006. - Vol. 18. - P. 13--38.
3. Kress R. *Linear Integral Equations*. Springer, 2014.
4. Kress R., Rundell W. Nonlinear integral equations and the iterative solution for an inverse boundary value problem // Inverse Problems, 2005. - Vol. 21. - P. 1207--1223.

## DECISION THEORY METHODS USAGE FOR ACCESS NETWORKS SYNTHESIS PROBLEMS SOLVING

Access networks (AN) design is one of the most important development line in the infocommunications. AN concept is defined in the International Telecommunications Union Recommendation G.902 [1]. Development of one AN to all core networks in order to render the whole range of infocommunication services to the users with guaranteed Quality of Service (QoS) level is specified in the Recommendation. Our work is directed to increase efficiency of AN synthesis by means of decision theory (DT) methods' usage when solving particular tasks, appearing in synthesis.

AN concept appearance coincided with absolutely new view of telecommunication networks (TN) design. Earlier all TN synthesis issues were decided in conditions of demand for these networks services constantly and significantly outdistanced supply. Herewith problem reduced to definition of compromise between QoS indexes and network design expenses. QoS indexes were internationally and locally standardized and user didn't affect this in no way. Such situation continued decades. It changed radically nowadays. Networks user turned into most important one. It's he who defines necessary services and their amount to be charged. Relating to this AN main features, defining necessity of new approach to their synthesis, analyzed in [2].

We defined DT methods for AN synthesis and developed recommendations of their usage. We concluded that usage of DM methods is expedient for three tasks of AN design: AN topological structure definition; definition of technologies for data transfer over access lines (AL); definition of equipment for access nodes (ANN) implementation.

While solving decision problem within each of these tasks we defined objective that should be obeyed by chosen methods, analyzed methods in themselves in order to check their correspondence to the objective, developed research model (see fig. 1) and allocated six DT methods, satisfying objectives, defined for them.

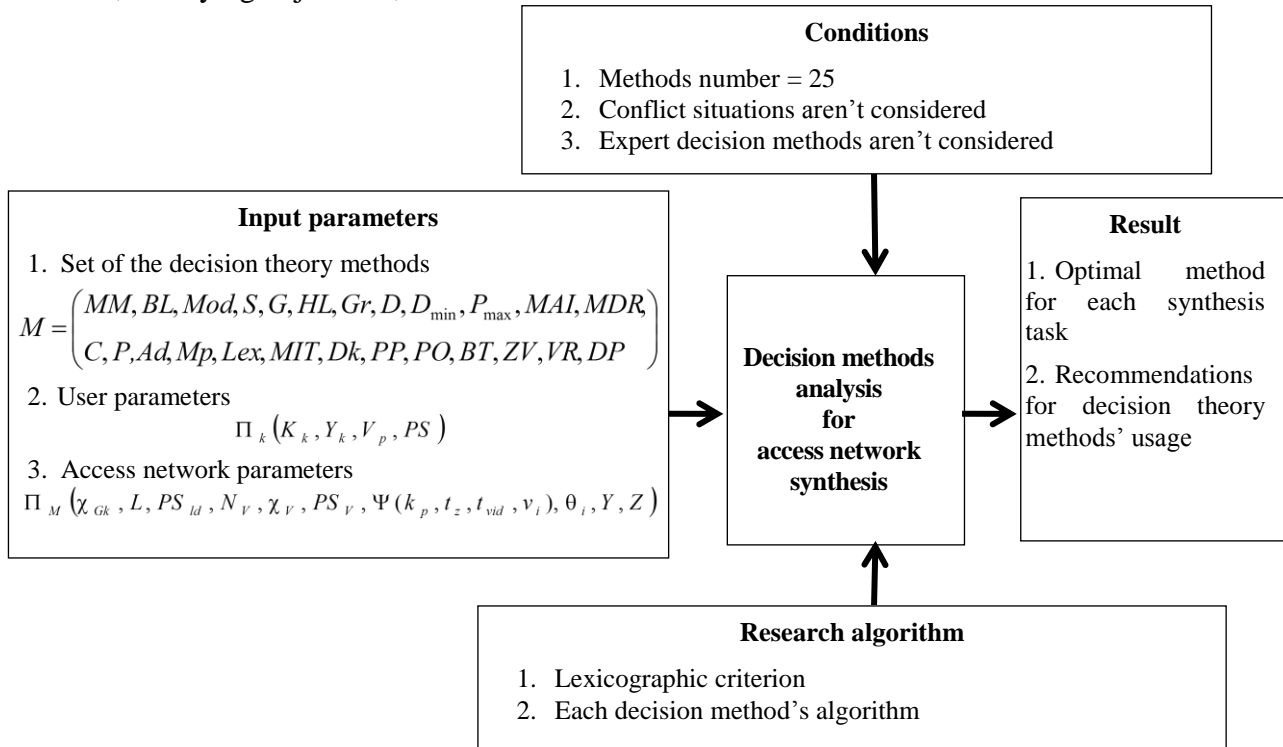


Figure 1 – Research model

Initial set of DT methods contains selection criteria, optimality criteria and selection methods. Selection criteria are: minimax (*MM*), Bayes (Laplace) (*BL*), modal (*Mod*), Savage (*S*), Hurvitz (*G*), Hodges-Lehmann (*HL*), Germeier (*Gr*), products' (*D*), estimation variance minimization ( $D_{\min}$ ), probability maximization ( $P_{\max}$ ), additive (*Ad*), multiplicative (*Mp*), lexicographic (*Lex*). Optimality criteria are: Slater (*C*) and Pareto (*P*). Selection methods are: hierarchical analysis (*MAI*), decision tree (*MDR*), ideal point (*MIT*), selection by dominant criteria's quantity (*Dk*), successive concessions (*PP*), successive restrictions input (*PO*), desired point (*BT*), satisfied requirements (*ZV*), vector relaxation (*VR*), dynamic programming (*DP*).

User parameters are:

location (coordinates) ( $K_k$ ),

traffic load ( $\gamma_k$ ),

rendering services set ( $v_p$ ),

necessary bandwidth (*PS*).

AN parameters are:

users groups geographical distribution ( $\chi_{Gk}$ ),

AL length (*L*) and bandwidth ( $PS_{ld}$ ),

ANN quantity ( $N_v$ ) and location ( $\chi_v$ ),

ANN bandwidth ( $PS_v$ ),

quality of services rendering ( $\Psi$ ) depends on:

errors rate ( $k_p$ ),

delay time ( $t_z$ ),

response time ( $t_{vid}$ ),

information rate ( $\nu$ ),

transmitting information type ( $\theta_i$ ),

all network users total traffic load (*Y*),

design and operation expenses (*Z*).

We chose three methods for AN topological structure's determination: hierarchical analysis, decision tree and dynamic programming; two for the definition of technologies for data transfer over AL – method of successive restrictions input and ideal point method; one for the definition of equipment for ANN implementation – selection method of dominant criteria's quantity. As an example proceedings demonstrate solution of one AN synthesis task. This is the definition of technologies for data transfer over AL by ideal point method. Thereto we defined set of alternative technologies, possible for task solution, and objective, i.e. estimated network ideal parameters that should be guaranteed when using chosen technology, as well as took into account distance between each alternative's parameters and ideal point's parameters. Technology with the least distance is chosen as the best.

When we have done research of all AN synthesis tasks and DT methods within each of them, we defined that these methods' usage is effective for simplification and optimization of AN synthesis. Thereto it's necessary to determine parameters for comparison of alternative decision methods and set of alternative solutions. On the assumption of clear and correct definition of these conditions, DT methods can reduce laboriousness and time of AN synthesis.

## References

1. ITU-T. Recommendation G.902: Framework Recommendation on functional access networks (AN) - Architecture and functions, access types, management and service node aspects.
2. Гайворонская Г.С. Особенности сетей доступа к NGN, требующие нового подхода к их синтезу // I Международная научно-практическая конференция «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и Технологии (PIC&T'2013)», 2013. Харьков, С. 14-17.

## RECENT ADVANCE IN GLOBAL OPTIMIZATION

Many problems referring to economy, finance, project optimization, planning, computer graphics, management, scheduling, sensor networks of difficult systems can be transformed to optimization problems in finite-dimensional space. Such problems contain many of local minima and belong to NP-difficult class. It is necessary to develop new methods of global optimization for the solution of these problems.

In the recent 30 years we observe considerable efforts of many researchers for the solution of global optimization problems. However till today we don't know of multiextremal problem with the effective solution. We discovered for the first time such of a problem. This problem is maximum norm of vector on intersection of balls. It is multiextremal problem. Such problem we receive when we use of an exact quadratic regularization for solving global optimization problems. The problem of a maximum of norm of a vector on intersection of balls will be transformed to an one-extreme dual problem. We name the effective solution of global optimization problems if probably its transformation to an one-extremal problem.

Consider a problem of global optimization

$$\min\{f_0(x) \mid f_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m\} \quad (1)$$

where all  $f_i(x)$  is twice differentiable functions,  $E^n$  – is Euclidean space. Let there is a solution to problem (1).

We use an exact quadratic regularization (EQR) [1] and transform the problem (1) to following

$$\min\{\|z\|^2 \mid f_0(x) + s \leq \|z\|^2, f_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m, z \in E^{n+1}\}, \quad (2)$$

where  $s$  satisfies to the condition

$$f_0(x^*) + s \geq \|x^*\|^2,$$

$x^*$  - is a point of the global minimum (1),  $z = (x, x_{n+1})$ .

We search the minimum value  $d$  for which solution to problem (2) satisfies to the condition  $r\|z\|^2 = d$ . We find such value  $d$  by dichotomy method.

Sometimes the solution of a problem (1) coincide with the solution of a convex problem

$$\min\{d \mid f_0(x) + s + (r-1)\|z\|^2 \leq d, f_i(x) + r\|z\|^2 \leq d, i = 1, \dots, m, r\|z\|^2 \leq d\}.$$

In general case the problem (2) is equivalent to following

$$\max\{\|z\|^2 \mid f_0(x) + s + (r-1)\|z\|^2 \leq d, f_i(x) + r\|z\|^2 \leq d, i = 1, \dots, m\} \quad (3)$$

There is such value  $r > 0$  for which feasible domain of a problem (3) will be convex. This domain can be approximated by a convex polyhedron.

Consider the problem

$$\max\{\|z\|^2 \mid Az \leq b, z \geq 0\}$$

We use EQR and obtain

$$\max\{\|z\|^2 \mid a_j^T z + r\|z\|^2 \leq d, j = 1, \dots, m, -z_i + r\|z\|^2 \leq d, i = 1, \dots, n\}.$$

This problem is maximum the norm of vector on intersection of balls.

We show that the solution of the problem

$$\max\{\|x\|^2 \mid \|x - a^i\|^2 \leq r_i^2, i = 1, \dots, m\} \quad (4)$$

can be found by a dual method. Let's notice, that the problem (4) can have the duality gap is nonzero.

The Lagrange function of the problem (4) can be written as

$$L(x, \lambda) = \|x\|^2 - \sum_{i=1}^m \lambda_i (\|x - a^i\|^2 - r_i^2) \quad (5)$$

The method of multipliers Lagrange allows to find the solution of problem (4)

$$x = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i a^i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i - 1} \quad (6)$$

Thus, for solving problem (4) it is necessary to define optimal Lagrange multipliers  $\lambda \geq 0$ . If the point of global maximum  $x^*$  is known, then we find Lagrange multipliers solving the system of linear equations

$$x^* - \sum_{i=1}^m \lambda_i (x^* - a^i) = 0$$

For  $m > n$  this system has many solutions, but only one solution coincides with optimal Lagrange multipliers of the problem (4). We write down Lagrange function (5) in a form

$$L(x, \lambda) = \|x\|^2 - \sum_{i=1}^m \lambda_i (\|x\|^2 - 2xa^i + \|a^i\|^2 - r_i^2)$$

or

$$L(x, \lambda) = (1 - \sum_{i=1}^m \lambda_i) \|x\|^2 + 2 \sum_{i=1}^m \lambda_i xa^i + \sum_{i=1}^m \lambda_i (\|a^i\|^2 - r_i^2)$$

that is transformed into

$$L(x, \lambda) = (1 - \sum_{i=1}^m \lambda_i) \left\| x + \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i a^i}{1 - \sum_{i=1}^m \lambda_i} \right\|^2 - \frac{\|\sum_{i=1}^m \lambda_i a^i\|^2}{(1 - \sum_{i=1}^m \lambda_i)} - \sum_{i=1}^m \lambda_i (\|a^i\|^2 - r_i^2). \quad (7)$$

Substituting the solution (6) into of formula (7) we obtain of a modified dual problem

$$\min \left\{ \frac{\|\sum_{i=1}^m \lambda_i a^i\|^2}{\sum_{i=1}^m \lambda_i - 1} - \sum_{i=1}^m \lambda_i (\|a^i\|^2 - r_i^2) \mid \left\| \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i a^i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i - 1} - a^i \right\|^2 \leq r_i^2, i = 1, \dots, m, \sum_{i=1}^m \lambda_i - 1 \geq 0, \lambda \geq 0 \right\}. \quad (8)$$

The solution of a problem (8) allows to define under the formula (6) solution of a problem (4).

The EQR allows to find the best solutions for a lot of known test problems in global optimization. New method are simple for making up the software. The EQR can be used for the solution of discrete problems. The comparative numerical experiments have shown that new methods are very efficient and promising.

## References

1. Kosolap A. Global optimization. The Method of Exact Quadratic Regularization. – Dn-sk: PGASA, 2015. – 164 p. (in Russian).



## METHODS FOR LOWER ESTIMATES OF APPROXIMATION RATIO OF REOPTIMIZATION FOR DISCRETE OPTIMIZATION

Objective of postoptimality analysis and reoptimization using approximation methods – applying knowledge of the solution of the initial instance  $I$  of the problem (problem with the set values of input parameters) to perform one of the conditions: achieving a better quality of approximation (approximation ratio) of  $I'$  (revised instance); create more effective (for time) algorithm for determining the optimal or close to it solution of  $I'$ ; the preceding two conditions.

**Definition 1** (Hardness, complexity of approximation). We call problem  $\alpha$  - hard for approximation if there does not exist an approximation polynomial algorithm with approximation ratio better than  $\alpha$  if  $P \neq NP$ .

Thus, if the problem  $\Pi$  –  $NP$  - hard or  $NP$  - complete, then setting lower bound of approximation ratio  $d$  for it means that the problem is  $d$  - hard for approximation. That's why establishing lower bounds of approximation ratio is called *hardness of approximation* or *innapproximability*.

### Description of Probabilistically Proof Systems

Here is the formal definition [1]. We define proof systems by the properties of verifier. To test the claims verifier needs helpers, we will assume that it has access to one or more oracles. Many variants of the concepts discussed individuals that prove (proovers) and written proofs. Written proofs equivalent proofs, using oracles, where reading  $i$  - th bit corresponds to the question " $i$  ?" to the oracle. Generally speaking, the provers more powerful than the oracles, as can be randomized and historically dependent.

**Definition 2.** Oracle is a function  $\Sigma^* \rightarrow \{0,1\}$  (where  $\Sigma^*$  – set of finite strings in the alphabet  $\Sigma$ ).

A typical verifier  $V^\pi(x, r)$  is a probabilistic Turing machine (PTM), where  $\pi$  – oracle,  $x$  – input, and  $r$  – internal random tape. We say that verifier accepts if it outputs 1 ( $V^\pi(x, r) = 1$ ), otherwise it rejects.

**Definition 3.** Let  $c$  and  $s$  be the real numbers such that  $0 \leq s < c \leq 1$ . Polynomial probabilistic Turing machine  $V$  is a probabilistically checkable proof system (PCP-system) with completeness  $c$  and soundness  $s$  for language  $L$  if and only if

- for  $x \in L$  there exists an oracle  $\pi$  such that  $\Pr_r[V^\pi(x, r) = 1] \geq c$ ;
- for  $x \notin L$ , for all  $\pi$  the inequality  $\Pr_r[V^\pi(x, r) = 1] \leq s$  holds.

**Definition 4.** The verifier  $V$  uses logarithmic randomness if there is an absolute constant  $C$  such that on each input  $x$  and proof  $\pi$  the length of random string  $r$  used by  $V^\pi$  is bounded by  $C \log|x|$ .

**Definition 5.** The verifier  $V$  reads  $C$  bits in a PCP-bit system if random result for each test and each proof  $\pi$  verifier  $V^\pi$  asks at most  $C$  questions to the oracle.

**Theorem 1** (PCP-theorem) [1]. There is a universal integer  $C$  such that any language in  $NP$  has a PCP verifier  $V$  with soundness  $\frac{1}{2}$  and completeness 1 where  $V$  uses logarithmic randomness and reads at most  $C$  bits of the proof.

**Theorem 2** (variant of PCP-theorem) [1]. Let  $L$  be a language in  $NP$  and  $x$  – a string. There is a universal constant  $c < 1$  such that for the time polynomial relatively to  $|x|$  we can construct  $E3 - CNF$  formula  $\varphi_{x,L}$  such that if  $x \in L$   $\varphi_{x,L}$  is satisfiable; if  $x \notin L$   $\varphi_{x,L}$  is at most  $c$ -satisfiable. Moreover, each variable occurs exactly 5 times.

We next describe a two-prover one-round interactive proof system (in short, 2P1R - system). The verifier in such a system has access to two oracles and could ask one question to each of them (2 questions formulated to the point where they meet). Oracles size answers, generally speaking, is not limited, but as verifier runs in polynomial time, it can not take more than polynomial number of bits. Let  $P_1, P_2$  – two oracles and  $q_1, q_2$  – two questions. Oracles have access only to those questions and if  $V$  accepts then  $V(x, r, P_1(q_1), P_2(q_2)) = 1$ .

PCP theorem states that there is a universal constant  $\alpha < 1$  and polynomial reduction that displays 3SAT an instance  $\psi$  into another 3SAT instance  $\varphi$  such that

1. Completeness: if  $OPT(\psi) = 1$ , then  $OPT(\varphi) = 1$ .
2. Soundness: if  $OPT(\psi) < 1$ , then  $OPT(\varphi) \leq \alpha$ .

It follows that  $Max - 3SAT$  is hard to approximate by the ratio of approximation. PCP theorem has just been presented as a combinatorial reduction. According to efficiently verifiable proof systems (Definition 3) there is an equivalent formulation in terms of proof checking. The theorem states that every  $NP$  statement has a polynomial proof that can be verified by probabilistic polynomial verifier, which reads only constant number of bits in the proof. Verifier has the properties of completeness and soundness: every proof of correct statement is accepted with probability 1 and every incorrect statement is taken with a small probability (say no more than 1%). These are two key modern methods of reductions that keep the gap (the combinatorial reduction and proof checking) to establish inapproximabilities of optimization problems.

Another hypothesis – the so-called unique game hypothesis (Unique Games Conjecture, UGC) [2]. It has been some strengthening of PCP theorem and was proposed to bring the results of inapproximability where no suitable PCP theorem. Roughly this hypothesis can be formulated as follows. For a given bipartite graph and a large constant set of labels  $[M]$ , permutation recorded on each edge, the problem of finding the vertices labels (labeling vertices) of the graph  $G$  from  $[M]$  so were satisfied (performed) each permutation is considered. The hypothesis is that if  $M$  a sufficiently large constant it is  $NP$ -hard to distinguish instances where 99% of the edge permutations performed from instances where 1% of the edge permutations performed. We formulate a hypothesis more closely. First define a constraint satisfaction problem, called one round game with two provers (2P1R-game).

As noted on International Congress of Mathematicians (Boaz Barak and David Steurer, Seoul, 2014): [3] “A large body of follow up works has shown that this conjecture implies many hardness results that overcome the above challenge and match the best known algorithms even in cases when they achieve non-trivial guarantees. In fact, beyond just resolving particular questions, this line of works obtained far-reaching complementary *meta algorithmic* and *meta hardness* results. By this we mean results that gave an efficient *meta algorithm*  $A$  (i.e., an algorithm that can be applied to a family of problems, and not just a single one) that is optimal within a broad domain  $C$ , in the sense that (assuming the UGC) there is no polynomial-time algorithm that performs better than  $A$  on any problem in  $C$ . It is this aspect of the Unique Games Conjecture result that we find most exciting, and that shows promise of going beyond the current state where the individual algorithmic and hardness results form “isolated islands of knowledge surrounded by a sea of ignorance” into more unified theory of complexity”. The meta-algorithm that the UGC predicts to be optimal is based on

semidefinite programming and it uses this technique in a very particular and quite restricted way. We will refer to this algorithm as the UGC meta-algorithm. Raghavendra show beautiful result that for every constraint satisfaction problem (such as Maxk-SAT, k-Coloring, Max-Cut), the UGC meta-algorithm gives the best estimate on the maximum possible fraction of constraints one can satisfy.

A similar result holds for some reoptimization version of problems: for adding an edge to graph in Max Cut, for adding or deleting vertices in graph in Minimum Vertex Cover, some results of constraint satisfaction problems, including adding the constraint etc.

### References

1. Михайлюк В.О. Постоптимальний аналіз та наближені алгоритми реоптимізації для задач дискретного програмування/ В.О. Михайлюк, І. В.Сергієнко//. – Київ: Наукова думка, 2015. – 248 с.
2. Khot S. On the power of unique 2-prover 1-round games/ S. Khot //In STOC. – 2002. – P.767 – 775.
3. Boaz Barak. Sum-of-square proofs and the quest toward optimal algorithm/Barak Boaz and Steurer David//Proceedings of International Congress of Mathematicians. – Seoul,2014. – P. 509-533.

## **MATHEMATICAL PROVISION OF THE DECISION-MAKING FOR THE SAFETY OF COMPLEX ENGINEERING OBJECTS OPERATION IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY AND MULTIFACTORIAL RISKS**

Creation of modern technology defines a new requirement to ensure their technological and environmental safety. This need is caused not only by the fact that the losses of the partial or complete destruction of machines or structures may be ten times higher than the cost of their creation, but also the fact that the disaster may have national or global scale of the impact on the population and the environment. This is due to the fact that existing principles and mechanisms for control complex security facilities do not meet of modern requirements. Hence there is the need for a fundamental change in the practical models, approaches and principles of safety operation of modern complex objects. To improve the quality control of complex objects should find out the reasons and the factors that can not provide the agreed level survivability and safety complex engineering objects (CEO) operation. One of these reasons is the peculiarities of diagnostic systems, focused on identifying failures and malfunctions. This approach to security eliminates the possibility of a priori prevent abnormal regime and, as a consequence, there is a possibility of its subsequent transition into an accident or disaster.

The system mathematical provision is based on the suggested conceptual foundations of system analysis, multicriterion estimation, and forecast of multifactor risk situations in the conditions of uncertainty. The main idea of the suggested concept consists of the replacement of the typical principle of detection of the operability state, turning into the inoperability one, based on detection of failures, malfunctioning, faults, and forecast of reliability of an object by a qualitatively new principle [1]. The essence of this principle is to provide (under actual conditions of the operation of a complex system) the timely and reliable detection and elimination of the causes of a possible changeover of an operability state to an inoperability one, based on the system analysis of multifactor risks of abnormal situations, a credible estimation of margin of permissible risk for different modes of operation of CEO, and a forecast of the main operability indicators of an object during the operating period.

In this message there is proposed the technique of the evaluation and rational coordination of the margin of permissible risk in real operating mode, based on using the principle of timely detection and elimination of the causes for different kind hazards at a possible transition SCO inoperable under the wrong actions of personnel, external influences taking into account the informedness indicators about the situations, and irremovable threshold time limit under the impact of destabilizing factors.

The mathematical model to evaluate the margin of permissible risk values of  $R_i^{perm} | i = \overline{1, m}$  is realized in form of [2]

$$R_i^{perm} = \frac{\max_{t_k^i \in [t_{s1r}^i, t_{s2r}^i]} \left\{ \left| [t_k^i, t_{s2r}^i] \right|, t_k^i \in [t_{s1r}^i, t_{s2r}^i] \subset T_R, t_k^i < t_{s2r}^i \right\}}{\left| [t_{s1r}^i, t_{s2r}^i] \right|}, r \in [1, n_r], i = \overline{1, m} \quad (1)$$

with the restrictions of

$$\eta_i(\tilde{y}_i(t_k^i)) < \eta_i(\tilde{y}_i(t_{s2r}^i)), W_i(\tilde{y}_i(t_k^i)) < W_i(\tilde{y}_i(t_{s2r}^i)), t_k^i \in [t_{s1r}^i, t_{s2r}^i], r \in [1, n_r], i = \overline{1, m},$$

$$I_0^i(t_{s2r}^i) \geq I_0^-, r \in [1, n_r], i = \overline{1, m}.$$

The notation of  $\left| [t_k^i, t_{s2r}^i] \right|$  in (1) characterizes the time interval length with the boundaries, which correspond to values of  $\tilde{y}_i(t_k^i), \tilde{y}_i(t_{s2r}^i)$ . For  $\tilde{y}_i$  in time moments of  $t_k \in D_0 \cup D_p$  (initial time interval of  $D_0 = \{t_0 | t_0^- \leq t_0 \leq t_0^+\}$  and forecasting interval of  $D_p = \{t_p | t_0^+ \leq t_p \leq t^+\}$ ) there are known the values

of  $\eta(\tilde{y}_i)|_{i=\overline{1,m}}$  risk degree and  $W(\tilde{y}_i)|_{i=\overline{1,m}}$  risk level, which received with using  $D_Y = \langle y_{ir} \leq y_{ir}^{perm} | i=\overline{1,m}, r=\overline{1,n_r} \rangle$  set. With using the restrictions of  $\eta(\tilde{y}_i) \leq \eta_{perm}(y_{ir}^{perm})$ ,  $W(\tilde{y}_i) \leq W_{perm}(y_{ir}^{perm}) \quad \forall i=\overline{1,m}, r \in [1, n_r]$  on the functional dependencies of  $\tilde{y}_i = \Phi_i(\{x_j | j=\overline{1,n}\})$ ,  $i=\overline{1,m}$  there are revealed abnormal mode situations, which corresponds to the set of  $T_R = \{[t_{fr}^i, t_{rr}^i] | t_{fr}^i < t_{rr}^i < t_{cr}, t_{fr}^i, t_{rr}^i \in D_0 \cup D_p, r \in [1, n_r], i=\overline{1,m}\}$ , where  $t_{fr}^i, t_{rr}^i$  are the time moments for forming and implementing of solutions,  $t_{cr}$  is a limit value of decision making time. In each interval of  $[t_{fr}^i, t_{rr}^i] \subseteq T_R, r \in [1, n_r], i=\overline{1,m}$  in the real time mode there are evaluated the indexes values of  $I_V^i(t_k)$  informedness reliability,  $I_C^i(t_k)$  informedness completeness,  $I_O^i(t_k)$  informedness timeliness and  $I_0^i(t_k)$  integral informedness index  $\forall t_k \in [t_{fr}^i, t_{rr}^i], k=\overline{1,K}, i=\overline{1,m}$ . The informedness indexes of  $I_V^i(t)$ ,  $I_C^i(t)$ ,  $I_O^i(t)$ ,  $I_0^i(t)$  as the functions of time are evaluated by relations of the form [3]:

Based on the relation of

$$R_c^{perm} = \left\{ \frac{\left[ \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{a1r}^i\}, \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{s2r}^i\} \right]}{\left[ \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{s1r}^i\}, \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{s2r}^i\} \right]} : I_0^i(t_{s2r}^i) \geq I_0^-, t_{a1r}^i \in [t_{s1r}^i, t_{s2r}^i], r \in [1, n_r], i=\overline{1,m} \right\}$$

assigned to coordinate the permissible risk margin of  $R_i^{perm}|_{i=\overline{1,m}}$  there is realized the mathematical model in form of

$$R_c^{perm} = \frac{\left[ \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{a1r}^i\}, \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{s2r}^i\} \right]}{\left[ \min_{i=\overline{1,m}} t_{s1r}^i, \min_{i=\overline{1,m}} t_{s2r}^i \right]}, t_{a1r}^i \in [t_{s1r}^i, t_{s2r}^i], r \in [1, n_r], i=\overline{1,m}$$

with the restrictions of

$$t_{s1r}^i \leq t_{a1r}^i < t_{s2r}^i, t_{s1r}^i, t_{s2r}^i \in T_R, r \in [1, n_r], i=\overline{1,m}, \\ I_0^i(t_{s2r}^i) \geq I_0^-, r \in [1, n_r], i=\overline{1,m}.$$

On the time intervals of  $[t_{a1r}^i, t_{s2r}^i], r \in [1, n_r], i \in [1, m]$  there is realized a coordination of the margin of permissible risk of  $R_i^{perm}$  for  $\tilde{y}_i$ ,  $I_0^i(t_k) \geq I_0^-, t_k \in [t_{s1r}^i, t_{s2r}^i] \subseteq T_R, i=\overline{1,m}$  and evaluated by the value of  $R_c^{perm}$  with the time interval of  $[t_{ca1}^r, t_{cs2}^r] \subset \bigcup_{i \in [1, m]} [t_{a1r}^i, t_{s2r}^i], r \in [1, n_r]$ , where there is guaranteed the

prevention of  $r$  abnormal mode situation. The lower boundary of  $[t_{ca1}^r, t_{cs2}^r]$  interval is defined as  $t_{ca1}^r = \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{a1r}^i\}$ . The upper boundary of this interval is defined by relation of  $t_{cs2}^r = \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{s2r}^i\}$  in respect that  $I_0^i(t_{s2r}^i) \geq I_0^-, i=\overline{1,m}, r \in [1, n_r]$ . The value of  $R_c^{perm}$  for margin of permissible risk is defined by the length of  $\left[ \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{a1r}^i\}, \min_{i=\overline{1,m}} \{t_{s2r}^i\} \right]$  interval.

The main goal of the proposed strategy is to guarantee a rationally justified reserve of survivability of a complex system in real conditions of fundamentally irremovable information and time restrictions. The approaches and principles of the strategy for providing guaranteed safety of complex systems should be formed on the basis of the following principles [4]:

- system coordination according to the goals, tasks, resources, and expected results of measures aimed at ensuring the safety of a complex system;
- mutual coordination of goals, tasks, resources, and expected results of control of serviceability and safety of a complex system;

- timely detection, guaranteed recognition, and system diagnosis of factors and situations of risk;
- efficient forecasting and credible estimation of abnormal and critical situations;
- timely formation and efficient realization of decisions of safety control in the process of prevention of abnormal and critical situations.

Therefore, the most important and obligatory requirement of the strategy is system coordination of decisions and actions at all stages of a product's life cycle according to its goals, tasks, terms, resources, and expected results. The coordination must be provided simultaneously from the position of guaranteeing both the required indicators of safety and survivability and the required indicators of serviceability during the given period of operation [5].

In particular, the consistency of the diagnosis and control are especially important for transport systems, where there principally cannot be an emergency stop in conditions of unexpected effect of catastrophic risk factors. Such systems include all categories and all types of aircraft. First, note the principal differences between the given problem and typical control problems. The main difference is that the initial information about a complex object contains only a small part of information about its state, properties, functioning processes, and operational capability characteristics. This information represents only the state and work characteristics of such objects in normal mode. Undoubtedly, this information is enough for decision making during the complex object control only on the condition that the normal mode continue for a long time. However, in real objects in view of existing technical diagnosis systems, oriented toward failure and malfunction detection, it is impossible to ensure that a malfunction or a failure will not appear within the next 5–10min. It is a priori unknown how much time it will take to repair a malfunction. It may take from a few minutes up to several hours or even days and months. And, consequently, the possible damage is a priori unknown, and thus the safety control system is, essentially, a recorder of information about facts and damage. A fundamentally different approach can be realized on the basis of the system control of complex objects. The essence of such control is systemically coordinated evaluation and adjustment of the operational capability and safety during the functioning process of an object.

The strategy of guaranteed survivability of CEO operation is based on the proposed diagnostic unit as an information platform of engineering diagnostics of the CEO [4]. Strategy realization is based on the following principles: system consistency in purposes, problems, resources, and expected results as to the measures of providing safety operation of the CEO; timely detection, guaranteed recognition, and system diagnostics of risk factors and situations; prompt forecasting, reliable assessment of abnormal situations; formation and realization of a rational solution in a practicable time within an irremovable time constraint. The principles that underlie the strategy of the guaranteed safety of CEO operation provide a flexible approach to timely detection, recognition, prediction, and system diagnostic of risk factors and situations, to formulation and implementation of a rational decision in a practicable time within an irremovable time constraint.

The diagnostic unit, which is the basis of a safety operation algorithm for complex objects in abnormal situations, is developed as an information platform [4] that contains the following modules:

- acquisition and processing of the initial information during the CEO operation;
- recovery of functional dependences (FDs) from empirical discrete samples;
- quantization of the discrete numerical values;
- identification of sensors failure;
- timely diagnosis of abnormal situations;
- forecast of nonstationary processes;
- generation of the process of engineering diagnostics.

A system strategy to estimation of guaranteed of survivability and safety operation of CEO allows to prevent the inoperativeness and abnormal situations. The real-time complex, system, and continuous estimation of the parameters of object operation detects situations that can bring the object out of the normal-mode operation. The simultaneous monitoring and integrated estimation of

the parameters of a finite number of functionally dynamic parameters allow detailing the processes of object operation of any order of complexity. For situations that may cause deviations of the parameters from the normal mode of object operation, a timely decision can be made to change the mode of operation or to artificially correct some parameters to make the operation survivable. The principles that underlie the strategy of the guaranteed safety of CEO operation provide a flexible approach to timely decision-making of detection, recognition, prediction, and system diagnostic of risk factors and situations, to formulation and implementation of a rational decision in a practicable time within an unremovable time constraint.

### References

1. Pankratova N.D., System strategy for guaranteed safety of complex engineering systems //Cybernetics and Systems Analysis. – 2010. –v.46, №2. –pp. 243-251. 2.–pp.152-167.
2. Pankratova N.D., Kondratova L.P. System evaluation of engineering objects' operating taking into account the margin of permissible risk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies № 3. –2016. –P.13-19. DOI:10.15587/1729-4061.2016.71126.
3. Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D. System analysis: Theory and Applications //Springer.-2007. - 475 p.
4. Pankratova N. System approach to estimation of guaranteed safe operation of complex engineering systems // International Book Series «Information science&computing». –New Trends in Information Technologies. ITHEA. SOFIA, 2010.
5. Pankratova N.D. Safety operations of the complex engineering objects // International Journal. «Information technologies&knowledge».ITHEA. SOFIA,v.5,№2.- 2011. –P.152-167.

## **THE INFLUENCE OF THE FREE SPACE ENVIRONMENT ON THE SUPERLIGHT-WEIGHT THERMAL PROTECTION SYSTEM: MODELING, OPTIMIZATION, AND RISK ANALYSIS**

Space systems such as Space Shuttle and Buran design presented many thermal insulation challenges. The system not only had to perform well, it had to integrate with other subsystems. The Orbiter's surfaces were exposed to exceedingly high temperatures and needed reusable, lightweight, low-cost thermal protection. The vehicle also required low vulnerability to orbital debris and minimal thermal conductivity. Designers decided to bond the Orbiter's thermal protection directly to its aluminum skin, which presented an additional challenge. The External Tank also required insulation to maintain the cryogenic fuels, liquid hydrogen, and liquid oxygen as well as to provide additional structural integrity through launch and after release from the Orbiter. The challenge and solutions that NASA discovered through tests and flight experience represent innovations that will carry into the next generation of space programs.



Fig.1. – Space Shuttle

As it was indicated above, development of the thermal protection systems (TPS) represents one of the central problems to be solved while creating reusable space systems (RSS). The costs associated with the development of TPS often exceed 25% of the total costs of a spacecraft.

### 1. Conception of TPS modelling

This paper focuses on the results of the EU project “Superlight-weight thermal protection system for space application (LIGHT-TPS)” [1-3]. The bottom line is an analysis of influence of the free space environment on the superlight-weight thermal protection system (TPS). This paper concentrates on new methods that based on the following models: synergetic, physical, and computational. This report concentrates on four approaches.

*The first concerns* the synergetic approach. The synergetic approach to the solution of problems of self-controlled synthesis of structures and creation of self-organizing technologies is considered in connection with the super-problem of creation of materials with new functional properties. Synergetics methods and mathematical design are considered according to actual problems of material science.

*The second approach* describes how the optimization methods can be used to determine material microstructures with optimized or targeted properties. This technique enables one to find unexpected microstructures with exotic behavior (e.g., negative thermal expansion coefficients).

*The third approach* concerns the dynamic probabilistic risk analysis of TPS elements with complex characterizations for damages using a physical model of TPS system and a predictable



level of ionizing radiation and space weather. Focusing is given mainly on the TPS model, mathematical models for dynamic probabilistic risk assessment and software for the modeling and prediction of the influence of the free space environment. The probabilistic risk assessment method for TPS is presented considering some deterministic and stochastic factors. The forth approach concerns results of experimental research of the temperature distribution on the surface of the honeycomb sandwich panel size 150 150 20 mm at the diffusion welding in vacuum are considered. An equipment, which provides alignment of temperature fields in a product for the formation of equal strength of welded joints is considered. Many tasks in computational materials science can be posed as optimization problems. This technique enables one to find unexpected microstructures with exotic behavior (e.g., negative thermal expansion coefficients).

*The last approach* is concerned with the generation of realizations of materials with specified but limited microstructural information: an intriguing inverse problem of both fundamental and practical importance. Computational models based upon the theories of molecular dynamics or quantum mechanics would enable the prediction and modification of fundamental materials properties. This problem is solved using deterministic and stochastic optimization techniques. The main optimization approaches in the frame of the EU project “Superlight-weight thermal protection system for space application” are discussed. Optimization approach to the alloys for obtaining materials with required properties using modeling techniques and experimental data will be also considered. This report is supported by the EU project “Superlight-weight thermal protection system for space application (LIGHT-TPS)”

2. Analysis and optimization of a TPS temperature fields during diffusion welding process  
We studied the effect of heating conditions on temperature fields distribution on the surface of the honeycomb front cover. The impact of forming matrices on the heating uniformity of the honeycomb panel has been studied. In the first variant a sandwich panel, consisting of a honeycomb core, upper and lower lids was directly heated. In the second case TPS was heated by the forming device. A formative device consisted of limiting sleeve and massive covers (upper and lower), which should eliminate the overheating of the corner panel elements to redistribute the heat flow from the heater to the heat shield panel. In this work the TPS welding and its heating system are analyzed by means of both analytic and numerical thermal models. In particular, the numerical model was implemented by means of a commercial finite element code and fully coupled thermal analyses were performed with a proper solution method for the radiative heat transfer problem. Theoretical results have been compared with experimental data in terms of temperature difference, showing the substantial reliability of both the analytic and the numerical models. Subsequent to the validation of the finite element model, a sensitivity analysis was performed to investigate the influence of some design variables and construction details on the target temperature distribution.

### References

1. Yatsenko V. Optimization methods in material science: synergetics, dynamical models, and optimization problems. 3<sup>rd</sup> International Scientific conference «Nonlinear analysis and applications», 2015, May 15. Book abstracts.
2. Petrushinets L.V., Yatsenko V.A. and etc. DIFFUSION WELDING OF HIGH-TEMPERATURE Ni-Cr ALLOY FOILS, VII International Scientific conference Welding and related technologies, 21-21 May 2015, Kiev, p. 34.
3. Yatsenko V., Girenko A., Husarova I., Falchenko Yu., Silvestroni L. Superlight-weight thermal protection systems for space applications: conception, methods, and applications. 6th European Conference for Aeronautic and Space Sciences (EUCAS 2015), Book Abstracts, 29 June – 3 July 2015, Krakow, Poland.

## DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SLEEP APNEA DETECTION

Sleep apnea (SA) is a common sleep disorder that causes pauses of breathing during sleep. According to literature around 4 % of men and 2 % of women have SA [1]. Sleep apnea refers to episodes of non-breathing events lasting more than 10 seconds [2]. This happens during sleep and may sometimes occur more than 300 times a night. In obstructive sleep apnea syndrome (OSAS), the pause of breathing is due to the obstruction of the upper airways of the respiratory system. Nowadays, polysomnography (PSG) is considered as the standard method for SA diagnostic. For PSG measurements patient has to sleep in laboratory over one or two nights. PSG has recordings of around 16 signals, including ECG, EEG, respiratory effort, airflow rate, that are collected during night. So, a variety of sensors and wires are attached to the patient's body. After that, recorded signals are analyzed for final diagnosis.

According to our latest research, in some cases, the cause of the obstructive sleep apnea syndrome is the problem of nasal breathing. However, all patients who suffer from snoring and have episodes of sleep apnea are exposed to polysomnography without objective quantitative assessment of nasal breathing function. Therefore, the use of complex examination of these patients using Active Anterior Rhinomanometry (AAR) as the “gold standard” is necessary.

Decision-making in otolaryngology is complex process, especially for differential diagnosis. A lot of methods are used for PSG-data processing [3]. Some of them are based on classification algorithms. Time and frequency analysis of heart rate variability (HRV), ECG-derived respiration, photoplethysmography and EEG signals were processed by classification algorithms. We propose to create a multifactorial basis, which consists of PSG signals, clinical data, images and rhinomanometric data. An accurate identification of disease's causes, can substantially determine the most proper treatment, based on each patient's specific prognosis. The goal of this study is to evaluate classification of multiparametric basis [4] using extracted features from PSG and rhinomanometric signals.

The diagram of proposed approach is shown in Fig. 1.

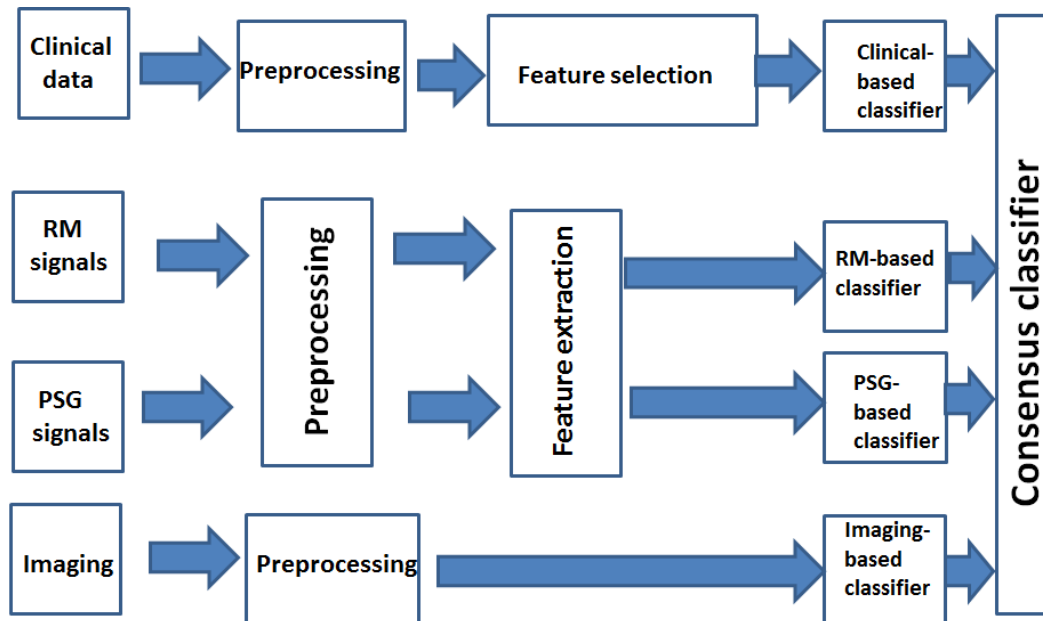


Fig. 1. Diagram of the proposed DSS

Input dataset consists of PSG signals (airflow rate), rhinomanometric signals, images and clinical data, including rhinomanometric data (demographic data of gender, age, weight, height, coefficients of nasal resistance and other). The first stage is data collection, secondly we implement a preprocessing. For time series we use filtering of noises and smoothing of signals [5]. For clinical dataset we remove the missing values and implement the feature selection technique. This technique is based on least-angle regression method (LARS). Preprocessing method for imaging is described in detail in work [6]. Afterwards we realize a feature extraction stage for time series of RM and PSG data. For RM time series we propose usage a technique, which presented in paper [5]. PSG-signals are processed according to methods [3]. The next stage is classification, separately for each type of data. We use three methods for classification: Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) and deep convolutional neural network (CNN). The performance of classification was measured in terms of the percentage of correctly classified data with pathology. Learning set takes 85% from all dataset for each type of data and test set takes 15%. We analyzed data from 1076 patients. Results of classification are shown in table 1.

Classification results

Table 1.

Classification algorithm	Type of data	Acc (%), learning	Acc (%), test
RF	PSG	95	89,47
SVM	RM	95,7	89,47
	Clinical	91,2	86,6
CNN	Imaging	90,1	88,2

Finally, besides the individual clinical/RM/PSG/imaging-based classifiers, we are going to implement a consensus classifier that combines the aforementioned predictions in a complementary manner in order to procure a more accurate outcome. Consensus classifier utilizes a majority voting algorithm in order to procure the consensus of the four individual classifiers described previously. For this purpose the best performing classification schemes from each source of data are chosen and the consensus decision is obtained.

We presented a multilevel data integration approach that utilizes clinical, imaging, and time series data for diagnostic OSAS. We added to initial dataset the data of objective assessment of nasal breathing. Based on our results, we observe that the complementary analysis of clinical, imaging, and time series data can be proven quite fruitful in terms of the gained results. Decision support system based on proposed approach allows us to enhance an accuracy of diagnostics and to prescribe individual therapy.

## References

1. Young T., Palta M., Dempsey J., Skatrud J., Weber S., Badr S. The occurrence of sleep-disordered breathing among middle-aged adults, *New Engl. J.Med.*, vol.328, no.17, 1993, pp. 1230-1235.
2. AASM. Sleep-Related Breathing Disorders in Adults:Recommendations for Syndrome Definition and Measurement Techniques in Clinical Research. The Report of an American Academy of Sleep Medicine Task Force, *SLEEP*, Vol. 22, No. 5, 1999.
3. Xie B., Minn H., Real-time sleep apnea detection by classifier combination, *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*, vol. 16, no. 3, 2012, pp. 469-477.
4. Exarchos K.P., Goletsis Y., Fortiadis D.I., Multiparametric decision support system for the prediction of oral cancer reoccurrence, *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*, vol. 16, no. 6, 2012, pp. 1127-1134.
5. Yerokhin A., Nechyporenko A., Babii A., Turuta A., Processing and analysis of rhinomanometric signals by F-transform approximation, *Proc. of the International Conference Data Stream Mining&Processing*, Lviv, 23-27 August, 2016, pp. 314-317.
6. Yerokhin A., Nechyporenko A., Babii A., Turuta A., A New Intelligence-Based Approach for Rhinomanometric Data Processing, *Proc. 2016 IEEE 36th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 19-21 April, 2016, pp. 198-201.

### РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ ПРО (R,P)-ЦЕНТРОЇД МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ПОШУКУ ІЗ ЗАБОРОНАМИ

Задача про (r,p)-центроїд часто виникає при розв'язуванні прикладних задач, зокрема вибору технічних засобів при стандартизації, при розв'язуванні інвестиційних задач з частковим зовнішнім фінансуванням, динамічного планування виробництва в умовах обмежених потужностей випуску продукції та інших задач [1, 3].

Ця задача полягає у відшуванні булевих n-вимірних векторів  $x$  та  $y$  таких, що

$$\min_y \sum_{i \in I} w_i \times u_i(x, y) \times x_i \rightarrow \max_x;$$

при умовах:

$$\sum_{i \in I} x_i = r;$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p;$$

$$1 - u_i = \max_{l \in D_i(x)} y_l, i \in I;$$

$$x_i + y_i \leq 1, i \in I;$$

$$D_j(x) = \{i \in I \mid g_{ij} < \min_{l \in I} \{g_{lj} \mid x_l = 1\}, j \in J\};$$

$$x, y, u \in B^n; I = \{1, \dots, m\}; J = \{1, \dots, n\}.$$

Задача про (r,p)-центроїд є NP-складною [3]. Для її розв'язання пропонується метод зведення до послідовності простіших однокритеріальних задач булевого програмування шляхом побудови допоміжних задач такого виду [2]:

$$W(Y) \rightarrow \max;$$

$$\sum_{j \in J} w_j v_j \geq W(Y);$$

$$\sum_{i \in D_j(y)} x_i \geq v_j, j \in J, y \in Y;$$

$$\sum_{i \in I} x_i = r;$$

$$x \in B^n; Y \subset B^n.$$

Знаходження точного розв'язку такої задачі булевого програмування також потребує значних обчислень, тому пропонується використовувати один із наближених методів. Розглядався метод локального пошуку [4]. Однак, локальних розв'язків в задачі виявилось дуже багато: їх кількість залежить від розмірності задачі експоненціально. Крім того, існує багато різних локальних оптимумів з однаковими значеннями цільової функції. Для подолання цих труднощів краще застосувати імовірнісний пошук з заборонами, який дозволяє вибиратися з локальних оптимумів для продовження пошуку глобального розв'язку [1].

Перегляд околу точки і вибір найкращого елементу в цьому околі потребує значного обсягу обчислень. Тому доводиться обмежуватися околами малої потужності, наприклад, swar-околами, і розглядати не весь окіл, а тільки певну його частину. Розглядається метод, коли ця частина вибирається випадковим чином. Такий підхід дозволяє значно скоротити складність обчислень, послабити залежність ефективності методу від довжини списку заборон. Також для зменшення складності кожного кроку алгоритму використовується перехід до лінійної релаксації при обчисленні цільової функції, тобто, заміна умов булевості змінних на умову їх належності відрізка  $[0,1]$ .

Загальна схема алгоритму локального пошуку із заборонами:

1.  $k=0$ . Побудувати початковий допустимий розв'язок  $x^0$ ; очистити список заборон  $T^0=\emptyset$ ; вибрати довжину списку заборон  $d \in \mathbb{N}$  та коефіцієнт рандомізації околу  $0 < q < 1$ .
2. Якщо виконується критерій зупинки то  $x^k$  – шуканий розв'язок, завершити алгоритм.
3. Побудувати  $S^k(x)$  – swar-окіл точки  $x^k$ .
4. Для кожної точки з околу  $S^k(x)$  вибрати випадкове число  $p_i$ . Знайти множину точок, для яких  $p_i < q$ . Решту точок вилучити із околу  $S^k(x)$ .
5. Якщо  $S^k(x) \setminus T^k \neq \emptyset$ , то знайти елемент  $x^{k+1}$  із множин  $S^k(x) \setminus T^k$ , якому відповідає найкраще значення цільової функції, інакше вважати  $x^{k+1} = x^k$ .
6. Перебудувати список заборон:  $T^{k+1} = T^k \cup \{x^k\} \setminus \{x^{k-d}\}$ .
7. Присвоїти  $k=k+1$  та перейти до виконання наступної ітерації (крок 2).

Проведені чисельні експерименти показують, що використання методу локального пошуку із заборонами дозволяє швидко розв'язати задачу про  $(r,p)$ -центроїд. Також цей метод дозволяє ефективно використовувати сучасні багатопотокові обчислювальні машини, здійснюючи пошук із багатьох декількох початкових точок паралельно.

## Література

1. Benati S., Laporte G. Tabu search algorithms for the  $(r|X_p)$ -medianoid and  $(r|p)$ -centroid problems // Location Science.– 1994. – V.2, N.2, – P.193–204.
2. Андрашко Ю.В. Зведення конкурентної задачі розміщення до послідовності однокритеріальних задач// Науковий вісник Ужгородського університету. Серія матем. і інформ./ Редкол.: В.В.Маринець та інші. – Ужгород: Видавництво УжНУ Говерла, 2013. – Вип. 24, №2. – С.5–11.
3. Кочетов Ю.А. Задача о  $(r,p)$ -центроиде // Материалы IV Всероссийской конференции Проблемы оптимизации и экономические приложения. – Омск: ОФ ИМ СО РАН, 2009. – С. 68–73.
4. Сергиенко И.В., Каспшицкая М. Ф. Модели и методы решения на ЭВМ комбинаторных задач оптимизации. – К.: Наукова думка, 1981. – 288 с.

## **ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА**

В даний час, як в Україні, так і закордоном виробництво конвертерної сталі отримало швидке та широке розповсюдження, завдяки своїй простоті та високій продуктивності, низькими капітальними та експлуатаційними витратами, і зараз є провідним сталеплавильним процесом в світі [1].

Одним з найбільших джерел витрат на конвертерному виробництві сталі є заміна футеровки конвертера. Тому у світовій практиці, виробництва сталі в конвертерах домінують тенденції підвищення стійкості футеровки конвертера та прогнозування зношення різних частин футеровки, в залежності від специфіки її навантаження.

Ще в минулому столітті вчені виявили основні фактори що впливають на термін роботи футеровки конвертера. З [2] відомо, що такі фактори можна поділити на технічні (якість застосування вогнетривких матеріалів та схема кладки) і технологічні (якість чавуну, основність плавки, виконання додувок та способи догляду за футеровкою протягом компанії). Розглянемо ці фактори більш детально.

Технічні фактори закладають основу для подальшого використання футеровки конвертера. Тому правильний вибір вогнетривких матеріалів і продумана схема кладки футеровки, дозволять значно збільшити її стійкість. Зокрема, сказано що використання необпалених периклазовуглицевих вогнетривів (мають найдовший ресурс, на сьогоднішній день) та диференційована схема кладки дозволяють значно підвищити тривалість експлуатації кисневого конвертера.

Технологічні фактори впливають на зношування футеровки протягом кампанії. Зокрема важливо правильно підійти до догляду за футеровкою. Такі заходи можна розділити на три основні групи: торкретування, шлакування та підварювання [3].

Торкретування – це метод гарячого ремонту футеровки конвертера, полягає в нанесенні, через торкрет-фурму, вогнетривких мас на зношені ділянки футеровки. Торкретування буває мокре, напівсухе та факельне. Недоліками мокрого і напівсухого торкретування вважається велика тривалість операції. Факельне торкретування вважають найефективнішим, але головний його недолік – це велика вартість торкрет-матеріалів.

Шлакування – це відносно нова технологія, що передбачає вдування азоту під високим тиском через верхню кисневу фурму конвертера з метою розбризкування шлаку по футеровці. Переважно перед цим у шлак додають оксиди магнію (доломіт, доломітове вапно) для підвищення густоти шлаку.

Підварюванням зазвичай ремонтують завалочну та зливну сторони футеровки, а також днище. В якості підварки використовують б/у цеглу, або підварочні маси на периклазовій основі. Одним з недоліків такого догляду за футеровкою - це неможливість ремонту горловини конвертера.

Стосовно якості чавуну, як фактора впливу на стійкість футеровки, слід відзначити, насамперед, його хімічний склад на момент заливки, а саме вміст у чавуні  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $FeO$  та інших оксидів заліза.

В багатьох розглянутих джерелах відмічають важливість перенасичення шлаку оксидом магнію (в середньому 8-12%). Це пов'язано зі згущенням такого шлаку, оскільки розріджений шлак (формується через високий вміст  $FeO$  та інших оксидів заліза) може проникати в пори футеровки, що з часом руйнує її. Але важливо не допустити надмірного збагачення в шлаку  $MgO$ , тому що різко підвищиться його в'язкість і стане важко отримати активний шлак.

Оскільки багато авторів [2,3] здебільшого сходяться на нелінійному характері залежності терміну роботи футеровки від вище згаданих факторів, то для побудови моделі

стійкості футеровки від технологічних факторів її експлуатації добре підходить штучна нейронна мережа, зокрема, прямого поширення з активаційною функцією виду гіперболічний тангенс.

Широке використання нейронних мереж для вирішення задач обробки інформації (кластеризація, класифікація, прогнозування і т.д.) обумовлене їх високими апроксимуючими можливостями, оскільки доведено, що нейронна мережа з одним внутрішнім шаром нейронів може як завгодно точно апроксимувати будь-яку нелінійну функцію.

В ході роботи були відібрані фактори, що найсильніше впливають на стійкість футеровки конвертера, за допомогою оцінки їх нелінійної статистичної залежності, методом, що базується на оцінюванні значень коефіцієнтів детермінації з використанням невідомих функцій регресії, отриманих методом скловзких середніх.

З початкової вибірки, що містила інформацію про роботу 93 футеровок протягом 2004-2011 років у конвертерному цеху ПАТ «ЄВРАЗ ДМЗ ім. Петровського», з контролем 22 факторів технологічного процесу, були виявлені п'ять, показники яких мають найвищі коефіцієнти детермінації з стійкістю футеровки:

- відсоток плавок з основністю менше 2,8 одиниць;
- відсотковий вміст FeO в шлаку;
- відсотковий вміст оксиду магнію в шлаку;
- кількість торкретувань;
- кількість шлакувань.

Використовуючи дані про лише ці п'ять фактори, виконавши необхідний препроцесінг інформації та оптимізацію нейронної мережі, було отримано модель прогнозування стійкості футеровки конвертера на основі проведено навчання штучної нейронної мережі прямого поширення.

Використовуючи у якості критерію якості навчання модуль показника мінімуму похибки на тестовій виборці та метод зворотного поширення похибки в якості навчального алгоритму, було отримано мережу, що дозволяє прогнозувати стійкість, в середньому з відхиленням на 6 відсотків від правильної відповіді.

В результаті дослідження підтверджено, що для досягнення показника стійкості футеровки (не залежно від її виробника та пори року експлуатації) у 3500 плавок і більше за одну кампанію, необхідно дотримуватись наступних умов:

- основністю чавуну менше 2,8 відсотків за плавку, має бути на рівні 50% за кампанію і вище;
- вміст оксиду заліза в шлаку на рівні 16%;
- вміст оксиду магнію в шлаку на рівні 4%;
- кількість торкретувань за кампанію в середньому 0,21 від кількості плавок;
- кількість шлакувань за кампанію не менше 0,83 від кількості плавок (краще після кожної плавки).

### Література

1. Пантейков С.П. Анализ мирового развития и современное состояние технологий ошлакования футеровки кислородных конвертеров [текст] / С.П. Пантейков // Бюллетень «Черная металлургия» - №6. – 2013. – с.65-78.
2. Желдак Т.А. Використання технології OLAP для прогнозування стійкості футеровки конвертера [текст] / Т.А. Желдак // Праці VII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, УжНУ, 2014. – с. 105-106.
3. Смирнов А. Н. Оптимизация показателей стойкости и снижение затрат на футеровку конвертера [текст] / А. Н. Смирнов, К. Е. Писмарев, А. А. Сердюков, А. Ф. Тонкушин, К. Н. Шарандин // Металл и литье Украины. - № 11(222). – 2011. – с.24-28.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА СИСТЕМ

Виходячи із дійсного становища щодо рівня енергоємності валового внутрішнього продукту (ЕВВП) України, який, на жаль, відповідає рівню розвинених країн світу (США, Канада, Чехія, Польща) середини 1970-х років, а також наявного світового досвіду досягнення прийнятного рівня ЕВВП та перспективних цільових завдань щодо зміни енергетичної парадигми проектування зелених елементів та систем показано, що значне зниження ЕВВП можливо за рахунок енергозбереження в системах підйому, стиснення/розширення і транспортування робочого тіла (рідини, повітря, газу, пару) – *гідроаеродинамічних системах*. Проаналізовано проблеми проектування зелених гідроаеродинамічних елементів і систем (ГАЕ/С) в існуючих машинобудівних та інженерних САПР та АРМ проектувальників [1]. Враховуючи конструктивні особливості структурних елементів мережевої і генеруючої частин існуючих ГАС показано, що моделі і методи структурного і параметричного синтезу, які використовуються в машинобудівних САПР/АРМ, не повною мірою враховують вплив стану реальних гідро аеродинамічних потоків (ГП) при формуванні бази типових проектних рішень щодо елементів, які в наслідок мають невиправдано високі значення гідроаеродинамічних опорів. Використання в інженерних САПР/АРМ таким чином спроектованих елементів при структурному синтезі мережевої частини, а також врахування їх підвищених опорів для розрахунку тиску і потужності при параметричному синтезі генеруючої частини тільки ускладнюють ситуацію зі енергозбереженням та екологічним навантаженням та призводять до сумарних втрат енергії до 40% в ГАС, що проектуються [2]. Для визначення шляхів вирішення зазначених проблем автоматизованого проектування зелених ГАЕ/С проаналізовано сучасні можливості автоматизації існуючих моделей та методів структурного, параметричного та структурно-параметричного синтезу системних об'єктів [3,4], візуалізації руху рідин та газів [5] та інтелектуального аналізу візуальних даних [6]. Обґрунтовано обмеженість їх можливостей задля автоматизації отримання оцінок стану ГП при проектуванні зелених ГАЕ/С.

Робоча гіпотеза дослідження [7] полягає у тому, що проектування зелених ГАЕ/С, яке передбачає підвищення їх енергоефективності та зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище, повинно базуватися на інтелектуальних інформаційних технологіях (ІТ), які не тільки підвищують ступень автоматизації проектувальних робіт за рахунок нових методів щодо формалізації процесу проектування, але й враховують нові моделі одночасного структурно та параметричного представлення системних об'єктів та значення показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу, як характеристики їх енергоефективності та екологічного навантаження.

Запропоновані рішення при створенні ІТ проектування зелених ГАЕ/С базуються на *міждисциплінарних* дослідженнях, що пов'язані з одного боку з отриманням, представленням, аналізом та систематизацією інформації про структуру, властивості й параметри ГП в елементах та системах, що проектуються за допомогою САПР/АРМ, а з іншого боку з побудовою нових моделей і методів структурно-параметричного синтезу системних об'єктів, засобів автоматизації фізичного моделювання та візуалізації руху рідин та газів за рахунок використання методів інтелектуального аналізу даних задля автоматизації обробки візуальних даних ГП. Особливістю ІТ, що розробляється, є можливість створення бази фізичних прототипів допоміжних елементів ГАС зі зниженими гідроаеродинамічними опорами.

Практична цінність створюваних моделей методів та ІТ полягає в підвищенні енергоефективності та обмеженні негативного екологічного впливу енерговиробництва та енергоспоживання проектування зелених ГАЕ/С, які проектуються для виробництва



технологічно складної та енергоємної продукції енергетичних металургійних, нафтопереробних, вугледобувних, харчових та інших подібних виробництв, а також споживання у системах вентиляції, тепло-, газо- і водопостачання. Практична апробація ПТ [8], яку створено, доводить, що використанні для автоматизації проектування фізичних прототипів термостатичного клапану фірми Herz Armaturen та розподільного колектора аеродинамічної системи енергоблоку №11 Молдавської ДРЕС дозволили знизити гідравлічний опір цих допоміжних елементів, відповідно, в 1,5 та 2 рази. Використання розроблених енергозберігаючих проектних рішень щодо допоміжних елементів в системах теплопостачання та аеродинамічних системах, що проектуються дозволило знизити енергоємність гідроаеродинамічних процесів в них відповідно на 25-30 % та 14 %. Запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ були використанні в УДЦ «Молода гвардія» для проектування системи тепло- та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5, енергоємність гідродинамічного процесу якої на 15 % нижче від подібних існуючих.

### Література

1. Бойко А.В. «Оптимальное проектирование проточной части осевых турбин (основы теории, расчётов, эксперимент)»; - Харьков; НТУ «ХПИ»; 2011, 388с.
2. Канило П.М. Анализ энергоэкологических показателей тепловых электростанций / П.М. Канило, М.В. Сарапина // Проблемы машиностроения. — 2012. — Т. 15, № 3-4. — С. 100-106. — Бібліогр.: 5 назв. — рос.
3. Волков, В.А. Системный анализ для структурно-параметрического синтеза / В.А. Волков, С.М. Чудинов// Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. - 2012. - №19(138), вып. 24/1.-С. 153-157.
4. Немтинов В.А. Интеллектуальные системы проектирования и управления техническими объектами/ Немтинов В.А., Краснянский М.Н., Карпушкин С.В и др..// Учебное пособие. — Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. — 180 с. ISBN 978-5-8265-1542-6.
5. Eitel-Amor G. Simulation and validation of a spatially evolving turbulent boundary layer up to  $Re=8300$ / Georg Eitel-Amor, Ramis Örlü, Philipp Schlatter// International Journal of Heat and Fluid Flow Volume 47, June 2014, Pages 57–69
6. Арсирий Е. А. Разработка моделей элементов гидроаэродинамических систем на основе средств интеллектуальной визуализации / Е. А. Арсирий // Восточ.-Европ. журн. передовых технологий. Энергосберегающие технологии и оборудование. – Харьков, 2013 – №3/8(63). – С. 4 – 8.
7. Арсирий, Е. А. Концептуальная модель информационной поддержки принятия решений по совершенствованию эксплуатируемого энергетического оборудования / Е. А. Арсирий, С. Г. Антошук, В. А. Арсирий // Електротехн. та комп'ют. системи. – К. : Техніка, 2013. – № 11(87).
8. Интеллектуальный анализ при комплексном моделировании для повышения надежности работы энергетического оборудования / Е. А. Арсирий, С. Г. Антошук, В. А. Арсирий, В. И. Кравченко // Радіоелектроні і комп'ютерні системи. / Харків. авіац. ін-т. – Харків, 2012. – № 6(58). – С. 89 – 95.

## МЕТОД АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ В УМОВАХ ЧАСТИХ ЗМІН ЇХ ПАРАМЕТРІВ

Управління маршрутизацією в телекомунікаційних мережах засноване на класичних методах [1] є дуже трудомістким процесом, що вимагає проведення значних розрахунків і що займає багато часу і місця в пам'яті маршрутизатора. При переплануванні мережі, введенні нового елементу або ж при зміні довжини лінії зв'язку, доводиться проводити багато перерахунків, що потребує багато часу, внаслідок чого новий маршрут виявиться неоптимальним.

Для підвищення ефективності функціонування комп'ютерних мереж при частих змінах їх параметрів пропонується розробити метод маршрутизації на базі нечіткого алгоритму Такаґи-Сугено. Пропонований альтернативний підхід, ґрунтується на апараті нечіткої логіки [2] і усуває недоліки класичного підходу. Окрім цього, цей алгоритм враховує думку експерта і здатний до обліку нелінійних властивостей системи. Крім того, процес визначення альтернативного маршруту відбувається набагато швидше. Для підтвердження авторської гіпотези було проведено імітаційний експеримент.

Дослідження проводилось на прикладі порівняння результатів матричного алгоритму пошуку найбільш короткого шляху від вузла до вузла та нового методу. Припустимо, є комп'ютерна мережа, що має вигляд графа і матриця  $L$ , що відображає відстані безпосередніх зв'язків цієї мережі (рис. 1). Класичний метод дає результатом шлях через вузол 2.

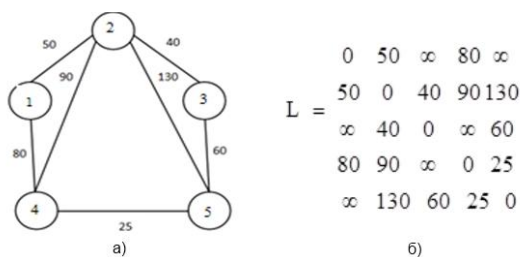


Рис.1. Граф і матриця, що характеризують комп'ютерну мережу

В умовах отримання оновленої інформації, про зміну стану лінії зв'язку між вузлами корпоративної мережі в певний момент часу, що представлена у вигляді матриці станів (1)

$$M^{(1)} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 150 & 250 & 80 & 105 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 50 & 0 & 100 & 90 & 100 \end{matrix} & (1) \\ \begin{matrix} 90 & 40 & 0 & 85 & 60 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 80 & 90 & 85 & 0 & 25 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 105 & 130 & 60 & 25 & 0 \end{matrix} \end{matrix}$$

потрібний перерахунок і пошук нових оптимальних маршрутів, наприклад для передачі пакетів і вузла 1 в 3. Скористаємося інтелектуальним підходом. Припустимо, що на вхід модуля нечіткої системи подається сигнал  $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ , який може інтерпретуватися як вектор стану об'єкту (лінії зв'язку між хостами). Визначимо вихідний сигнал  $\bar{y}$  (відстань) цього модуля. Для правила  $R^{(1)}$  розраховуємо (2) :

$$\mu_{A_1}(\bar{x}_1), \mu_{A_2}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n}(\bar{x}_n),$$

$$w^1 = \begin{cases} \min \{ \mu_{A_1^1}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^1}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^1}(\bar{x}_n) \} \\ \text{або} \\ \mu_{A_1^1}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^1}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^1}(\bar{x}_n) \end{cases} \quad (2)$$

На наступному етапі розраховуємо:

$$\bar{y}_1 = f^{(1)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$$

Продовжуємо розрахунки для інших правил  $R^{(k)}$ ,  $k = 2, \dots, N$ . Для правила  $R^{(N)}$  отримуємо:

$$w^N = \begin{cases} \mu_{A_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^N}(\bar{x}_n), \\ \min \{ \mu_{A_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^N}(\bar{x}_n) \} \\ \text{или} \\ \mu_{A_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^N}(\bar{x}_n) \end{cases} \quad (3)$$

$$\bar{y}_N = f^{(N)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$$

У скороченому вигляді базу правил модуля можна записати у вигляді:

$$R^{(N)} : IF(x_1 \text{ is } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^k \text{ AND } \dots x_n \text{ is } A_n^k) \quad (4)$$

$$THEN y_k = c_0^{(k)} + c_1^{(k)}x_1 + \dots c_n^{(k)}x_n$$

для  $k=1, \dots, N$ .

Для апробації запропонованого підходу використано пакет MatLab (Fuzzy Logic Toolbox).

Перевірка системи на розрахунок при довільних вхідних значеннях також показало її адекватність. Представлена система розрахунку нових значень параметрів мережі є універсальним апроксиматором і може бути рекомендована системним адміністраторам як експертна або програмно реалізована у вигляді алгоритму розрахунку і вибору оптимального маршруту передачі даних (рис. 2).

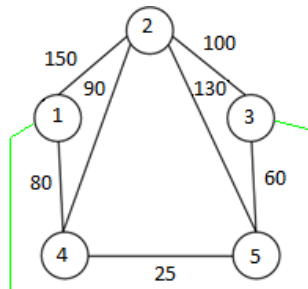


Рис.2. Демонстрація оптимального маршруту «1-3»

Таким чином, інтелектуальний маршрутизатор при виборі маршруту (1-3) замість проміжного вузла 2 рекомендує вибір шляху через вузли 4 і 5. Слід зазначити, що кількість вхідних і вихідних параметрів в нечіткій системі може бути необмеженою, але при цьому пропорційно збільшується і розмір бази знань, тому кількість рекомендованих виходів не повинна перевищувати трьох.

## Література

1. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 458 с.
2. Бородинский А. А. Модели и методы управления услугами IPTV в сетях NGN : дис. канд. техн. наук : 05.12.13 / Бородинский А. А. – Санкт-Петербург, 2013. – 141 с.

## СЕГМЕНТАЦИЯ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФАЗЗИФИКАЦИИ И ОРТОГОНАЛЬНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Постановка задачи. В настоящее время не существует общей теории оптимального представления и обработки изображений [1]. Выбор конкретной технологии обработки зависит от решаемой проблемы и требований, предъявляемых к результату. Существует множество практических задач, требующих выявления визуально неразличимых областей (объектов интереса) слабоконтрастных изображений (например, в медицине, геологии, экологии и пр.) Сложность их обработки, как правило, заключается в том, что, с одной стороны, аномалии часто представляют собой небольшую область, которую можно принять за шум или дефект снимка, а с другой стороны, параметры объектов интереса могут несущественно отличаться друг от друга и от общего фона, иметь неизвестную форму и нечеткие границы (рис. 1).



Рис. 1. Объекты со сложной конфигурацией: а – изображение недоброкачественной опухоли; б – неоднозначность определения принадлежности к кластеру

Сегментация изображений предполагает выделение однородных областей или объектов и относится к методам высокого уровня обработки [1]. Для нетривиальных изображений это одна из самых сложных задач. Кроме случайности, которая может описываться и учитываться в соответствии с теорией вероятности, в изображениях присутствуют дополнительные виды неопределенности, такие как двусмысленность серого, геометрическая нечеткость, отсутствие знаний о наличии и характеристиках объектов интереса, а также о системе их формирования.

При этом дополнительная сложность заключается в том, что априори неизвестно, какие исходные данные или их производные необходимо использовать для повышения точности кластеризации. При увеличении размерности входного вектора за счет различных преобразований отрицательным фактором может стать: наличие корреляции между входными признаками; увеличение времени обработки; появление артефактов.

В связи со сложностью и неоднозначностью возможного решения, современные подходы для решения задач анализа слабоконтрастных изображений используют методы вычислительного интеллекта, в частности сегментации, основанной на идеях нечеткости [2]. В работе [3] рассмотрены информационные возможности метода анализа слабоконтрастных изображений, основанного на использовании метода нечеткой кластеризации и саморганизации.

Цель данной работы состоит в описании метода повышения чувствительности и достоверности сегментации слабоконтрастных изображений на основе метода нечеткой кластеризации за счет применения ортогональной декомпозиции к нечетким функциям принадлежности, что обеспечивает формирование результирующего «композиционного» изображения с учетом значений функций принадлежности всех классов.

Основная часть. Традиционно, при выполнении нечеткой сегментации, формирование окончательного результата осуществляется на основе максимума функции принадлежности. Такой подход не является достаточно обоснованным, поскольку значения функции принадлежности различных классов могут иметь экстремумы сопоставимой или даже равной амплитуды. С другой стороны, каждый из классов, в пределах которого исключена двусмысленность по определению, содержит информацию, пригодную для анализа, которая теряется в конечном результате.

Структура предлагаемого алгоритма предполагает наличие следующих этапов.

1. Задание числа  $c$  – количества нечетких кластеров, и проведение процедуры нечеткой кластеризации, что обеспечивает расширение пространства исходных данных.

2. Формирование трехмерного массива  $U$  значений функций принадлежности  $\mu_i, i=1,2,...,c$  (размерность третьей координаты равна числу задаваемых кластеров  $c$ ). Информативность каждой ее составляющей является неизвестной.

3. Применение метода сингулярного разложения к массиву  $U$ .

4. Масштабирование диапазона значений яркости для каждой ортогональной составляющей на отрезок  $[0, 1]$ .

5. Переход в комплексную плоскость и формирование сегментированного изображения на основе ортонормированных составляющих нечеткой функции принадлежности.

На рис. 2 представлены результаты сегментации маммограммы на основе нечеткой кластеризации методом FCM по максимуму функции принадлежности и описанным алгоритмом, демонстрирующие повышение чувствительности визуального анализа области интереса при использовании нового метода.

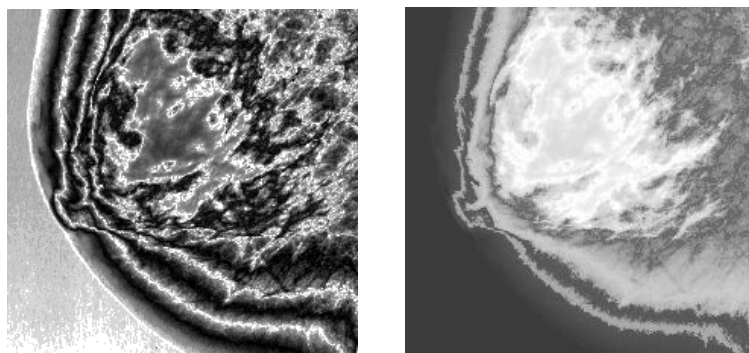


Рис. 1. Визуализация результатов нечеткой кластеризации маммограммы (5 классов): а – исходное изображение; б - максимум функции принадлежности; б – новый метод

В докладе приведены примеры использования для модельных и реальных слабоконтрастных изображений. Представлены различные способы отображения многомерного результата кластеризации на 2-D плоскость.

На основе полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что ортогонализация нечеткой функции принадлежности позволяет выделить наиболее значимую информационную составляющую с учетом всех нечетких кластеров и повысить разрешающую способность и чувствительность сегментации изображений.

### Литература

1. У. Прэтт. Цифровая обработка изображений. – М: Мир. 1982, т.1, –310 с.
2. А. Егоров, Л. Ахметшина. Оптимизация яркости изображений на основе нейро-фаззи технологий / Монография. Изд. Lambert. –2015. –139 с.
3. Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров. Влияние вида меры расстояния на чувствительность нейро-фаззи кластеризации многомерных данных/Штучний інтелект. -2012. -№ 4.-С. 535-545.

## ТЕХНОЛОГИЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВЫСОКОРАЗМЕРНЫХ ДАННЫХ С ПОЗИЦИЙ ИНДУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Пусть исходная выборка данных представлена в виде матрицы  $A = \{x_{ij}\}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ , где  $n$  – количество строк или наблюдаемых объектов,  $m$  – количество признаков, характеризующих объект. Задача кластеризации сводится к разбиению множества объектов на непустые подмножества непересекающихся кластеров, при этом плоскость, разделяющая кластеры может принимать произвольную форму [1]:

$$K = \{K_s\}, s = 1, \dots, k; K_1 \cup K_2 \cup \dots \cup K_k = A;$$

$$K_i \cap K_j = \emptyset, i \neq j; i, j = 1, \dots, k$$

где  $k$  – количество кластеров. Индуктивная модель объективной кластеризации предполагает последовательный перебор кластеризаций с целью выбора наилучшей [1-3]. Пусть  $W$  – множество всех допустимых кластеризаций на заданном множестве  $A$ . Наилучшей (оптимальной) по критерию качества  $QC(K)$  является кластеризация, для которой:

$$K_{opt} = \arg \min_{K \subseteq W} QC(K) \text{ или } K_{opt} = \arg \max_{K \subseteq W} QC(K) \quad (1)$$

Кластеризация  $K_{opt} \subseteq W$  является объективной, если по количеству кластеров, характеру распределения объектов в соответствующих кластерах и количеству несоответствий она меньше всего отличается от экспертной [3]. Технология создания индуктивной модели объективной кластеризации предполагает наличие следующих этапов [1]:

1. определение функции аффинности исследуемых объектов, т.е. метрики, определяющей степень сходства объектов в  $m$ -мерном пространстве признаков;
2. разработка алгоритма разбиения исходного множества исследуемых объектов на два равномоощных подмножества. Под равномоощными в данном случае понимаются подмножества, содержащие одинаковые количества попарно близких объектов;
3. задание способа образования кластеров (сортировка, перегруппировка, объединение, разделение, и т.д.);
4. задание критерия оценки качества кластеризации  $QC$ , как меры сходства кластеров в различных кластеризациях;
5. организация движения к  $\max$ ,  $\min$  или оптимальному значению критерия  $QC$  оценки качества кластеризации;
6. задание способа фиксации объективной кластеризации, соответствующей экстремальному или оптимальному значению критерия оценки качества кластеризации.

Выбор функции аффинности в процессе оценки степени близости объектов или кластеров определяется характером признаков, характеризующих исследуемые объекты. В случае высокоразмерных данных сравниваются профили векторов признаков, при этом в качестве меры сходства могут использоваться различные меры оценки степени близости векторов в  $m$ -мерном пространстве признаков. Способ формирования кластеров определяет алгоритм кластеризации, используемый в индуктивной модели для параллельной группировки объектов в двух равномоощных подмножествах. Характер формирования двух равномоощных подмножеств определяется выбранной мерой сходства объектов, которая в свою очередь, зависит от свойств признакового пространства исследуемых объектов. Для выбора объективной кластеризации необходимо на раннем этапе определить внешние и внутренние критерии, экстремальное или оптимальное значение которых в процессе

перебора кластеризаций позволит зафиксировать объективную кластеризацию на исследуемой выборке данных. Поэтому одной из главных целей данной работы является создание новой информационной технологии, позволяющей с заданной точностью на основе четко сформулированных целей и в допустимых временных интервалах определить оптимальную стратегию группировки объектов в  $m$ -мерном пространстве признаков [4]:

$$S : \{R(K) | (\tau \leq \tau_0, e \leq e_0) \xrightarrow{\{QC\}} opt\} \quad (2)$$

где  $S$  – стратегия группировки объектов в кластеры,  $R(K)$  – результат кластеризации,  $\tau$  – время проведения операции,  $\tau_0$  – предельно допустимое время,  $e$  – погрешность кластеризации на двух равномоощных подмножествах,  $e_0$  – предельно допустимая погрешность,  $\{QC\}$  – множество внешних и внутренних критериев оценки качества кластеризации.

Под стратегией в данном случае понимается целенаправленный процесс выполнения последовательных действий по группировке объектов в соответствии с поставленной задачей в пределах допустимой погрешности.

Погрешность кластеризации можно определить как разницу между характером группировки объектов в соответствующих кластерах в различных кластеризациях:

$$e = f(e_1, e_2, \dots, e_k) \leq e_0, \quad (3)$$

где  $k$  – количество кластеров в различных кластеризациях. Очевидно, что если количество кластеров в различных кластеризациях различается, ошибка автоматически превышает предельно допустимую, т.е. данная кластеризация является неудовлетворительной.

Временной интервал состоит из временных интервалов на различных этапах реализации стратегии группировки объектов:

$$\tau = f(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_t) \leq \tau_0. \quad (4)$$

Здесь  $t$  – количество этапов в процессе работы алгоритма.

Суммарная ошибка или временной промежуток определяется как сумма отдельных компонент в признаковом или временном диапазонах:

$$e = \sum_{i=1}^k e_i \quad (5)$$

$$\tau = \sum_{j=1}^t \tau_j \quad (6)$$

Следует отметить, что выражение (5) является индикатором качества проведенной кластеризации, в то время как выражение (6) является временным индикатором, который не является определяющим с точки зрения качества группировки объектов. Определение степени значимости того или иного параметра определяется выбором стратегии в соответствии с целями решаемой проблемы.

## Литература

1. Сарычева Л.В. Объективный кластерный анализ данных на основе метода группового учета аргументов // Проблемы управления и автоматизации, 2008. – №2. – С. 86-104.
2. Madala H.R., Ivakhnenko A.G. Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling. – CRC Press, 1994. – 365 p.
3. Ивахненко А.Г., Коппа Ю.В., Петухова С.А., Ивахненко М.А. Применение самоорганизации для разбиения множества данных на заранее незаданное число кластеров // Автоматика. – 1985. – №5. – С. 9-16.
4. Осипенко В.В. Системне проектування інформаційно-аналітичних досліджень за принципами індуктивних методів моделювання / В.В. Осипенко // В кн.: Індуктивне моделювання складних систем. – К.: МННЦІТіС АН України, 2009. – С. 140-148.

## **ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПЛАНУ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ МЕРЕЖІ АПТЕК**

Щорічно великі аптечні мережі відкривають до ста нових аптек, тому формування якісного плану диверсифікації потрібно, перш за все, до факту відкриття нової аптеки. Не зважаючи на великі можливості і великий штат ІТ-фахівців в аптечних мережах, розробка єдиної системи, яка об'єднувала б у собі всі окремі функції, є не тільки дорогим заходом, а й недоцільним. Тому аптечні мережі, як правило, використовують системи, що об'єднують в собі окремі додатки у вигляді модулів через інтерфейси і файлову систему організації даних. Це дозволяє об'єднати різні засоби в єдину інформаційну СППР для вирішення завдання формування портфеля проектів і розробки плану диверсифікації мережі аптек.

Над питаннями теорії і практики, пов'язаними з інформаційними системами прийняття рішень, над теоретичними аспектами сучасних технологій збору даних і аналізу структурованої інформації (Data Mining) і їх практичним застосуванням працювали такі фахівці як М. Б. Паклін, В. І. Орешков, Дж. Гінтон, П. Ройяс, П. Д. Васерман, Д. К. Монтгомері, В. М. Лазарєв, О. П. Свиридов, Л. Н. Ясницький, І. П. Гайдишев та інші.

Саме М. Б. Паклін, В. І. Орешков досліджували аптечну мережу, з приводу впровадження такої облікової системи, що зможе консолідувати такі показники, як динаміку продажів, завантаженість торгових точок, товари, що краще продаються.

Метою даної роботи є проектування сховища даних для розробки плану диверсифікації мережі аптек.

Диверсифікація - це стратегія зниження ступеня ризику шляхом розподілу ресурсів мережі аптек між торговими точками. Розрізняють такі види диверсифікації: вертикальну (або концентричну), горизонтальну та конгломеративну диверсифікацію. Вертикальна диверсифікація – коли мережа розподіляє фінансові ресурси між аптеками для їх поточної роботи та розвитку. Горизонтальна диверсифікація передбачає направлення частини ресурсів на відкриття нових точок продажу. Конгломератна диверсифікація – направлення ресурсів на розвиток нових видів бізнесу, які жодним чином не пов'язані з роботою аптеки.

Під планом диверсифікації будемо розуміти всебічний аналіз фінансової діяльності мережі аптек та обґрунтування вибору певного виду диверсифікації. Використовуючи інформаційну аналітичну платформу Deductor розробимо план диверсифікації мережі аптек на основі даних продажів трьох аптек мережі у І-му кварталі 2016 року.

Необхідно скласти план диверсифікації таким чином, щоб мінімізувати ризик (стандартне відхилення) за умови, що його очікувана прибутковість буде не меншою від певного рівня; або максимізувати очікувану прибутковість за умови, що ризик не перевищує певного рівня.

Класичний портфельний підхід Марковиця засновано на тому, що прибутковість компанії – це випадкова величина. Загальна прибутковість мережі аптек – це зважена сума прибутковості кожної окремої аптеки.

Прибутковість мережі аптек:

$$m_p = \sum_{i=1}^n x_i * m_i, \text{ де}$$

$m_p$  – прибутковість мережі;

$x_i$  – частка  $i$ -ої аптеки в мережі;

$m_i$  – прибутковість аптеки;

$n$  – кількість аптек в мережі.



Під ризиком розуміється дисперсія прибутковості:

$$R_p = \sum x_i * x_j * v_{ij} \rightarrow \min, \text{ де}$$

$v_{ij}$  – коваріація прибутковостей  $i$ -ї та  $j$ -ї аптек.

Отже маємо задачу квадратичного програмування з квадратичною функцією цілі та лінійними обмеженнями:

$$\begin{cases} R_p = \sum x_i * x_j * v_{ij} \rightarrow \min \\ m_p = \sum_{i=1}^n x_i * m_i \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1 \end{cases}$$

Використовуючи програму Deductor Warehouse були консолідовані дані та аналітичні звіти аптечної мережі. Для цього було спроектоване сховище даних, імпортовані у ці сховища дані груп товарів, товарів, аптек та дані продажів у цих аптеках.

За допомогою способу відображення даних – куба (OLAP-звіт), крос-діаграми та табличного відображення розрахунків можна сформуванати звіт:

Товар. Код	Сума	Середнє	Станд.	Сума	Середнє	Станд.	Сума	Середнє	Станд.	Сума	Середнє	Станд.	Сума	Середнє	Станд.	Сума	Середнє	Станд.
86069							1,00	190,23	190,23	0,00	1,00	190,23	190,23	0,00	1,00	190,23	190,23	0,00
86071							3,00	2 626,04	875,35	57,18	3,00	2 626,04	875,35	57,18	3,00	2 626,04	875,35	57,18
86073							1,00	110,31	110,31	0,00	1,00	110,31	110,31	0,00	1,00	110,31	110,31	0,00
86074							1,00	146,12	146,12	0,00	1,00	146,12	146,12	0,00	1,00	146,12	146,12	0,00
86075							1,00	158,51	158,51	0,00	1,00	158,51	158,51	0,00	1,00	158,51	158,51	0,00
86088				2,00	524,26	262,14	0,00				2,00	524,26	262,14	0,00				
86122	434,39	307,14					1,00	465,73	465,73	0,00	5,00	1 334,52	444,84	217,94				
86137	340,32	0,00	2,00	97,67	97,67	0,00	13,00	4 424,20	368,68	96,24	17,00	5 202,51	346,83	111,50				
86145	1 990,55	724,27	8,00	11 183,69	1 397,97	528,38	11,00	15 783,68	1 578,37	453,73	41,00	58 817,74	1 782,36	631,11				
86165	145,73	305,71					2,00	1 530,26	765,13	0,00	252,00	5 764,48	186,95	333,86				
86167							3,00	63,24	31,62	14,93	3,00	63,24	31,62	14,93				
86170	175,95	0,00					1,00	175,95	175,95	0,00	1,00	175,95	175,95	0,00				
86174	768,23	13,49					3,00	2 304,69	768,23	13,49	3,00	2 304,69	768,23	13,49				
86175	144,69	0,00					2,00	286,62	286,62	0,00	3,00	431,31	215,65	100,36				
86181			1,00	707,27	707,27	0,00					1,00	707,27	707,27	0,00				
86201	374,44	0,00					2,00	481,95	240,97	0,00	4,00	1 230,83	307,71	77,06				
86202	374,44	0,00					1,00	240,97	240,97	0,00	3,00	989,86	329,95	77,06				
86203	240,97	0,00					1,00	240,97	240,97	0,00	1,00	240,97	240,97	0,00				
86205	240,97	0,00	2,00	497,25	248,63	0,00					1,00	240,97	240,97	0,00				
86206	240,97	0,00	2,00	497,25	248,63	0,00					3,00	739,23	246,08	4,42				
86207	240,97	0,00	2,00	497,25	248,63	0,00	1,00	510,76	510,76	0,00	4,00	1 248,99	312,25	132,39				
86213							1,00	190,84	190,84	0,00	1,00	190,84	190,84	0,00				
86214							1,00	115,77	115,77	0,00	1,00	115,77	115,77	0,00				
<b>Итого:</b>	<b>510,40</b>	<b>1 051,88</b>	<b>16 610,00</b>	<b>636 028,56</b>	<b>431,43</b>	<b>526,06</b>	<b>23 042,00</b>	<b>895 686,33</b>	<b>564,95</b>	<b>909,36</b>	<b>61 121,00</b>	<b>1 721 048,40</b>	<b>513,93</b>	<b>896,78</b>				

Модель була апробована на даних мережі аптек «Аптека Низьких Цін». Так, базуючись на отриманих розрахункових даних, можна зробити висновки, щодо плану диверсифікації. Можливо визначати продаж та рентабельність тієї чи іншої аптеки, діяльність аптеки у розрізі кількості та вартості лікарських засобів, продаж препаратів по днях тощо.

Якщо, наприклад, зростає частка однієї аптеки у продажах всієї мережі, одночасно можуть покращуватись певні параметри: може зрости очікувана прибутковість і спадати стандартне відхилення (ступінь ризику).

Таким чином, для розробки плану диверсифікації мережі аптек було спроектовано сховище даних на аналітичній платформі Deductor, що дозволяє аналізувати діяльність аптечної мережі у розрізі активності кожної аптеки.

В подальших дослідженнях передбачається розширити аналіз плану диверсифікації за допомогою двокритеріальних моделей, а також планується виконати побудову сховища даних на професійних аналітичних платформах.

## Література

1. Арчибальд Р.Д. Управление высокотехнологичными программами та проектами / Пер. з англ. Мамонтова О.В; під ред. Баженова А.Д., Арсеньєва О.А. ДМК Прес; АйТі, 2004. - 463с.
2. Паклін Н.Б. Орешков В.И. Бизнес-аналитика: від даних до знань, 2013.

## **МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ АДРЕСНО-АНАЛОГОВИХ ПОЖЕЖНИХ ДАТЧИКІВ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ВНУТРІШНІХ ТЕСТОВИХ ПЕРЕВІРОК**

Забезпечення пожежної безпеки в умовах сучасного високотехнологічного виробництва неможливе без застосування дистанційних автоматичних систем пожежної сигналізації та пожежогасіння. Розвиток мікроелектроніки та інформаційних інфраструктур дозволив проектувати та впроваджувати сучасні комп'ютеризовані системи пожежної сигналізації (СПС) з безпроводними інтелектуальними датчиками диму, виготовленими на базі мікроконтролерів. Датчики мають радіофікований інтерфейс для передачі по радіоканалу сигналів «тривога» на приймально-контрольний модуль (ПКМ). Це дозволяє розподілити їх по території всього об'єкта, що охороняється, та використати усі переваги застосування розподілених інформаційних систем.

За способом зв'язку з ПКМ на теперішній час розроблені три групи датчиків: автономні датчики повідомлень, провідні та безпроводні датчики. Тільки застосування датчиків третьої групи дає змогу побудувати розподілені СПС аналого-адресного типу з передачею сигналу по радіоканалу. Проте, як будь-яка розподілена інформаційна система, вищезазначена СПС під час функціонування має похибки. Так як ці похибки мають місце, та їх ймовірності відмінні від нульових, то загальна достовірність функціонування системи знижується. Під достовірністю будь-якої системи контролю розуміється ймовірність правильного розпізнавання стану об'єкта контролю.

Для підвищення достовірності СПС провідні фірми-виробники датчиків і ПКМ застосовують методи відновлювального кодування та алгоритми корекції похибок цифрових повідомлень. Ці методи достатньо ефективні при радіообміні інформацією в умовах радіоперешкод та радіозавад. Але дані методи не враховують надійності самих датчиків та можливість передавання датчиком хибного, протилежного до істинного повідомлення.

На технічний стан датчиків СПС впливають як зовнішні так і внутрішні дестабілізуючі чинники: функціонування системи в нестабільних кліматичних умовах, можливість несанкціонованого доступу зі сторони зловмисника, використання автономних джерел живлення з обмеженим терміном експлуатації тощо. Ці чинники суттєво впливають на надійність елементів системи, що може привести до значних ризиків невірної функціонування всієї системи – самовільного спрацювання або пропущеного сигналу тривоги. Це приведе до матеріальних збитків та, можливо, до нещасних випадків.

Для зниження ризиків, підвищення достовірності функціонування СПС авторами пропонується застосування методики оперативного самодіагностування елементів системи. В результаті її застосування з'явиться змога оперативно відключати із системи несправні датчики або ігнорувати сигнали з таких датчиків. При цьому забезпечення постійного контролю задимленості об'єкта повинно виконуватись за рахунок інших датчиків, які є надмірними по відношенню до мінімально-необхідного набору датчиків. Підвищення надійності функціонування ПКМ пропонується за рахунок гарячого резервування і застосування мажоритування, тобто голосування за більшістю із  $n$  по  $m$ .

В доповіді розкривається суть основних положень запропонованої методики самодіагностування елементів системи: тестове діагностування на основі взаємного обміну інформації під час функціонування системи за призначенням; обмін результатами тестових перевірок для накопичення діагностичної інформації; ефективний алгоритм аналізу діагностичної інформації, що дає змогу обчислити достовірність контролю кожного елемента; можливість виконання діагностування із заданою достовірністю.

**ДОСТАТНЯ УМОВА ОТРИМАННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЕКСТРЕМУМУ  
НЕОПУКЛОЇ КВАДРАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ  
ДВОЇСТИМ ПІДХОДОМ**

В [1] запропоновано достатню умову точності двоїстої оцінки [2] для квадратичної оптимізаційної задачі загального вигляду

$$f^* = \inf_{x \in T \subseteq R^n} f_0(x), \quad (1)$$

де  $T = \{x: f_i(x) \leq 0, i \in I^{LQ}, f_i(x) = 0, i \in I^{EQ}; x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n\}$ ;  $f_i(x) = x^T A_i x + b_i^T x + c_i$ ,  $i \in \{0\} \cup I^{LQ} \cup I^{EQ}$  – квадратичні функції. Щоб сформулювати цю умову, необхідно ввести наступні позначення:

- $L(x, u) = x^T A(u)x + b^T(u)x + c(u)$  – функція Лагранжа задачі (1);
- $D$  ( $\bar{D}$ ) – множина двоїстих змінних  $u \in R^m$ , при яких матриця  $A(u)$  додатньо

(невід’ємно) визначена;

- $U^+ = \{u: u_i \geq 0, i \in I^{LE}\}$ ;
- $\psi^* = \sup_{u \in D \cap U^+} (\psi(u) = \inf_{x \in R^n} L(x, u)) \leq f^*$  – двоїста оцінка задачі (1) [2];
- $x^*$  и  $u^*$  – вектори, в яких досягаються значення  $f^*$  і  $\psi^*$  відповідно;
- для кожного  $u \in (\bar{D} \setminus D) \cap U^+$  визначено множину  $J(u) = \{j: \lambda_j(u) = 0, j \in \{1, \dots, n\}\}$

, де  $\lambda_j(u)$ ,  $j = \overline{1, n}$ , – власні числа матриці  $A(u)$  функції Лагранжа задачі (1),  $\xi_j(u)$  – відповідні їм власні вектори.

У цих позначеннях справедлива

**Теорема [1].** Якщо існує такий вектор  $p$  і таке додатнє число  $\tilde{\varepsilon} > 0$ , що для любого  $\varepsilon \in (0, \tilde{\varepsilon})$

$$\forall u \in (\bar{D} \setminus D) \cap U^+ \exists j \in J(u) \text{ таке, що } \xi_j^T(u)(b_0 + \sum_{i=1}^m u_i b_i + \varepsilon p) \neq 0, \quad (2)$$

то  $\psi^* = f^*$ . Причому, якщо умова (2) виконується при  $p = 0$ , то  $x^* = -A^{-1}(u^*)b(u^*)/2$ .

Приклади застосування даної умови для виявлення випадків, коли можна гарантувати знаходження значення і точки глобального екстремуму квадратичної задачі двоїстим підходом, можна знайти в [1], де розглянуто спеціальну задачу, яка зустрічається при синтезі управління, мінімізуючого область локалізації інваріантної множини сімейства нелінійних систем, та в [3], де розглянуто задачу побудови кулі мінімального об’єму з заданим центром, описаної навколо перетину однаково орієнтованих еліпсоїдів.

### Література

1. Berezovskyi O.A. On solving of a special optimization problem connected with determination of invariant sets of dynamical systems // Journal of Automation and Information Sciences. – 2015 – 47 (5). – P. 69–77.
2. Шор Н.З., Стеценко С.И. Квадратичные экстремальные задачи и недифференцируемая оптимизация. – К.: Наук. думка, 1989. – 208 с.
3. Березовский О.А., Шулинок И.Э. Использование двойственного подхода для решения одной геометрической задачи // Компьютерная математика. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, 2016. – № 2. (в печати)

## **ЗАСТОСУВАННЯ ОСТРІВНОЇ МОДЕЛІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ В ІМІТАЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАХ**

Останнім часом широке використання НРС-технологій (High Performance Computing) сприяло розвитку нових методологій імітаційного моделювання, зокрема методології Data Farming, яка в останні роки одержала статус одного з найбільш ефективних інструментаріїв в галузі імітаційного моделювання складних стохастичних систем [1].

В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України накопичено певний досвід дослідження складних стохастичних систем з використанням розробленої системи NEDISOPT\_D. Дана система інтегрує можливості методів імітаційного моделювання, оптимізації та технологій розподілених обчислень, в результаті чого забезпечується направлений пошук відповідних оптимальних рішень за допомогою розроблених паралельних версій класичної та острівної моделей генетичного алгоритму (ГА), що було реалізовано на кластерних архітектурах [2].

Оптимізаційно-імітаційні експерименти стосовно пошуку оптимальних рішень на кластерних архітектурах проводяться у форматі сесій моделювання. Для кожної сесії моделювання задається множина управляючих параметрів, які визначають режими використання і функціонування відповідних програмних компонент та завантаження виділених ресурсів кластера. До складу вказаної множини параметрів також включаються параметри, які регулюють вибір форматів та режими видачі одержаних в рамках конкретної сесії моделювання результатів пошуку оптимальних рішень [3].

Ітеративний процес у генетичних алгоритмах побудовано на зміні популяції хромосом шляхом застосування операторів схрещування і мутації. Схрещування забезпечує збереження генетичного матеріалу, накопиченого в популяції хромосом, розмір якої є обмеженим. Оператор мутації дозволяє вносити зміни в генетичний матеріал популяції, в результаті чого пошук нових рішень проводиться на усьому просторі допустимих значень. В основу острівної моделі генетичного алгоритму покладені багатопопуляційні моделі.

Основною задачею, що потребує значних зусиль, є пошук потрібного балансу між параметрами, які визначають вплив операторів схрещування і мутації на ефективність процесу пошуку оптимальних рішень (процес еволюції).

Такими параметрами є наступні: вірогідність застосування операторів, тип схрещування, тип мутації, кількість генів для мутації, тощо. Наприклад, якщо певна перевага буде на стороні схрещування, значна частина елітних хромосом в популяції може довго перебувати десь поряд з локальним екстремумом fitness-функції та далеко від глобального (одного або декількох) оптимуму. З іншого боку, якщо взагалі відмовитися від схрещування та дозволити одночасну мутацію всіх генів в хромосомі, ми отримаємо класичний метод Монте-Карло випадкового пошуку. Крім того, ефективність процесу пошуку також суттєво залежить від: розміру популяції та розміру хромосоми-рішення, складу початкової популяції, типу факторів та кількості їх допустимих значень, досліджуваної моделі та запропонованої fitness-функції.

Для використання різних еволюційних стратегій пошуку в рамках одного експерименту при наявності можливості паралельних обчислень можна створити по окремі популяції на кожному наявному процесорі і запровадити для кожної з них свій автономний процес еволюції з різними значеннями параметрів алгоритму. Таку багатопопуляційну модель генетичного алгоритму прийнято називати острівною моделлю. Для підтримки загальної генетичної різноманітності та сумісного використання переваг альтернативних стратегій пошуку, популяції можуть періодично обмінюватися хромосомами. Такий обмін окремими екземплярами називається міграцією та може управлятися декількома

параметрами. Ефективність такого типу паралельних еволюційних алгоритмів збільшується при застосуванні розподілених та кластерних архітектур.

За думкою дослідника еволюційних алгоритмів В.М. Курейчика [4], одною із перших систематичних робіт стосовно вивчення паралельних генетичних алгоритмів з багатьма популяціями вважається дисертаційна робота П.Б. Гроссо (P.B. Grosso, Університет Мічигану, США). Його метою було імітувати взаємодію паралельних субкомпонентів еволюціонуючої популяції. Проводились дослідження, в яких кожна підпопуляція обмінювалась хромосомами з усіма іншими при встановленні фіксованих коефіцієнтів міграції.

Зменшення часових витрат на взаємодію паралельних процесів, що базується на обміні повідомленнями, робить доцільним вибір такої оптимізаційної стратегії, яка мінімізує вказані витрати. Острівна модель паралельного генетичного алгоритму є типовим прикладом такого роду оптимізаційної стратегії. Основна ідея тут полягає в розділенні великих за об'ємом множин хромосом-рішень на однакові за розміром підпопуляції. Процес еволюції кожної підпопуляції реалізується на окремому ядрі кластера (острові) за допомогою одного із можливих сценаріїв послідовного (непаралельного) генетичного алгоритму. Через деяку кількість поколінь підпопуляцій відбувається обмін домінантними хромосомами рішеннями, що в цілому підвищує ефективність оптимізаційних стратегій на основі паралельного генетичного алгоритму.

В доповіді представлено розроблений варіант острівної моделі генетичного алгоритму із використанням декількох популяцій рішень, які "еволюціонують" незалежно одна від одної. Кожна популяція має свій власний набір хромосом і свої параметри роботи алгоритму, але після завершення чергового "етапу" еволюції всі популяції здійснюють між собою обмін певною кількістю своїх найкращих рішень.

Обмін може здійснюватись наступним чином: за схемою "усі з усіма", в якій кожна популяція відсилає свої кращі хромосоми всім іншим популяціям; між сусідніми процесами, тобто популяція з окремого процесору надсилає декілька "своїх" найкращих хромосом наступному за номером процесу, процес з найбільшим номером відсилає хромосоми процесу з найменшим номером; випадковим чином, тобто кожна популяція може відсилати свої хромосоми випадково обраній множині інших популяцій.

Використовуючи різні комбінації значень параметрів еволюційного алгоритму для різних популяцій, можливо створювати різні умови для напрямку та швидкості процесу еволюції в кожній окремій популяції.

На основі управляючої інформації до імітаційних експериментів, що реалізуються в форматах сесій моделювання, формуються версії острівного сценарію генетичного алгоритму у відповідності з рекомендаціями дослідника [3].

Одним із перспективних напрямків розвитку виконаних досліджень є розширення класу моделей оптимізаційних стратегій в процесах направлено пошуку оптимальних рішень з використанням кластерних архітектур.

### Література

1. SEED Center for Data Farming: <http://harvest.nps.edu/>
2. Бігдан В.Б., Криковлюк О.О., Пепеляєв В.А., Чорний Ю.М. Управління еволюційними алгоритмами оптимізації в імітаційних експериментах. Комп'ютерна математика, 2016. №6, С.
3. Галаган Т.Н., Пепеляєв В.А., Сахнюк М.А. Особенности реализации многослойного сценария распределенного поиска оптимальных решений. Проблемы программирования, – 2008. – № 2-3. – С. 636 – 640.
4. Курейчик В.М. Кныш Д.С. Параллельный генетический алгоритм. Модели и проблемы построения // материалы Международной научно-практической конференции "Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте", vol. 1, 2009, С. 41 — 52.

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ В ІМІТАЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАХ**

У доповіді розглядаються стратегії підвищення ефективності процесів дослідження та проектування складних стохастичних систем на основі використання високопродуктивних платформ обчислювальної техніки, технологій оптимізаційно-імітаційної інтеграції. Дана тематика є особливо актуальною в умовах затребуваності засобів підтримки прийняття рішень складних систем, які вимагають великих обсягів моделювання (бізнес-процеси, комерційна діяльність, фінансова сфера, маркетинг, економіка, логістика, транспортні системи, військові програми та ін.) і для яких час прийняття відповідальних проектних або управлінських рішень є критичним.

Наявність у сучасних системах імітаційного моделювання засобів пошуку оптимальних рішень серед великої кількості допустимих альтернатив є практично стандартом. При виборі засобів оптимізації слід враховувати, що імітаційна модель досліджуваної системи представляє собою "чорний ящик", на вхід якого подається вектор значень параметрів (вхідних факторів), а на виході можна спостерігати вектор значень вихідних параметрів (відгуків) моделі [1].

Для тестування і оцінювання роботи реалізованого класичного генетичного алгоритму були створені декілька тестових функцій з різною кількістю змінних і декількома локальними та глобальними мінімумами. У двох функціях були присутні також локальні і глобальні максимуми для тестування параметру "Тип екстремуму".

Характеристики тестових функцій були вибрані таким чином, щоб максимально точно імітувати поведінку моделі складної системи. Важливими характеристиками цих функцій є: стохастичний характер fitness-значення (до точно обчислюваної функції додавалася одна або кілька випадкових величин з нормальним або рівномірним розподілом, але з різними варіантами параметрів); наявність одного або декількох глобальних екстремумів і декількох локальних 'екстремумів'; 'екстремуми' розкидані по всій допустимій області випадковим чином; функції є визначеними на всій допустимій області, але, в залежності від типів своїх вхідних даних, можуть бути обчислені на кінцевій множині точок.

На прикладі однієї з таких функцій було проведено експериментальні дослідження і проведено аналіз отриманих результатів. Дана функція має 24 змінних: з них 13 дискретних, 11 неперервних; 4 задано множинами константних значень, 10 задано інтервалами з кроком квантованих, 10 задано тільки інтервалами; 6 змінних значно не впливають на fitness-значення (внесок всіх цих змінних можна порівняти за порядком величини з випадковими "добавками"); 3 глобальних мінімуми (з урахуванням стохастичності), fitness  $\approx$  390-410; 6 локальних мінімумів, fitness  $\approx$  600 - 730; 4 локальних мінімуми, fitness  $\approx$  930 - 980.

Перелік керуючих параметрів реалізованого генетичного алгоритму, які тестувалися на ефективні "оптимальні" настройки, інтервали їх допустимих значень, кроки квантування і кількість можливих рівнів будуть наведені у доповіді.

Експерименти по знаходженню найбільш ефективних значень параметрів еволюційного алгоритму проводилися в два етапи. На першому етапі було отримано середнє fitness-значення для кожної з 100 хромосом-планів, при цьому не бралось до уваги, чи був знайдений в процесі оптимізації тестової функції хоча б один глобальний мінімум, а визначалася тільки оцінка найкращих знайдених хромосом в популяції по завершенню роботи алгоритму.

Далі всі розглянуті хромосоми були розсортовані відповідно до своїх fitness-значень (від меншого до більшого). Для подальшого аналізу було розглянуто 20 кращих і 20 гірших хромосом з метою пошуку можливих закономірностей в значеннях як окремих параметрів, так і їх поєднаннях один з одним.

В результаті аналізу зроблено наступні висновки відносно кожного з досліджуваних параметрів: розмір популяції рішень суттєво не впливає на ефективність і більше залежить від кількості глобальних екстремумів і розміру хромосоми. Деяку перевагу мають популяції середнього розміру (60-100 особин для функцій від 24 змінних), що забезпечує більш швидку зміну поколінь. Кращі результати для елітної частини популяції рішень показали значення в інтервалі  $[0,45; 0,60]$ . Тип схрещування для досліджуваних функцій виявився несуттєвим. Найкращі результати для імовірності схрещування були отримані для значень в інтервалі  $[0,50; 0,80]$ . Для кращого збереження накопиченого в популяції генофонду доцільніше ставити невисоку імовірність мутації в інтервалі  $[0,10; 0,40]$  за умови застосування схрещування, тому що при відсутності операції схрещування при породженні нової хромосоми мутація застосовувалася з ймовірністю 1. Максимальна кількість генів, які мутують одночасно, залежить від кількості генів-факторів (розміру хромосоми) і кількості рівнів факторів, але не рекомендується встановлювати більш ніж 10-20% від розміру хромосоми.

Для одночасної мутації рекомендується надавати значення параметру, яке не дорівнює 1 (значення 1 означає мутацію максимально допустимої кількості генів). Мутація повинна мати точковий характер. Якщо здійснювати одночасну мутацію декількох генів при кожному застосуванні оператора мутації з однаковою ймовірністю для значень від 1 до максимально допустимої кількості ( $<20\%$  розміру хромосоми), це дозволить збалансувати консервативну і агресивну стратегію мутації.

Тип мутації істотно не впливає на ефективність пошуку, особливо при великій кількості розглянутих альтернатив, коли кожен рівень кожного чинника кілька разів потрапляв у досліджувані хромосоми. Невелику перевагу для досліджених функцій показала стратегія мутації пропорційно кількості генів, а не загальної кількості їх рівнів.

На другому етапі досліджень з урахуванням результатів першого етапу для кожного параметра були запропоновані уточнені допустимі значення, які будуть наведені у доповіді.

Кількість всіх можливих альтернативних комбінацій для нових значень склало 98784. На цьому етапі були сформовані нові 70 хромосом-планів, далі експеримент було виконано повторно аналогічно першому етапу.

Результати роботи алгоритму на другому етапі виявилися значно кращими, ніж на першому. Середні fitness-значення для нових векторів параметрів зменшились, і частіше знаходились глобальні мінімуми.

При аналізі результатів другого етапу для допустимих значень керуючих параметрів алгоритму були зроблені такі уточнення:

Для розміру популяції рішень було підтверджено оптимальний розмір в 60-90 особин при 24 змінних. Кращі результати для імовірності мутації після схрещування досягалися на інтервалі значень  $[0,05; 0,30]$ . Для максимальної кількості генів, що мутують одночасно при 24 змінних, допустимі значення від 1 до 4 (17%).

Розглянутий алгоритм було застосовано/реалізовано для різної кількості ядер кластера. При середньому часі проведення безпосередньо самого імітаційного моделювання 77 с час виконання задачі на 10 ядрах складав приблизно 96420 с для 10000 досліджених варіантів рішень.

Проведені експерименти, спрямовані на підвищення ефективності пошуку оптимальних рішень за допомогою еволюційного генетичного алгоритму за рахунок зміни значень керуючих параметрів, показали наявність суттєвої залежності якості роботи алгоритму від того, які значення приймають його параметри. Аналіз наведених результатів дозволив визначити ті діапазони значень для кожного з досліджуваних параметрів, при яких досягається максимальна ефективність алгоритму.

### Література

1. Бігдан В.Б., Криковлюк О.О., Пепеляєв В.А., Чорний Ю.М. Управління еволюційними алгоритмами оптимізації в імітаційних експериментах. Комп'ютерна математика, 2016. №6. - С.102-113.

**Білощицький А.О.<sup>1</sup>, Кучанський О.Ю.<sup>2</sup>, Безмогоричний Д.М.<sup>3</sup>,  
Кузьомко А.С.<sup>4</sup>, Пида С.В.<sup>5</sup>**

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка<sup>1</sup>  
Київський національний університет будівництва і архітектури<sup>2,3,4,5</sup>  
*bao1978@gmail.com, kuczanski@gmail.com*

## **КОНЦЕПЦІЯ РОЗБУДОВИ GameHub - ІНФРАСТРУКТУРИ В УКРАЇНСЬКИХ УНІВЕРСИТЕТАХ**

В Україні наразі відсутні спеціальності та спеціалізації, які спрямовані на підготовку розробників ігрових додатків, спеціалістів з роботи зі звуком, графікою, сценаристів тощо. В більшості університетів немає необхідного програмного та апаратного забезпечення і лабораторій для підготовки спеціалістів такого рівня, немає розроблених навчальних планів та робочих програм дисциплін, які пов'язані з розвитком компетенцій та навичок для роботи в ігрових компаніях. Потреби ІТ ринку в ЄС та Україні змушують підприємництво та університети до кооперації з ціллю покращення ситуації на ігровому ринку України на взаємовигідних засадах. Міжнародний проект Erasmus+KA2 «GameHub – співпраця університетів та підприємств в ігровій індустрії в Україні» спрямований на створення засобів, методів та організацію навчання студентів, АТО ветеранів, безробітних інженерів компетенціям та навичкам створення комп'ютерних ігор [1]. Серед усього іншого проект спрямований на створення в українських вузах (партнерах проекту) GameHub інфраструктури, що дозволить залучити зацікавлених осіб до навчання, вдосконалення навичок та компетенцій, які необхідні для працевлаштування в ігрових ІТ компаніях.

Як свідчать результати досліджень, ігрова галузь в Україні має значний потенціал. Найбільш важливими тенденціями, які наразі спостерігаються такі [2]:

- широке застосування принципів гейміфікації, тобто використання ігрових методів при вирішенні неігрових завдань (для навчання, підтримки корпоративної культури, оцінки якості виконання робіт, проведення співбесід та оцінювання мотивації тощо);

- розвиток ігор жанру інді, які, як правило, створюються незалежними розробниками. Бурхливий розвиток такого типу ігор пов'язаний з доступною і ефективною їх монетизацією за допомогою платформ Steam, AppStore, Google Play;

- поява ефекту зростання прибутків розробників попри зменшення вартості ігор;

- уніфікація рушіїв для розробки комп'ютерних ігор та створення дієвих механізмів для їх монетизації;

- створення навчальних ігор, в яких за допомогою графічних та звукових ефектів, а також сценарію гри, досягається засвоєння теоретичних аспектів та практичних навичок школярів та студентів з певних дисциплін [3].

Отже, розвиток ігрової галузі в Україні не є локальним зацікавленням ігрових компаній та незалежних розробників, переваги від зростання індустрії розробки ігор можуть успішно використовувати менеджери різних ланок, маркетологи, викладачі, тренери тощо.

GameHub концептуально представляє собою сукупність трьох основних складових [4]:

1. Педагогічна складова, яка включає методологію навчання студентів, АТО ветеранів та безробітних створенню ігрових додатків відповідно до навчальних модулів.

2. Технологічна складова, яка включає створення та обслуговування роботи ігрової лабораторії GameLab, що складається з найсучаснішого ігрового програмного та апаратного забезпечення і призначена для проведення навчань з ігрового проектування, роботи зі звуком та графікою, створення ігрових додатків та їх тестування.

3. Інформаційна складова, що полягає в забезпеченні інформаційних зв'язків між такими основними ланками учасників GameHub:

- викладачами та тренерами з одного боку та тих, хто навчається з іншого;



- керівництва університетів з одного боку та представниками ігрової індустрії, роботодавцями, центрами зайнятості з іншого;
  - науковцями з одного боку та науковою спільнотою з іншого.
- Інформаційні взаємозв'язки між учасниками GameHub вказані на рис. 1.

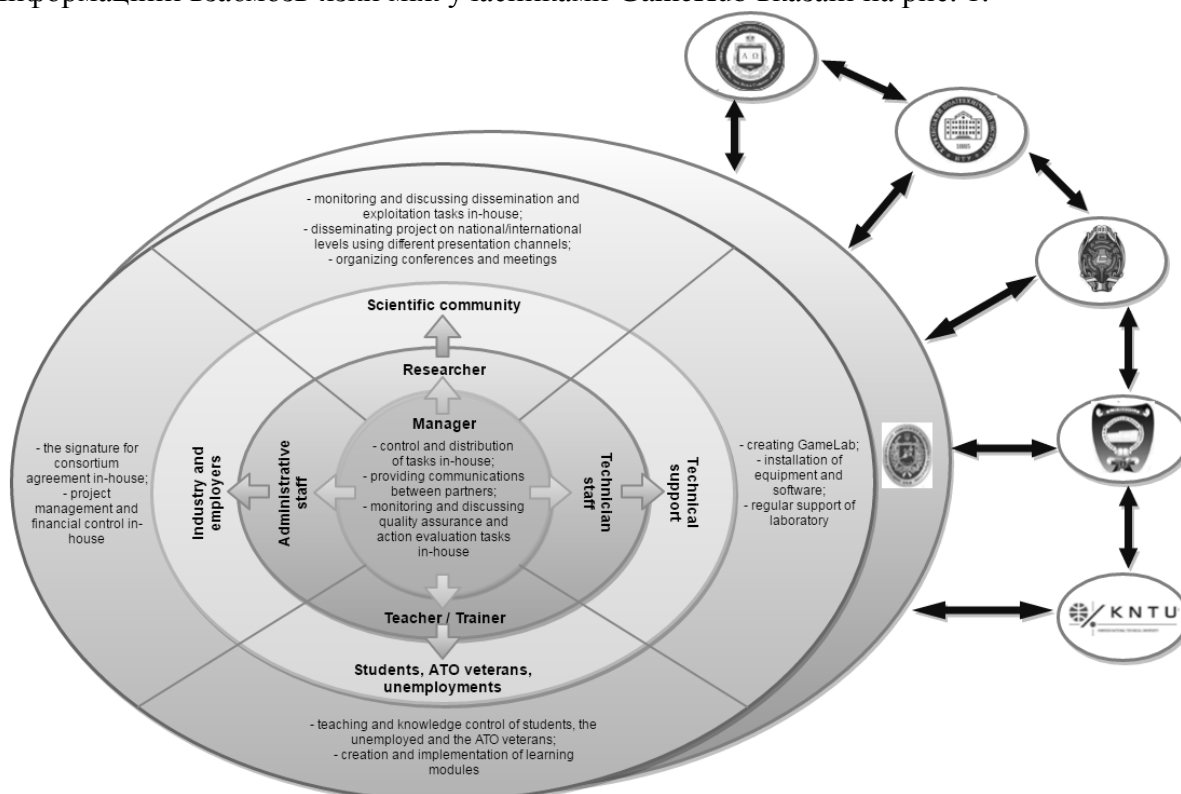


Рис. 1. Інформаційні взаємозв'язки між учасниками процесів в GameHub

Створення концептуальних положень інфраструктури GameHub є частиною завдань, які реалізує Київський національний університет будівництва і архітектури як член міжнародного консорціуму по даному проекту. Розглянуті положення є внеском в реалізацію спільної мети в даному проекті: зміцнення потенціалу вищої освіти в ігровій індустрії в Україні, забезпечення працевлаштування, а також ефективності та стійкості українських університетів при підготовці спеціалістів з розробки ігрових додатків серед студентів, безробітних, АТО ветеранів.

### Література

1. GameHub – University-Enterprises Cooperation in Game Industry in Ukraine. GameHub information. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://gamehub-cbhe.eu/>
2. Gdowska K. Międzynarodowy projekt na rzecz kształcenia kadr dla sektora gier na rynku Ukrainy. [Text] / K. Gdowska, B. Gawel // EduAkcja. Magazyn edukacji elektronicznej. – 2016. – 1(11). – P. 85 – 93.
3. Dziabenko O. Remote Experiments and Online Games: How to Merge them? [Text] / O. Dziabenko O., J. García-Zubia, D. Lopez-de-Ipina. // International Journal of Engineering Pedagogy. – 2011. – 1. – P. 1 – 6.
4. Білощицький А.О. Формування концепцій побудови інфраструктури GameHub в українських університетах / А.О. Білощицький, О.Ю. Кучанський, Д.М. Безмогоричний, С.В. Пида, А.С. Кузьомко // Управління розвитком складних систем. – 2016. - № 26. – С. 163 –170.

## ЕВОЛЮЦІЙНА ANARX-МОДЕЛЬ НА ОСНОВІ НЕО-ФАЗЗИ ВУЗЛІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ НЕЛІНІЙНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

Для вирішення задачі прогнозування часових рядів (послідовностей даних) існує велика кількість методів – від найпростіших регресійних, кореляційних, спектральних тощо, до інтелектуальних, що використовують достатньо складні математичні методи. Якщо ряди, що аналізуються, є нестационарними та нелінійними, то найкраще використовувати нелінійні прогнозуючі моделі, які ґрунтуються на математичному апараті обчислювального інтелекту [1], і, насамперед, нейро-фаззі системи. Варто особливо відзначити NARX-моделі. У випадку структурної нестационарності часових рядів порядки таких систем апіорі невідомі. У таких ситуаціях доцільно використовувати еволюційні системи, що можуть налаштовувати свої параметри і архітектуру в online режимі.

Еволюційна ANARX-модель (Additive NARX) [2] має вигляд

$$\hat{y}(k) = f_1(y(k-1), x(k-1)) + \dots + f_n(y(k-n), x(k-n)) = \sum_{l=1}^n f_l(y(k-l), x(k-l)), \quad (1)$$

де  $\hat{y}(k)$  – оцінка послідовності в момент дискретного часу  $k=1,2,\dots$ ;  $f(\bullet)$  – деяке нелінійне перетворення, що реалізується вузлом,  $x(k)$  – екзогенний фактор, що визначає поведінку  $y(k)$ ;  $n = \max\{n_y, n_x\}$ ;  $n_y$ ,  $n_x$  – порядки моделі. На рис. 1 наведена архітектура ANARX-моделі, що утворена двома лініями елементів чистого запізнення  $z^{-1}$  ( $z^{-1}y(k) = y(k-1)$ ) і  $n$  вузлами  $N^{[l]}$ . Вузли навчаються незалежно один від одного, а додавання або виключення вузла ніяким чином не впливає на роботу інших нейронів.

В якості вузла ANARX-системи пропонується використовувати нео-фаззі-нейрон [3], архітектура якого наведена на рис.2. Його складові елементи – нелінійні синапси  $NS_y$ ,  $NS_x$ , в яких реалізуються правила нечіткого висновування Такагі–Сугено нульового порядку. На виході нео-фаззі-вузла формується сигнал

$$\hat{y}^l(k) = \phi_y^l(k) + \phi_x^l(k) = \sum_{i=1}^h w_{iy}^l \mu_{iy}(y(k-l)) + \sum_{i=1}^h w_{ix}^l \mu_{ix}(x(k-l)) = w^T \phi^l(k), \quad (2)$$

де  $y(k-l)$ ,  $x(k-l)$  – вхідні сигнали,  $l=1,2,\dots,n$ ;  $h$  – кількість функцій належності у синапсі,  $\mu_{iy}$ ,  $\mu_{ix}$  – значення функції належності,  $w_{iy}^l$ ,  $w_{ix}^l$  – синаптичні ваги, що налаштовуються;  $\phi^l(k) = (\mu_{1y}(y(k-l)), \dots, \mu_{hy}(y(k-l)), \mu_{1x}(x(k-l)), \dots, \mu_{hx}(x(k-l)))^T$ ;  $w^l = (w_{1y}^l, \dots, w_{hy}^l, w_{1x}^l, \dots, w_{hx}^l)^T$ . На виході ANARX-системи формується сигнал

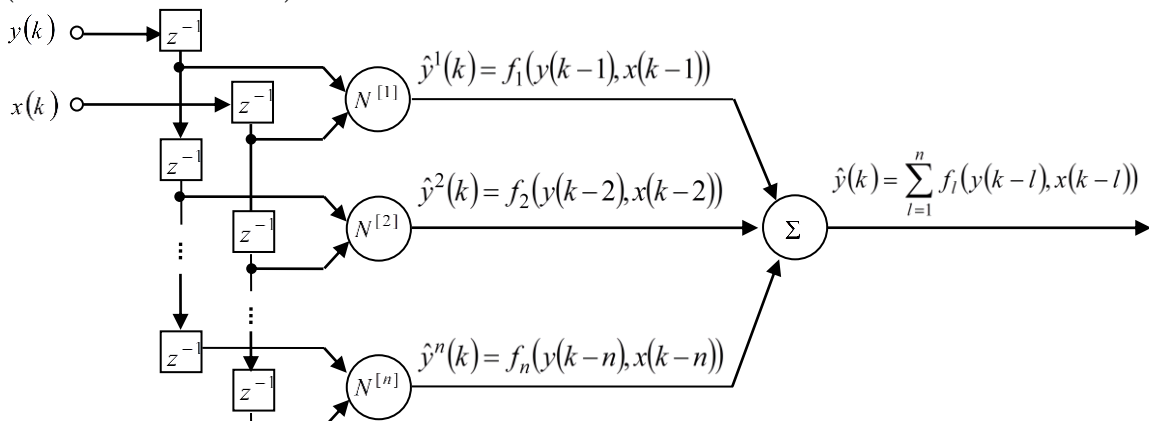


Рис. 1 – Архітектура ANARX-моделі

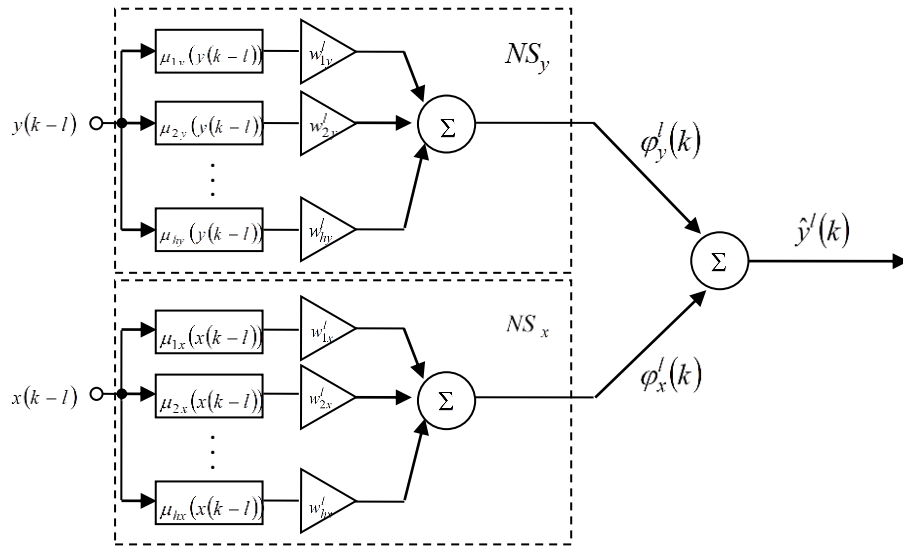


Рис. 2 – Нео-фаззі-вузол ANARX-моделі

$$\hat{y}(k) = \sum_{l=1}^n \left( \sum_{i=1}^h w_{iy}^l \mu_{iy}(y(k-l)) + \sum_{i=1}^h w_{ix}^l \mu_{ix}(x(k-l)) \right). \quad (3)$$

В якості функцій належності в нео-фаззі-нейроні можна використовувати В-сплайни. Для В-сплайна  $q$ -го порядку для синапса  $NS_y$  можна записати

$$\mu_{iy}^q(y(k-l)) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } c_{iy} \leq y(k-l) < c_{i+1,y}, \\ 0 \text{ в іншому випадку} \end{cases} \text{ для } q=1, \quad (4)$$

$$\mu_{iy}^q(y(k-l)) = \begin{cases} \frac{y(k-l) - c_{iy}}{c_{i+q,y} - c_{iy}} \mu_{iy}^{q-1}(y(k-l)) + \frac{c_{i+q,y} - y(k-l)}{c_{i+q,y} - c_{i+1,y}} \mu_{i+1,y}^{q-1}(y(k-l)), & \text{для } q > 1, \\ i = 1, \dots, h-q, \end{cases}$$

де  $c_{iy}$  – центр функції належності,  $\sigma_{iy}$  – параметр ширини. Аналогічно записується формула для синапса  $NS_x$ . Для навчання нео-фаззі-нейрона доцільно використовувати процедуру [4]

$$\begin{cases} w^l(k) = w^l(k-1) + r_l^{-1} (y(k) - w^T(k-1) \phi^l(k)) \phi^l(k), \\ r_l(k) = \alpha r_l(k-1) + \phi^T(k) \phi^l(k), 0 \leq \alpha \leq 1. \end{cases} \quad (5)$$

що при  $\alpha=1$  співпадає з оптимальним алгоритмом Качмажа–Уїдроу–Гоффа

$$w^l(k) = w^l(k-1) + \frac{y(k) - w^T(k-1) \phi^l(k)}{\phi^T(k) \phi^l(k)} \phi^l(k). \quad (6)$$

### Література

1. Kruse R., Borgelt C., Klawonn F., Moewes C., Steinbrecher M., Held P. Computational Intelligence. – Berlin: Springer, 2013. – 488 p.
2. Belikov J., Vassiljeva K., Petlenkov E., Nömm S. A novel Taylor series based approach for control computation in NN-ANARX structure based control of nonlinear systems // Proc. 27th Chinese Control Conference. – Kunming, China, 2008. – P.474-478.
3. Yamakawa T., Uchino E., Miki T., Kusanagi H. A neo fuzzy neuron and its applications to system identification and prediction of the system behaviour // Proc. 2nd Int. Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks “IIZUKA-92” – Iizuka, Japan, 1992. – P.477-483.
4. Bodyanskiy Ye., Kokshenev I., Kolodyazhniy V. An adaptive learning algorithm for a neo-fuzzy neuron // Proc. 3-rd Int. Conf. of European Union Soc. for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT'03), Zittau, Germany, 2003. – P.375-379.

## РОБАСТНЫЙ АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ

Нечеткие методы кластеризации успешно применяются во многих областях науки и техники, таких как распознавание образов, моделирование систем, средства связи, обработка изображений, интеллектуальный анализ данных и т.д. Наиболее известным подходом к нечеткой кластеризации является метод нечетких  $c$ -средних (fuzzy  $c$ -means, FCM), предложенный Dunn [1] и Bezdeck [2] и обобщенный другими авторами. Хороший обзор соответствующих работ можно найти в [3] и [4]. Почти все аналитические процедуры кластеризации являются производными от этого подхода.

Алгоритмы, основанные на этом подходе, относятся к классу процедур кластеризации с целевой функцией и эффективны в тех случаях, когда кластеры являются перекрывающимися, но только при условии, что кластеры компактны, то есть не имеют аномальных выбросов.

В данной работе мы предлагаем робастный алгоритм на основе целевой функции, который позволяет решать задачу кластеризации при наличии высокого уровня шума в данных и в то же время без априорных предположений ни о статистическом распределении данных, ни о типе выбросов.

Целью предлагаемого алгоритма является использование его для обнаружения аномалий в сигналах различной природы, таких как биологические сигналы или сигналы состояния сложных технических систем, учитывая наличие аномальных выбросов в данных.

Вероятностные алгоритмы нечеткой кластеризации образуют подкласс процедур кластеризации на основе целевой функции и предназначены для решения задачи кластеризации на основе оптимизации определенного заранее заданного критерия кластеризации [2], [5].

Эти алгоритмы можно рассматривать как стратегию для минимизации следующей целевой функции предварительно нормализованных векторов признаков (все векторы признаков принадлежат единичному гиперкубу  $[0,1]^n$ )

$$J(w_j(k), c_j) = \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m w_j^\beta(k) D(x_k, c_j) \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^m w_j(k) = 1, \quad k = 1, 2, \dots, N \text{ и } 0 < \sum_{k=1}^N w_j(k) \leq N, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где  $w_j \in [0,1]$  – степень принадлежности вектора  $x(k)$   $j$ -му кластеру,  $c_j$  – прототип (центроид)  $j$ -го кластера,  $\beta$  – фаззификатор, неотрицательный параметр (он не является объектом процесса оптимизации и должен быть выбран заранее. Типичный выбор  $\beta = 2$ );  $D(x(k), c_j)$  – расстоянием между вектором данных и прототипом кластера в принятой метрике.

Следует отметить, что если статистические распределения данных и аномалий в них известны заранее, то всегда можно найти соответствующую целевую функцию, которая обеспечит оптимальную обработку данных [6] посредством ослабления влияния выбросов, содержащихся в них.

Проблема усложняется, если природа статистических характеристик данных неизвестна или если данные имеют нестатистическую природу.

В этом случае в качестве основы для целевой функции мы предлагаем использовать перевернутую Гауссиану

$$f_i(x_i, c_i) = 1 - \exp\left(-\frac{(x_i(k) - c_i)^2}{\sigma_i^2}\right), \quad (3)$$

(здесь  $\sigma_i$  – параметр ширины) показанную на рис. 1.

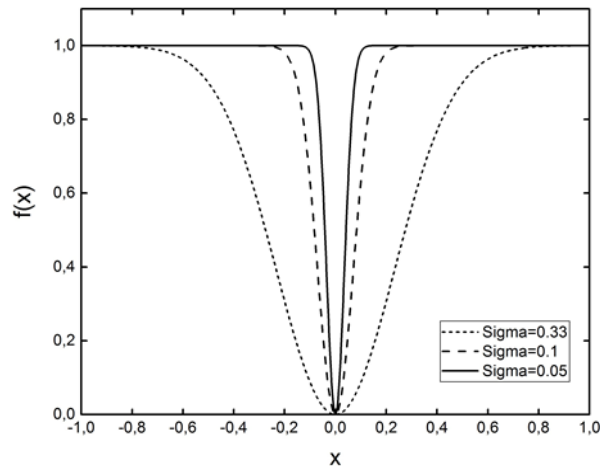


Рис. 1. Перевернутая Гауссиана с  $c_i = 0$

Функцию влияния [7] для (3) можно записать в виде

$$\varphi_i(x_i) = \frac{df_i(x_i)}{dx_i} = \frac{2}{\sigma_i^2} x_i \left( \exp - \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \right). \quad (4)$$

Легко увидеть, что влияние данных, находящихся вне диапазона  $\pm \frac{\sigma_i}{\sqrt{2}}$ , подавляется, и функция (3) просто «не видит» далеко расположенные наблюдения, потому что (4) сходится к нулю.

## Література

1. Dunn J.C. A fuzzy relative of the ISODATA process and its Use in detecting compact well-separated clusters // Journal of Cybernetics. 1973. № 3 (3). – P. 32–57.
2. Bezdek J.C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithm / J.C. Bezdek, New York: Plenum Press, 1981.
3. Bezdek J.C. [и др.]. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing / J.C. Bezdek, J. Keller, R. Krisnapuram, N.R. Pal, Boston, MA: Springer US, 1999.
4. Xu R., Wunsch II D. Survey of clustering algorithms // IEEE Transactions on Neural Networks. 2005. № 3 (16). – P. 645–678.
5. Höppner F. [и др.]. Fuzzy cluster analysis: methods for classification, data analysis and image recognition / F.Höppner, F.Klawonn, R.Kruse, T.Runkler, Wiley, 1999. – 300 p.
6. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации / Я.З.Цыпкин, М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 336 с.
7. Zhang Z. Parameter estimation techniques: a tutorial with application to conic fitting // Image and Vision Computing. 1997. № 1 (15). – P. 59–76.

## ОБ ОДНОЙ МЕТРИКЕ В ПРОСТРАНСТВЕ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ С РАЗНОТИПНЫМИ ПРИЗНАКАМИ

Исследуется задача оценки близости многомерных объектов с разнотипными признаками, обладающая некоторыми особенностями, которые не позволяют непосредственно применять классические методы и алгоритмы кластеризации, классификации или ассоциации:

- 1) большие объемы данных (до нескольких десятков, а иногда и сотен миллионов записей); причем количество этих данных с каждым днем увеличивается;
- 2) большое количество признаков, характеризующих объекты (до сотни признаков);
- 3) различная природа признаков (как правило, нечисловая);
- 4) возможность наличия пропусков (отсутствие значений там, где они должны находиться) в массивах данных в силу ряда субъективных и объективных причин.

Введем следующие обозначения:

- $X = \{x_{ij}\}$ , - матрица “объект-свойство”, в которой  $x_{ij}$  – значение  $j$ -го свойства (признака)  $i$ -го объекта,  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ;
- шкалы измерений: категориальная (номинальная, бинарная) – cat, ранговая(порядковая) – rank, числовая(интервальная, относительная) – num;
- $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})^T \in R^n$ ;  $x_i \cap x_l \neq \emptyset$ ;
- $n_i$  – число пропусков в объекте  $x_i$ ;
- $n_l$  – число пропусков в объекте  $x_l$ ;
- none – отсутствующие данные в ячейке;
- $n_{il}$  – число общих пропусков в объектах  $x_i$  и  $x_l$ .

С учетом введенных обозначений, используя модель “частичного расстояния”, расстояние  $d_{il}$  между объектами  $x_i$  и  $x_l$  в общем виде можно записать следующим образом:

$$d_{ij} = \frac{1}{n - n_i - n_l + n_{il}} \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{lj}| \delta_{il}; \quad (1) \quad \delta_{il} = \begin{cases} 1, (x_{ij} \neq \text{none}) \&(x_{lj} \neq \text{none}), \\ 0, (x_{ij} = \text{none}) \&(x_{lj} = \text{none}). \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим интерпретацию полученной метрики для наиболее распространенных шкал измерений.

### 1. Количественная метрика.

Способы вычисления расстояний (метрики) в числовых шкалах известны [1-3]. Для использования их в выражении (1) целесообразно выполнить следующую нормализацию:

$$\begin{aligned} x_{j\min} \leq x_{ij} \leq x_{j\max}, \\ x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}}, \quad (3) \\ 0 \leq x_{ij} \leq 1, \end{aligned}$$

Наиболее часто используемыми количественными метриками являются евклидова и манхэттенская. С учетом введенных выше обозначений и выражений (1)-(3) выражение для евклидовой метрики в нашей задаче может быть записано следующим образом:

$$\begin{aligned} d_{il}^{\text{numE}} = \frac{1}{n - n_i - n_l + n_{il}} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{lj})^2 \delta_{il}; \\ 0 \leq d_{il}^{\text{numE}} \leq 1. \end{aligned}$$

Выражение для манхэттенской метрики можно записать так:

$$d_{il}^{numBC} = \frac{1}{n - n_i - n_l + n_{il}} \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{lj}| \delta_{il}; \quad 0 \leq d_{il}^{numBC} \leq 1.$$

## 2. Категориальная метрика.

С учетом особенностей исследуемой задачи и введенных выше обозначений и переменных запишем модифицированную категориальную метрику в следующем виде:

$$d_{il}^{cat} = \frac{1}{n - n_i - n_l + n_{il}} \sum_{j=1}^n \delta(x_{ij}, x_{lj}) \delta_{il},$$

$$0 \leq d_{il}^{cat} \leq 1.$$

## 3. Ранговая метрика.

Пусть  $j$ -тый признак имеет  $R_j$  рангов:  $r_j = 1, 2, \dots, R_j$ ; т.е. вместо  $x_{ij}$  обрабатывается  $r_j$ ,  $\forall j=1, 2, \dots, N$ . Таким образом, в соответствующей клетке матрицы данных стоит лингвистическая переменная  $x_{ij}^{r_j}$ , т.е.  $x_i = \{x_{ij}^{r_j}\}$ .

Введя накопительные частоты на основе распределения частот признаков и выполнив несложные математические преобразования, ранговая метрика в исследуемой задаче может быть записана в виде:

$$d_{il}^{rank} = \frac{1}{n - n_i - n_l + n_{il}} \sum_{j=1}^n \left| x_{ij}^{r_j} - x_{lj}^{r_j} \right| \delta_{il},$$

$$0 \leq d_{il}^{rank} \leq 1.$$

В реальных задачах часто возникает необходимость определять степень близости между объектами не по всем признакам, а по некоторому подмножеству значимых в данной ситуации признаков, а иногда даже по одному какому-то критическому для конкретных случаев признаку. Кроме того, даже в случае учета всех признаков их значимость для определения степени близости между объектами, как правило, неравнозначна. В связи с этим введем в выражение для метрики коэффициенты значимости признаков  $k_j$ , которые определяются экспертами-аналитиками в ходе решения конкретных задач или задаются оператором в интерактивном режиме.

Введя булевы переменные для определения вида используемой метрики  $b_j$ , итоговое выражение для метрики запишем следующим образом:

$$d_{il} = \frac{1}{n - n_i - n_l + n_{il}} \left( \sum_{j=1}^n b_j^{num} k_j' |x_{ij} - x_{lj}| \delta_{il} + \sum_{j=1}^n b_j^{cat} k_j' \delta(x_{ij}, x_{lj}) \delta_{il} + \sum_{j=1}^n b_j^{rank} k_j' \left| x_{ij}^{r_j} - x_{lj}^{r_j} \right| \delta_{il} \right).$$

Предложенный способ определения близости многомерных объектов с разнотипными признаками и пропусками в данных позволяет применять классические алгоритмы кластеризации, классификации и ассоциации для решения практических задач, в частности, для выявления неявных и скрытых связей между объектами криминальных учетов в базах данных информационных систем органов внутренних дел при поиске преступлений по аналогии, определении круга подозреваемых по определенному преступлению или по группе преступлений и т.п.

## Литература

1. Han L., Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques. – Amsterdam: Morgan Kaufman Publ., 2006. – 754p.
2. Aggarwal C.C. Data Mining. – Cham: Springer Ltd. Publ. Switzerland, 2015. – 734p.
3. Westphal C. Data Mining for Intelligence, Fraud and Criminal Detection. Advanced Analytic & Information Sharing Technologies / C. Westphal. – Boca Raton : CRC Press, 2009. – 426p.

**Бодянський Є.В.<sup>1</sup>, Винокурова О.А.<sup>2</sup>, Кобилін І.О.<sup>3</sup>, Мулеса П.П.<sup>4</sup>**  
 Харківський національний університет радіоелектроніки<sup>1,2,3</sup>,  
 ДВНЗ «Ужгородський національний університет»<sup>4</sup>,  
 yevgeniy.bodyanskiy@nure.ua, ilya.kobylin@nure.ua, vynokurova@gmail.com,  
 ppmulesa@gmail.com

## **АДАПТИВНА НЕЧІТКА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БАГАТОВИМІРНИХ КОРОТКИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ З НЕРІВНОМІРНИМ ТАКТОМ КВАНТУВАННЯ**

Задача кластеризації і сегментації часових рядів достатньо добре вивчена в рамках інтелектуального аналізу даних – Data Mining [1-3] і на сьогодні існує множина різноманітних алгоритмів її рішення, що засновані на них або інших апіорних припущеннях.

Однак в багатьох практичних застосуваннях виникають ситуації, коли відомі і популярні підходи до рішення цієї задачі є непрацездатними. Однією з таких задач є нечітка кластеризація коротких часових рядів з нерівномірно розподіленими в часі спостереженнями [4]. Достатньо близькою до неї є задача кластеризації неповних рядів, в яких частина спостережень втрачена або взагалі відсутня [5].

Особливістю цих задач є те, що об'єктом кластеризації є не окремі спостереження, а вибірки в цілому, де самі спостереження фіксуються через нерівновіддалені моменти часу, а кластери, що формуються, пересікаються так, що кожна вибірка, що оброблюється, може належати відразу декільком класам [6, 7]. При цьому передбачається також, що вся інформація, що оброблюється, задана в формі фіксованого масиву даних, обсяг якого не змінюється.

Ситуація ще більше ускладнюється, якщо вихідна інформація задана у формі багатовимірних часових рядів – тобто двовимірних полів спостережень. Прикладом таких двовимірних полів можуть бути електромагнітні, термічні і оптичні поля, області забруднення повітря і води, біомедичні масиви спостережень і, насамперед всього, сигнали цифрового відео, які формують дискретні двовимірні поля.

У зв'язку з цим є доцільним розповсюдження підходу нечіткої кластеризації коротких часових рядів з нерівновіддаленими спостереженнями [4] на ситуацію, коли дані надходять на обробку в on-line режимі в формі багатовимірного потоку інформації в рамках концепції Data Stream Mining [8].

Нехай вихідна інформація задана в формі набору  $(q \times n)$  матриць  $X(k) = \{x_{ip}(k)\}$  (тут  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  - номер окремого спостереження  $q$  - вимірної багатовимірної послідовності у  $k$ -й реалізації,  $k = 1, 2, \dots, N$ ,  $p = 1, 2, \dots, q$  -  $p$ -та координата багатовимірного процесу), що містить  $N$  ( $N > n$ )  $q$ -вимірних реалізацій з нерівномірним тактом квантування, при цьому  $p$ -та компонента  $X(k)$  може бути представлена у вигляді  $(1 \times n)$ -вектору  $x_p(k) = (x_{1p}(k), x_{2p}(k), \dots, x_{np}(k))$ . Нерівномірність квантування означає, що  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1} \neq \Delta t_{i+1} = t_{i+1} - t_i$ , тобто  $\Delta t_i \neq \text{const}$ .

Використовуючи методику нечіткого ймовірнісного кластерного аналізу, введемо до розгляду цільову функцію

$$E(u_j(k), \tilde{C}_j) = \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m u_j^\beta(k) D_{ps}^2(\tilde{X}(k), \tilde{C}_j) = \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m u_j^\beta(k) \text{Tr}(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_j)(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_j)^T \text{ за}$$

наявності обмежень

$$\sum_{j=1}^m u_j(k) = 1 \text{ або } \sum_{j=1}^m u_j(k) - 1 = 0, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad 0 < \sum_{j=1}^m u_j(k) < N, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

На основі введеної цільової функції можна ввести матричну модифікацію методу нечітких С-середніх



$$\begin{cases} u_j(k) = \frac{(Tr(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_j)(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_j)^T)^{\frac{1}{1-\beta}}}{\sum_{g=1}^m (Tr(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_g)(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_g)^T)^{\frac{1}{1-\beta}}}, \\ \lambda(k) = - \left( \sum_{g=1}^m \left( \beta Tr(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_g)(\tilde{X}(k) - \tilde{C}_g)^T \right)^{\frac{1}{1-\beta}} \right)^{1-\beta}, \\ \tilde{C}_j = \frac{\sum_{k=1}^N u_j^\beta(k) \tilde{X}(k)}{\sum_{k=1}^N u_j^\beta(k)}, \end{cases}$$

$$\text{де } \tilde{X}(k) = \begin{pmatrix} \Delta x_{21}(k) & \Delta x_{31}(k) & \cdots & \Delta x_{nl}(k) & x_{nl}(k) \\ \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \Delta x_{ip}(k) & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \Delta x_{2q}(k) & \Delta x_{3q}(k) & \cdots & \Delta x_{nq}(k) & x_{nq}(k) \end{pmatrix},$$

$$\Delta x_{i+1,p}(k) = \frac{x_{i+1,p}(k) - x_{ip}(k)}{\Delta t_{i+1}} = tg \alpha_{i+1,p}(k), \quad \Delta x_{i+1,p}(l) = \frac{x_{i+1,p}(l) - x_{ip}(l)}{\Delta t_{i+1}} = tg \alpha_{i+1,p}(l), \quad \tilde{C}_j -$$

матриця-центроїдів  $j = 1, 2, \dots, m$ .

Таким чином, запропонована процедура нечіткої кластеризації достатньо проста в чисельній реалізації і може бути використана для широкого класу задач, що пов'язані з Big Data та Data Stream Mining.

## Література

1. Liao T.W. Clustering of time series data. – A survey // Pattern Recognition. – 2005. – 38. - №11 – P.1857-1874.
2. Aggarwal C.C., Reddy C.K. Data Clustering. Algorithms and applications. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 620p.
3. Aggarwal C.C. Data Mining. – N.Y.: Springer, 2015. – 734p.
4. Möller-Levet C.S., Klawonn F., Cho K.-H., Wolkenhauer O. Fuzzy clustering of short time series and unevenly distributed sampling points // Lecture Notes in Computers Science. – Heidelberg: Springer, 2003. – vol. 2810. – P.330-340.
5. Cruz C.P., Vilira S.M., Vinga S. Fuzzy clustering for incomplete short time series data // Lecture Notes in Artificial intelligence. – 9273. – Heidelberg: Splinger, 2015. – P.353-359.
6. Höppner F., Klawonn F., Kruse R., Runkler T. Fuzzy Clustering Analysis: Methods of Classifications, Data Analysis, and image Recognition. – Chichester: John Wiley & Sons, 1999. – 289p.
7. Bezdek J.C., Keller J., Krisnapuram R., Pal N. R. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing. – N.Y.: Springer Science + Business Media, 2005. – 776p.
8. Bifet, A. Adaptive Stream Mining: Pattern Learning and Mining from Evolving Data Streams. IOS Press, 2010. - 224 p.

## АДАПТИВНЕ ГЛИБИННЕ НАВЧАННЯ БАГАТОВИМІРНОЇ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ

На цей час штучні нейронні мережі отримали широке розповсюдження для вирішення широкого кола задач обробки даних, включаючи і задачі Data Stream Mining, де інформація на обробку подається в on-line режимі у формі багатовимірних часових рядів. Зрозуміло, що далеко не всі нейронні мережі, а також їх гібриди, наприклад, нейро-фаззі-, вейвлет-нейро-фаззі-, тощо, здатні працювати в цьому режимі, але все ж таки існують гібридні системи обчислювального інтелекту, що здатні впоратися з цим завданням.

Останні роки увагу до себе привертають системи обробки інформації, що використовують глибоке навчання (Deep Learning) [1, 2] та демонструють високу якість отримуваних результатів, але при цьому потребують значних часових витрат. Тому є доцільним проведення досліджень у напрямку створення адаптивних систем з глибоким навчанням, здатних опрацьовувати дані у послідовному режимі (в ідеалі – реальному часі).

На рис. 1 наведена архітектура запропонованої адаптивної багатошарової системи обробки інформації, що є своєрідним гібридом традиційної багатошарової нейронної мережі та каскадно-кореляційної мережі [3] з апріорі невизначеною кількістю шарів (каскадів).

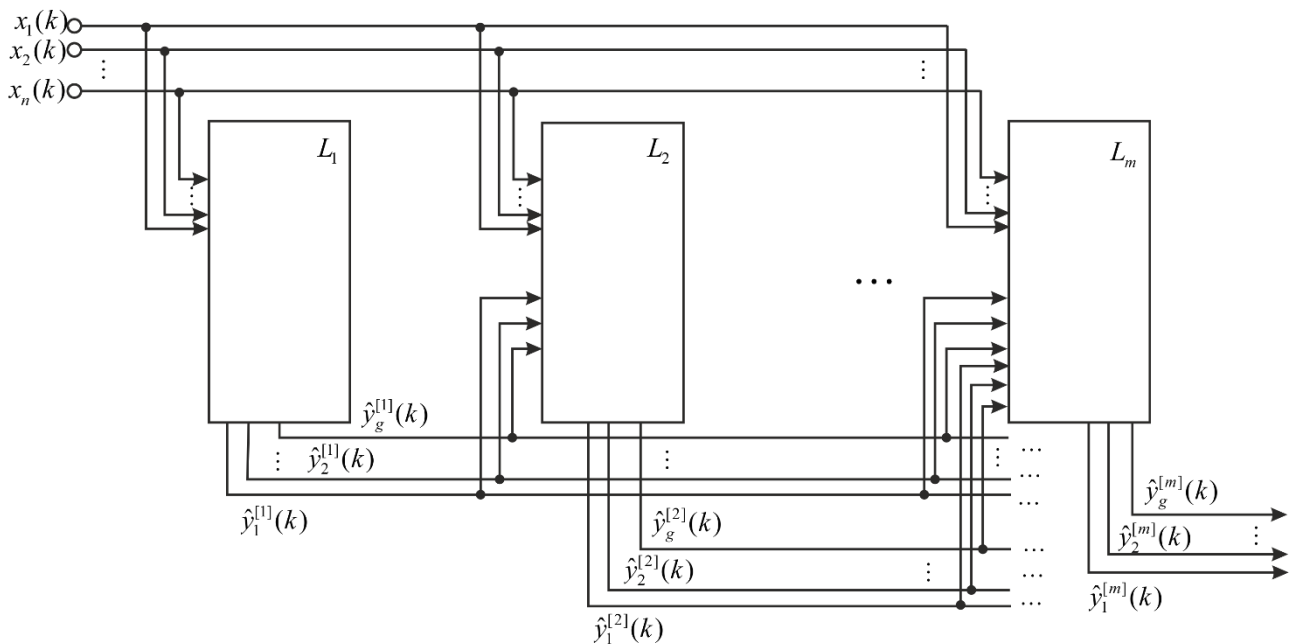


Рис. 1. Багатошарова багатовимірна гібридна нео-фаззі система

Кожен шар системи утворений багатовимірним нео-фаззі-нейроном [4], налаштування синаптичних ваг якого відбувається за допомогою адаптивного оптимального за швидкістю алгоритму навчання, що має додаткові згладжуючі властивості [5].

Система, що розглядається, реалізує нелінійне відображення  $R^n \rightarrow R^g$ , що забезпечується за допомогою послідовно з'єднаних шарів обробки інформації, кількість яких  $m$  визначається безпосередньо в процесі навчання.

На вхід першого прихованого шару надходить вектор  $x(k) = (x_1(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n$ , а на його виході з'являється багатовимірний сигнал  $\hat{y}^{[1]}(k) = (\hat{y}_1^{[1]}(k), \dots, \hat{y}_g^{[1]}(k))^T \in R^g$ ; на вхід

другого шару надходить вектор  $(x^T(k), \hat{y}^{[1]T}(k))^T \in R^{n+g}$ , реакція на який є  $\hat{y}^{[2]T}(k) \in R^g$ ; входами і виходами третього шару є  $(x^T(k), \hat{y}^{[1]T}(k), \hat{y}^{[2]T}(k))^T \in R^{n+2g}$ ,  $\hat{y}^{[3]T}(k) \in R^g$  і, нарешті, входами  $m$ -го шару є  $(x^T(k), \hat{y}^{[1]T}(k), \dots, \hat{y}^{[m-1]T}(k))^T \in R^{n+(m-1)g}$ , а виходами -  $\hat{y}^{[m]T}(k) \in R^g$ .

Кожен з шарів системи реалізує нелінійне перетворення

$$\hat{y}^{[m]}(k) = W^{[m]} \mu^{[m]}(x(k), \hat{y}^{[1]}(k), \dots, \hat{y}^{[m-1]}(k)),$$

де  $W^{[m]} - (g \times (n + (m-1)g)h)$  - матриця синаптичних ваг, що налаштовується у кожен момент поточного часу  $k$ ,  $\mu^{[m]}(x(k), \hat{y}^{[1]}(k), \dots, \hat{y}^{[m-1]}(k)) \in R^{(n+(m-1)g)h}$  - вектор функцій належності  $m$ -го багатовимірного нео-фаззі-нейрона,  $h$  - кількість функцій належності на кожному вході кожного шару.

Введена система є модифікацією каскадних нейро-фаззі систем [6, 7] на випадок on-line навчання та опрацювання даних, та узагальненням на багатовимірний вихід системи, запропонованої у [8].

Проведено ряд імітаційних експериментів використовуючи як тестові, так і реальні потоки даних. Результати підтверджують доцільність використання підходу, що розвивається, в задачах Data Stream Mining та Dynamic Data Mining.

### Література

1. Schmidhuber, J. Deep learning in neural networks: An overview // Neural Networks. – 2015. – vol. 61. – P. 85-117.
2. Lewis N.D. Deep Learning Made Easy with R: A Gentle Introduction for Data Science. – 2016. – 254 p.
3. Fahlman S.E., Lebiere C. The cascade-correlation learning architecture // Advances Neural Information Processing Systems, San Mateo, CA: Morgan Kaufman, 1990. - P. 524-532.
4. Landim R.P., Rodrigues B., Silva S.R., Caminhas W.M. A neo-fuzzy-neuron with real time training applied to flux observer for an induction motor // Proceedings. Vth Brazilian Symposium on Neural Networks, 1998. – P. 67-72.
5. Bodyanskiy Ye., Tyshchenko O., Wojcik W. Multivariate non-stationary time series predictor based on an adaptive neuro-fuzzy approach // Elektronika. – 2013. - № 8. – P. 10-13.
6. Бодянський Є.В., Тищенко О.К., Копаліані Д.С. Багатовимірна каскадна нейро-фаззі система з оптимізацією пулу нейронів // Вісник НТУ «ХПІ». Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – 18(1061). – С. 17-26.
7. Bodyanskiy Ye., Tyshchenko O., Kopaliani D. A Multidimensional Cascade Neuro-Fuzzy System with Neuron Pool Optimization in Each Cascade // International Journal of Information Technology and Computer Science. – 2014. - Vol. 6, No. 8. - P.11-17.
8. Bodyanskiy Ye., Tyshchenko O. Fast deep learning for cascade neuro-fuzzy system // Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Workshop and Networking Event “Advances in Data Science.” – Holny Mejera, Poland, 2016. – P. 18-19.

## РОЗВ'ЯЗАННЯ КВАДРАТИЧНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ

Квадратична задача про призначення (quadratic assignment problem – QAP) має численні практичні застосування. Це задачі, пов'язані з розміщенням електронних чипів на платі, балансуванням турбін, аналізом зображень та ін. QAP є NP-важкою задачею дискретної оптимізації, та формулюється наступним чином [1].

Припустимо, що  $A = [a_{ij}]$  і  $B = [b_{ij}]$  – квадратні матриці порядку  $n$  з невід'ємними елементами  $a_{ij}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ . Нехай  $\pi : \{1, \dots, n\} \rightarrow \{1, \dots, n\}$  – деяка перестановка натуральних чисел, а  $\Pi_n$  – множина всіх перестановок  $\{1, \dots, n\}$ . Математична модель цієї задачі формулюється наступним чином:

$$\min_{\pi \in \Pi} f(\pi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} b_{\pi_i \pi_j}.$$

Тобто, необхідно знайти перестановку  $\pi^*$ ,  $\pi^* \in \Pi$ , що  $f(\pi^*) \leq f(\pi)$ ,  $\forall \pi \in \Pi$ .

Квадратичні задачі про призначення піддаються точному розв'язанню тільки для малих  $n$ . У зв'язку з цим актуальними є розробка, дослідження нових та вдосконалення існуючих наближених методів і відповідних програмних засобів для цих задач.

Серед задач QAP особливо важкими вважаються тестові задачі taiXXa. Проаналізовано їх особливості та розроблено алгоритм для розв'язання подібних задач. Він показав результати, які доводять, що цей алгоритм може конкурувати з найкращими алгоритмами для задач QAP [1–3].

## Література

1. Benlic, U., Hao, J.K. Breakout local search for the quadratic assignment problem // Applied Mathematics and Computation. – 2013. – 219, No.9. – P. 4800–4815.
2. Benlic, U., Hao, J.K. Memetic search for the quadratic assignment problem // Expert Systems with Applications. – 2015. – 42, No.1. – P.584–595.
3. Misevicius A., Lenkevicius A., Rubliauskas D. Iterated tabu search: An improvement to standard tabu search // Information Technology and Control. – 2006. – 35, No.3, P.187–197.

## **ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ З ЛЕКСИКОГРАФІЧНИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ, ЯКІ МІСТЯТЬ АЛЬТЕРНАТИВНІ СКЛАДОВІ**

Задачі оптимізації з лексикографічними обмеженнями виникають у випадку, коли рішення приймається на основі висновків декількох експертів, яких проранжовано за важливістю і кожен з яких визначає свої обмеження на множину допустимих розв’язків ([1-4]). Розглянемо задачу оптимізації

$$\max(c(x) : x \in X \subset \mathbf{Z}^n), \quad (1)$$

де:

$$c(x) : \mathbf{Z}^n \rightarrow \mathbf{R},$$

$X$  – множина допустимих розв’язків задається за допомогою лексикографічних обмежень з альтернативними обмеженнями

$$g^k(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq^L b^k, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad (2)$$

$$g^k(x) = (g_1^k(x), g_2^k(x), \dots, g_{m_k}^k(x)),$$

$$g_i^k(x) : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}, \quad i = 1, 2, \dots, m_k, \quad k = 1, 2, \dots, q.$$

Будемо вважати, що кожне з лексикографічних обмежень (2) виконується, якщо виконується принаймні одне з обмежень якнайвищого рангу.

В [1] досліджено підхід до розв’язання задач оптимізації з лексикографічними обмеженнями шляхом їх заміни системою скалярних обмежень. У [4] досліджується підхід до розв’язання задач з лексикографічними обмеженнями зведенням їх до задач зі скалярними обмеженнями з використанням додатної згортки обмежень. Пропонується застосувати додатну згортку обмежень для розв’язання задач оптимізації (1) з лексикографічними обмеженнями, які містять альтернативні складові, використовуючи аналогічний підхід, що було використано для розв’язання задач лексикографічної оптимізації з альтернативними критеріями [5].

### **Література**

1. Червак Ю.Ю. Оптимізація. Непокращуваний вибір /Ю.Ю. Червак – Ужгород: Ужгород. нац. ун-т, 2002. – 312 с.
2. Freuder, E., Heffernan, R., Wallace, R., Wilson, N.: Lexicographically-ordered constraint satisfaction problems. *Constraints* 15(1), 1–28 (2010).
3. Borning, A., Freeman-Benson, B., Wilson, M.: Constraint hierarchies. *LISP and Symbolic Computation* 5, 223–270 (1992).
4. Argelich, J., Lynce, I., Marques-Silva, J.: On solving Boolean multilevel optimization problems. In: *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2009)*, pp. 393–398 (2009).
5. Гренджа В.І., Брила А.Ю. Задача лексикографічної оптимізації з альтернативними критеріями/В.І. Гренджа, А.Ю. Брила //Теорія прийняття рішень: V-та міжнародна школа-семінар, Ужгород, 27 вересня – 1 жовтня 2010 р.: праці школи семінару. – Ужгород, 2010. – С. 69.

## МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ ЕНТРОПІЙНО-СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ

Основи теорії структуризації даних є фундаментальною теоретичною базою формалізації структуризованих даних (СД), яка охоплює широкий спектр теоретичних засад формалізації, опрацювання та розпізнавання поліфункціональних (ПФД) та проблемно-орієнтованих даних (ПОД).

Актуальною концептуальною проблемою при цьому є створення теоретичних основ декомпозиції системних характеристик ПФД та ПОД на основі інформаційного та ентропійного підходів. Актуальними науковими задачами також є побудова принципів та алгоритмів розрахунку рівня структуризації даних на основі критеріїв та коефіцієнтів структурної складності бінарних, напівтонових та кольорових масивів даних та зображень.

Вирішення окресленої проблеми дозволяє з єдиних позицій охопити та формалізувати характеристики СД, що відкриває шлях до успішного вирішення прикладних задач порівняння, розпізнавання, перетворення, ефективного кодування та використання ПФД та ПОД у сучасних складних комп'ютерних системах (КС) прийняття рішень.

При цьому важливим є розробка методу розпізнавання сигналів на основі критерію ентропійно-структурної складності. Систематизація аналітики відомих оцінок ентропії з певною повнотою викладена в роботі [1,3], де класифікуються наступні оцінки міри ентропії, де перспективною оцінкою, яка може бути ефективно використана в задачах розпізнавання образів та прийняття рішень є кореляційна міра ентропії, запропонована проф.Я.Николайчуком, яка визначається згідно виразу:

$$I_x = n \cdot \hat{E} \left[ \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}(j)) \right],$$

де  $x_i^\circ = x_i - M_x$  – центровані значення масиву даних;  $D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$  – дисперсія значень

$x_i$ ;  $M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  – математичне сподівання;  $R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^\circ \cdot x_{i+j}^\circ$  – автокореляційна функція (АКФ);  $m$  – число точок функції  $R_{xx}(j)$  на інтервалі кореляції;  $j = 0, 1, \dots, m$

Визначення ентропії за оцінкою Я.Николайчука, яка враховує марківські, кореляційні та спектральні характеристики даних, є позитивним компонентом у синтезі та формалізації розширеного критерію структуризації даних на основі ентропії та структурних характеристик 1D, 2D та 3D інформаційних масивів [2].

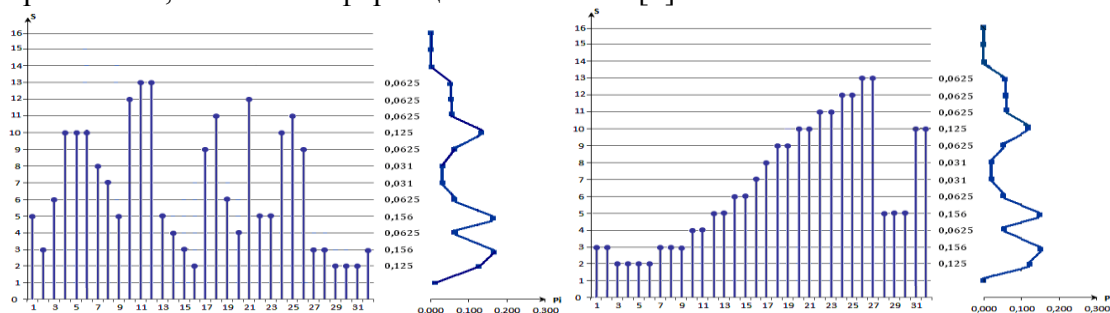


Рис.1. Оцінка ентропії по К.Шеннону інформаційних джерел з однаковими ймовірностями

На рис.1 показані приклади СД у вигляді решітчастих моделей послідовностей цифрових відліків з однаковими ймовірнісними характеристиками, але різними реалізаціями хешування, звідки видно, що визначення ентропії за оцінкою Р. Хартлі та К. Шеннона не реагує на зміну структурних характеристик даної моделі ПОД.

Розрахунок ентропії згідно аналітичного виразу Я.Николайчука (табл.1) виконується згідно наступного алгоритму:

- визначається математичне сподівання масиву даних  $M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ;
- визначається масив центрованих значень  $x_i^\circ = x_i - M_x$ ;
- обчислюється дисперсія  $D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$  та квадрат дисперсії  $D_x^2$ ;
- обчислюється центрована автокореляційна функція  $R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^\circ \cdot x_{i+j}^\circ$ ,

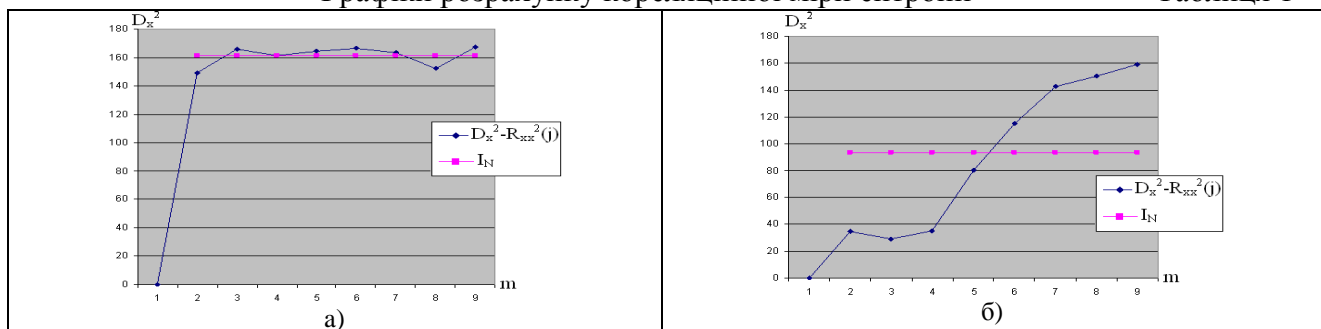
$j = \overline{0,1,\dots,m}$ ,  $m$  - число точок АКФ;

- обчислюється масив даних квадратів АКФ  $R_{xx}^2(j)$ ;
- обчислюється різниця  $I_j = D_x^2 - R_{xx}^2(j)$ ,  $j = \overline{0,1,\dots,m}$ ;
- визначається математичне сподівання  $I_x = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m I_j$ ; обчислюється ентропія згідно

виразу  $I_N = n \cdot \hat{E} \left[ \frac{1}{2} \log_2 I_x \right]$

Графіки розрахунку кореляційної міри ентропії

Таблиця 1

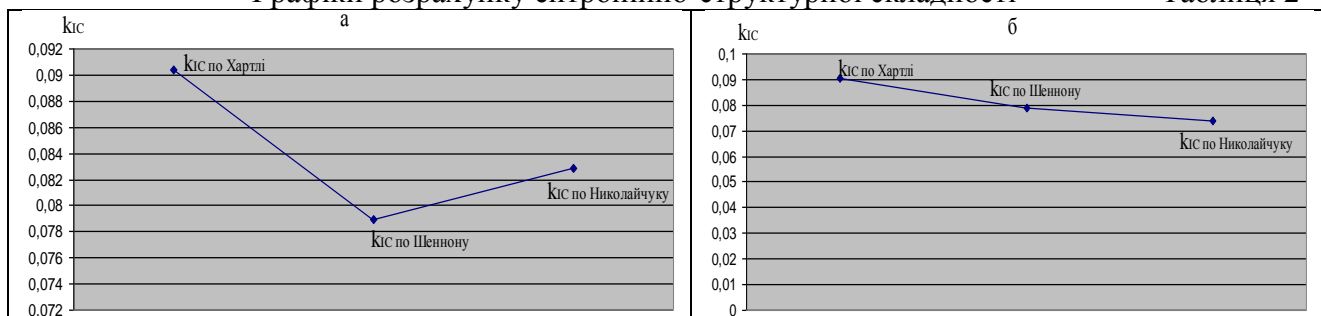


В загальному випадку оцінку ентропійно-структурної складності можна виразити на основі різних аналітичних функцій: адитивної ( $k_{IC} = I + k_c$ ), мультиплікативної ( $k_{IC} = I \cdot k_c$ ), відносної ( $k_{IC} = I/k_c$ ), експоненціальної ( $k_{IC} = I \cdot e^{k_c}$  або  $k_{IC} = k_c \cdot e^I$ ), логарифмічної ( $k_{IC} = I \cdot \log k_c$  або  $k_{IC} = k_c \cdot \log I$ ) та ін.

В даній роботі розраховано відносну оцінку ентропійно-структурної складності, що відображено в табл.2.

Графіки розрахунку ентропійно-структурної складності

Таблиця 2



1. Николайчук Я., Сегін А., Сабадаш І. Теоретичні основи формування ентропійних моделей на базі кореляційних функцій. Інформаційні технології і системи.- Науково-технічний журнал.- Львів.- 2002.- Т.5.- №1-2.- С.13-21.
2. Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Основи теорії, функції та задачі структуризації даних в інформаційних системах. Праці міжнародної наукової конференції «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XL)» □ Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2013. - С.56-57.

## МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СТРУКТУРИЗОВАНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНІВ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ В ІНТЕРАКТИВНИХ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

Розробка та впровадження комп'ютеризованих систем моніторингу та прийняття рішень у процесі виявлення передаварійних станів широкого класу технологічних об'єктів різних галузей промисловості, технічної та екологічної безпеки їх експлуатації є особливо актуальною задачею у нафтогазовій галузі. Такими об'єктами є установки буріння, видобутку, підготовки, транспорту, переробки та зберігання нафтопродуктів і газу. У структурі інтерактивних комп'ютеризованих систем контролю та управління промислових об'єктів на основі моніторингу та прийняття рішень за їх станом та технологічними режимами роботи виконують оператори абонентських станцій. Важливим елементом вказаної інформаційної взаємодії є інтерактивний режим реалізації моніторингу та прийняття рішень про стан об'єкта на основі ефективної структуризації даних та моделей об'єктів управління. Особливо актуальним є надійне розпізнавання квазістаціонарних, нештатних, передаварійних, аварійних та екологічно-небезпечних ситуацій на об'єктах. Особливе значення при цьому надається забезпеченню низької складності та високої швидкодії реакції оператора на зміни станів об'єктів. Перспективним методом реалізації таких характеристик комп'ютеризованої системи на рівні абонентської станції оператора є образно-кластерна структуризація даних та відображення відповідної моделі на екрані монітора.

Досить складною науковою задачею є розробка теоретичних засад, критеріїв та технології прийняття рішень у випадках, коли моніторинг станів технологічних об'єктів здійснюють кілька операторів. Прикладом такого об'єкту є архітектура цифрової інтерактивної розподіленої системи моніторингу процесів буріння (рис.1).

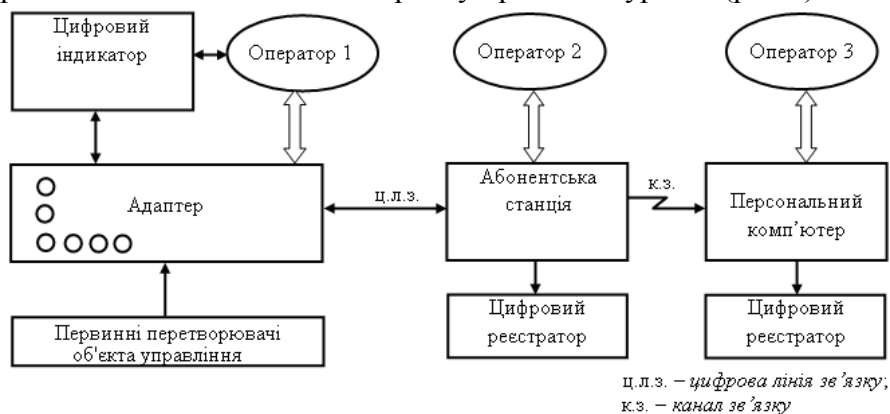


Рис.1. Архітектура цифрової інтерактивної розподіленої системи моніторингу процесів буріння.

Особливістю автоматизованої системи управління бурінням є трьохрівнева інтерактивна архітектура, на кожному рівні якої функції моніторингу та управління в реальному часі паралельно виконують 3 ієрархічно підпорядковані оператори: бурильник (оператор №1), буровий майстер (№2), диспетчер управління бурових робіт (№3).

Параметри ОУ, на основі яких ідентифікуються його статистичні, кореляційні та ентропійні стани визначаються згідно фрейму оператора та формується його структуризована образно-кластерна модель згідно виразу [1]:

$$X_{i0} = F(\{x_i\}, \{x_j\}, S_{i0}, M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x, R_{xx}, R_{xy}, S_w, L_i, \rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}, I_x),$$

де:  $\{x_i\}, \{x_j\}$  - масиви оцифрованих моніторингових даних параметрів ОУ;  $S_{i0}$  - відповідно семантичний, інформаційний та технологічний стани ОУ;  $M_x, M_j, M_v$  - відповідно вибіркове, коварне та вагове математичні сподівання;  $D_x, \delta_x$  - відповідно дисперсія та



середньоквадратичне відхилення;  $R_{xx}, R_{xy}$  - автокореляційна та взаємкореляційні функції;  $S_w$  - спектри параметрів ОУ у різних теоретико-числових базисах;  $L_i$  - логіко-статистичні інформаційні моделі (ЛСІМ),  $i \in \overline{1, 5}$ ;  $\rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}$  - відповідно матриці коефіцієнтів взаємкореляції, кластерної моделі ймовірнісних переходів та ентропійних станів;  $I_x$  - кореляційна міра ентропії стану ОУ.

Побудова образно-кластерної моделі ОУ, яка використовується для прийняття рішень про стан технологічного об'єкта здійснюється на основі нормованої кореляційної матриці  $\|\rho_{ij}\|$ , яка розраховується на основі нормованих коефіцієнтів взаємкореляції  $\rho_{ij}$  згідно виразу:

$$\rho_{ij} = \frac{R_{ij}(0)}{\sigma_i \sigma_j} \text{ та матриці } \|\rho_{ij}\|$$

На рис.2 наведено приклад реалізації структуризованої образно-кластерної моделі на моніторі оператора, яка відображає стан норми та відхилення від норми на основі глибокого статистичного та кореляційно-ентропійного аналізу.

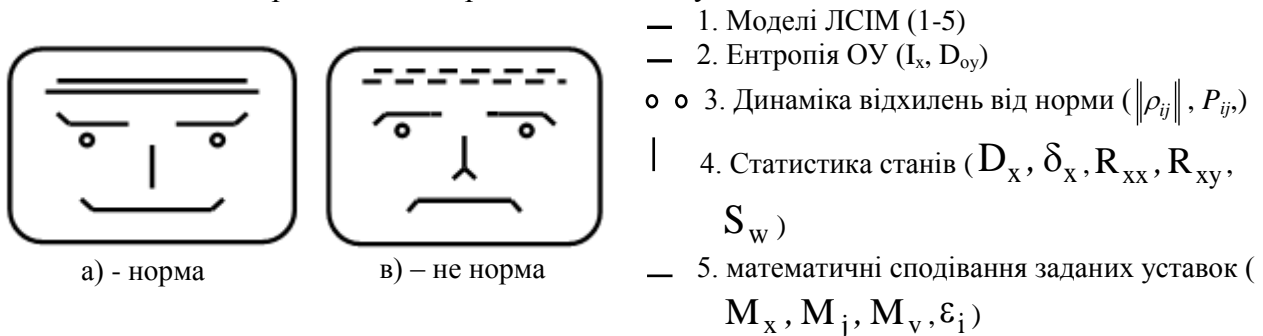


Рис.2. Структуризована образно-кластерна модель ОУ.

Для такого класу об'єктів в інтерактивному режимі ставляться підвищені вимоги до надійності і живучості комп'ютерної системи, шляхом самодіагностики, резервування, тестування (рис. 3).

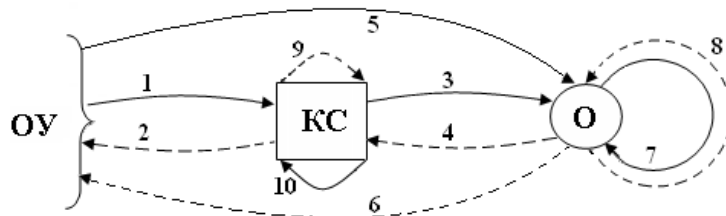


Рис.3. Самодіагностуючі інтерактивні комп'ютерні системи

Виходячи з аналізу нештатних ситуацій, доцільно визначити коефіцієнт рівня небезпечності:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^5 \nu_i \cdot L_i}{X_{io} [X(t), M_x, D_x, \sigma_x, R_{xx}, R_{xy}, M_{ij}, S(w), K_{ij}, \ddot{E}\ddot{N}^2\ddot{I}, I]},$$

де  $\nu_i$  - коефіцієнт небезпеки відхилення  $i$ -ї ЛСІМ,  $L_i$  -  $i$ -та ЛСІМ.

З оцінкою  $K_n$  активно взаємодіють оператори інформаційної системи, на основі чого приймають рішення згідно функцій управління об'єктом.

### Література

1. Возна Н.Я. Процюк Г.Я., Пітух І.Р., Николайчук Я.М. Структуризація, методи та моделі інтерактивної взаємодії оператор – інформаційна система моніторингу об'єктів нафтогазової галузі. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - Івано-Франківськ, 2015. - №2(55). – С.111-118.

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ШЛЯХІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ШВИДКОДІЮЧИХ СПЕЦПРОЦЕСОРІВ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ В РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СИСТЕМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Вступ. З розвитком обчислювальних засобів, що включають в себе складні математичні розрахунки мультибазисні спецпроцесори знайшли застосування у широкому спектрі пристроїв збору і обробки даних. Мультибазисність таких пристроїв обробки даних дозволяють з високою швидкістю та малими апаратними затратами використовувати їх в системах аналізу та прийняття рішень. В основу методів побудови універсальних та спеціалізованих процесорів покладені фундаментальні засади здійснення алгоритмів виконання обчислювальних арифметико-логічних та комунікаційних операцій у різних теоретико-числових базисах (ТЧБ). При цьому, широке застосування отримали наступні ТЧБ: унітарний, Хаара, Крейга, Радемахера, Крестенсона, Уолша, Галуа [1].

В залежності від архітектури існує класифікація процесорів даного класу (рисунк1). При цьому, слід відмітити, що процесори з зірково-магістральною архітектурою, як показано в роботах, є мультибазисними і мають структуру, показану на рис.2.



Рис. 1 - Класифікація процесорів цифрового опрацювання даних.

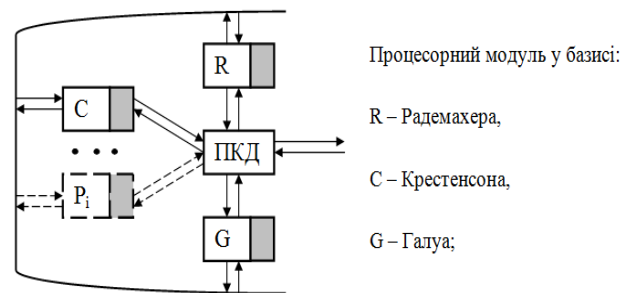


Рис. 2 - Структурна схема мультибазисного спец процесора.

Функціональною перевагою мультибазисних процесорів є можливість значного підвищення швидкодії опрацювання інформаційних потоків шляхом розпаралелення та перерозподілу виконання окремих арифметико-логічних операцій, які виконуються найшвидше в різних ТЧБ.

Використання системи залишкових класів і модульних обчислень дозволяє істотно збільшити швидкість арифметичних обчислень за рахунок паралельного виконання операцій над залишками. Система залишкових класів – непозиційна система числення, операції додавання і множення в якій здійснюються паралельно по N обчислювальним каналам.

Алгоритм даного класу пристроїв отримання залишків по модулю реалізується для ТЧБ унітарного, Хаара, Крейга та Радемахера згідно виразів:

$$b_i(U) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(U)) ,$$

де  $b_i$  – код залишку у відповідному ТЧБ;  $A(U)$  – унітарний код числа з якого отримується залишок по модулю  $P_i$ ;  $P_i = (2, 3, \dots, U-1)$  – ціле число;  $b_i(H) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(H))$  – Хаара;  $b_i(K) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(K))$  – Крейга;  $b_i(R) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(R))$  – Радемахера. У загальному випадку обчислення залишку та рангу числа A на основі модульного лічильника у теоретико-числових базисах (ТЧБ) (w) описується виразами:

$$A = a_i \cdot P_i + b_i; \quad b_i(w) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(w)); \quad a_i(U) = \left( \frac{A - b_i}{P_i} \right)(U),$$

де  $b_i(w)$  - паралельний код залишку числа A по модулю  $P_i$  у ТЧБ (w);  $a_i(U)$  – унітарний код рангу числа A по модулю  $P_i$  у ТЧБ (w). Алгоритм обчислення залишку у ТЧБ Галуа виконується згідно виразу [2]:

$$G_{i+1} = \text{res}(x_i \cdot G_i \oplus x_{i-1} \cdot G_{i-1} \oplus \dots \oplus x_{i-n} \cdot G_{i-n}) \text{mod } 2 ,$$

де  $x_i, x_{i-1}, x_{i-n}$  - незвідний поліном (ключ) поля Галуа  $G\left(\frac{n}{2}\right)$ .

При цьому, особливістю ТЧБ Галуа є те, що, на відміну від інших базисів, на паралельному виході лічильника Галуа формується паралельний бінарний код залишку, а на послідовному виході формується послідовний біт-орієнтовний код Галуа залишку.

В табл. 1 представленні формули обчислення відповідних характеристик синхронних лічильників, також для обчислення характеристик лічильника в базисі Крестенсона було встановлено умову, що кодування в діапазоні  $n$  ,будуть використовуватися 4 модуля однакової розрядності (розрядність модуля  $n/2$ ).

Таблиця 1. Формули обчислення параметрів для синхронних лічильників в різних ТЧБ.

ТЧБ	Формула обчислення апаратних затрат синхронних лічильників в різних ТЧБ	Формула обчислення часових затрат синхронних лічильників в різних ТЧБ
Унітарний	$A_{Uni} = A_{DR} \cdot n$	$T_{Uni} = T_{DR} \cdot n$
Хаара	$A_{Har} = A_{DR} \cdot n$	$T_{Har} = T_{DR} \cdot n$
Крейда	$A_{Kre} = A_D \cdot n$	$T_{Kre} = T_D \cdot n$
Галуа	$A_{Gal} = (A_{DS} + A_{вук.АБО}) \cdot n + (A_{вук.АБО} + 2 \cdot A_{ЛЕ})$	$T_{Gal} = T_{DS} \cdot n + T_{вук.АБО} + T_{ЛЕ}$
Радемахера	$A_{Rad} = A_{JKR} \cdot n + A_{ЛЕ} \cdot (n-1)$	$T_{Rad} = T_{JKR} \cdot n + T_{ЛЕ}$
Крестенсона	$A_{Krs} = 4 \cdot (A_{JKR} \cdot n + A_{ЛЕ} \cdot (n-1))$	$T_{Krs} = T_{JKR} \cdot n + T_{ЛЕ}$

Відповідно до таблиці 1 побудовані графіки представлені на рис.3 та рис.4.

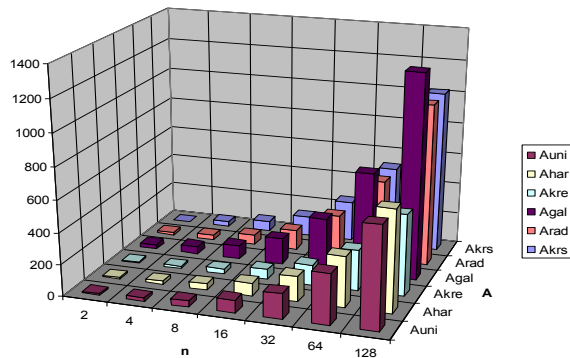


Рис. 3. Апаратні затрати синхронних модульних лічильників в різних ТЧБ

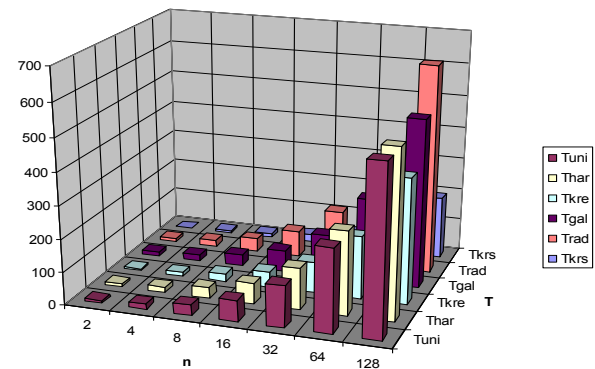


Рис. 4. Часові затрати синхронних модульних лічильників в різних ТЧБ

Досліджені апаратні та часові затрати модульних лічильників демонструють перевагу в часових затрат та деякий ріст апаратних для лічильника базису Крестенсона в порівнянні з лічильниками в інших ТЧБ і хоча він є не ефективними для реалізації міжбазисного перетворення Радемахера-Крестенсона, але його реалізація та аналогічних лічильників в інших ТЧБ дають наглядний приклад можливості застосування лічильників в якості компонента міжбазисного перетворювача для відповідних ТЧБ.

Висновки. Проведений аналіз класифікації процесорів цифрового опрацювання даних та переваг мультибазисних процесорів. Досліджено характеристики модульних лічильників у різних ТЧБ. Отримані результати досліджень доводять можливість використання модульних лічильників як компонента міжбазисного перетворення Радемахера-Крестенсона та демонструють можливість інтеграції СЗК в інші ТЧБ.

### Література

1. Computer technologies in information security: Monograph / [Petro Humenniy and others] ; edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk. – Ternopil: Kart-blansh, 2015. – P. 387.
2. Tsanko, O. Volynskyy, V. Puyul, I. Pituh, "Theory, Topology and Building Technology of Multibasis Specialized Processor" // Proceedings of the XI-th International conference TCSET-2012). – Lviv-Slavsk. – 2012. – p. 260.

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ В КИЇВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

В серії доповідей на Міжнародній школі-семінарі ТПР в 2010-2014рр. [1,2] обговорювались проблеми впровадження інформаційних технологій в навчальний процес на факультеті кібернетики (з 1 вересня 2016р. – факультет комп'ютерних наук та кібернетики) Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Зокрема презентувалась навчально-методична тестуюче-оцінююча програмна система (ПС) SMPR («Системи та методи прийняття рішень») підтримки навчальних курсів з теорії прийняття рішень (ТПР), що базувались на навчальних посібниках [3-5].

Проектування ПС SMPR здійснювалось на лабораторних заняттях студентами-інформатиками 3-го курсу факультету кібернетики на основі принципів технології командної розробки SVN на мові C# за допомогою платформи .NET в середовищі розробки MS Visual Studio [6]. Розробка програм здійснювалась за рахунок самостійної роботи студентів. Сумарно в 2005-2016рр. в розробці всіх версій ПС SMPR приймали участь понад 150 студентів факультетів кібернетики та новоствореного в 2014р. факультету інформаційних технологій.

Перші версії ПС SMPR являли собою набір окремих модулів, що реалізували деякі алгоритми розв'язання задач теорії прийняття рішень у відповідності з [1,2]. В подальших версіях (2008-2010рр.) була реалізована можливість взаємодії модулів шляхом формування уніфікованих вимог до їх програмної реалізації. ПС SMPR-08 за функціональними можливостями змістовно можна назвати навчально-методичною і демонстраційно-оцінюючою. Одночасно з демонстрацією розв'язку конкретної задачі ТПР користувач міг перевірити правильність розв'язання задачі, вказавши відповідь і отримавши оцінку «правильно-неправильно».

В SMPR-10 було реалізовано функція оцінювання знань студентів з окремих тем ТПР, розширено інтерфейс, зокрема у використанні мов опису – українською, російською, англійською та китайською (окремі модулі). Версію SMPR-12 слід вважати «промисловим» варіантом системи, в ній оцінювання знань студентів відбувається з усього курсу ТПР з використанням інтелектуальних інформаційних технологій [7], сумарна оцінка видається в чіткій і нечіткій формах (напр., «Ваші знання можна оцінити на слабеньку трійку, Вам необхідно підучити такі-такі розділи»). Програмні системи SMPR складаються з «ядра» і набору спеціалізованих модулів, які відповідають за розв'язання певного класу задач. Ядро створює середовище функціонування модулів з можливістю паралельного розв'язання задач і обміну даними між модулями. Оскільки воно не є спеціалізованим під конкретні алгоритми конкретного навчального курсу, його можнток використовувати для розробки навчально-методичних програмних систем для інших навчальних курсів, що мають структуру «класи задач – методи їх розв'язання».

ПС SMPR-12 як додаток до навчального посібника [3] вже використовується в ряді вишів України, зокрема Києва, Одеси, Ужгорода, Черкас, Чернігова та ін. [8-10], на факультеті кібернетики КНУ вона використовувала в 2014-2016рр. як інтелектуальна інформаційна технологія при прийнятті іспитів з курсу ТПР.

Неспеціалізовані елементи SMPR (ядро, підсистеми оцінювання знань тощо) використовуються для розробки інших навчальних курсів, зокрема для курсу «Чисельні методи» та «Додаткові розділи чисельного аналізу» на факультеті інформаційних технологій [12]. Вказані курси включають набір методів та алгоритмів розв'язання задач за розділами, наприклад, нелінійні рівняння (методи дихотомії, хорд, січних, Ньютона, простої ітерації, релаксації тощо), нелінійні системи рівнянь (методи простої ітерації, Ньютона, релаксації,

нелінійні методи Якобі та Зейделя), системи лінійних алгебраїчних рівнянь (точні методи типу Гауса, прогонки, квадратного кореня, ітераційні – прості ітерації, Якобі, Зейделя) [12]. У кожному з розділів є свої особливі та унікальні умови застосування, збіжності ітераційного процесу тощо. Часто їх досить важко перевірити «на дошці» на практичних заняттях. Зокрема, для нелінійних рівнянь та систем важливою складовою застосовуваності є процедури відділення коренів та побудова початкового наближення (локалізація), які проводяться графічним способом. Важкими для перевірки є також умови Ліпшиця (оптимізаційна задача) – для існування “стискуєчих” відображень в ході ітерацій, умов набуття різних знаків нелінійною функцією на кінцях інтервалу локалізації. В програмній системі «Чисельні методи» закладена базова кількість тестових завдань, які розв’язуються набором методів (за розділами) з заданою точністю чи за вказаною кількістю ітерацій. Студенти на лабораторних заняттях здійснюють реалізацію відповідних завдань на власному електронному пристрої (ноутбук, планшет, смартфон тощо). Наступна стадія – порівняння результатів обчислень з еталонним програмним забезпеченням. Результати обчислень та порівнянь оцінюються підсистемою «оцінка знань».

### Література

1. Волошин О.Ф. Про досвід колективної розробки навчально-методичних програмних систем. Ужгород: Праці V Міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень», Ужгород, 2010. – 274 с.
2. Волошин А.Ф., Ковалев Д.И. Учебно-методическая тестирующе-оценивающая программная система поддержки учебных курсов по теории принятия решений // Праці Міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень», Ужгород, 2012.
3. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Методичні рекомендації до виконання практичних і лабораторних робіт з теорії прийняття рішень. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2001.
4. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Теорія прийняття рішень. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2006. – 304 с.
5. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень: – К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. – 336с.
6. A.Freeman, M.MacDonald, M.Szpuzsta, «Pro ASP.NET 4.5 in C#», Apress, 2013.
7. Снітюк В.Е., Юрченко К.М. Интеллектуальное управление оцениванием знаний, Черкасы: «Маклауд», 2013. – 250с.
8. Бондаренко А. Применение обучающей программы SMPR в области сетей доступа. // Сборник научных трудов VII Всеукраинской научно-методической конференции «Современные технологии высшего образования». Одесса, 2011.
9. Бондаренко А. Применение обучающей программы SMPR при выборе технологий доступа // Problems of Computer Intellectualization. – Kyiv-Sofia: V.M.Glushkov Institute of Cybernetics, ITHEA, 2012. – P.332-339 (рус.).
10. Соломицкий М., Болотина О. Опыт использования методов решения задач выбора в условиях неопределенности и риска при проектировании компьютерных сетей // Problems of Computer Intellectualization. – Kyiv-Sofia: V.M.Glushkov Institute of Cybernetics, ITHEA, 2012. – P. 318-331.
11. Гайворонская Г.С., Бондаренко А.А. Задача выбора топологической структуры сети доступа // «Холодильная техника и технология». – Одесса, 2013, №2.
12. Кудін В.І. Аналіз та оптимізація лінійних систем методом допустимих базисних матриць: <http://www.unicyb.kiev.ua/Library/FunkAnal/index.html>.

## БАЛАНСОВІ МОДЕЛІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ ТА МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ РІШЕНЬ

Вихід Великої Британії з Європейського Союзу ставить під сумнів безальтернативність європейського проекту і привертає увагу до необхідності розробки власної стратегії розвитку, якнайкращого використання внутрішнього потенціалу національної економіки, виходячи перш за все із її теперішнього стану і довгострокових національних інтересів.

У зв'язку з цим доцільно розглянути національну економіку через призму системи взаємопов'язаних балансів, що описують як її *стан* так і якісно характеризують *відтворювальний процес*. Така система балансів може як досить *деталізовано* описувати процеси відтворення (наприклад, деталізовані таблиці «витрати-випуск» або міжгалузеві баланси), так і найбільш *агреговано* відображати процес відтворення і зв'язки в системі. Причому деталізовані баланси слугують інформаційною основою для побудови агрегованих балансів. Вважається, що агреговані баланси менш прийнятні для підготовки і обґрунтування складних рішень по розвитку системи. Проте агреговані баланси, оперуючи відносно незначною кількістю показників, дозволяють більш змістовно зупинитись на їх динаміці й таким чином зрозуміти основні тренди розвитку системи, візуально простежити систему внутрішніх і зовнішніх макропропорцій, що є критичними для розвитку і економічного зростання тощо. Система національних рахунків [1] уможлиблює методологічно поєднати деталізовані й агреговані статистичні баланси, а також є основою для підтримки оптимальних (доцільних) параметрів відтворення на основі цієї системи балансів, застосовуючи єдині класифікації і економіко-статистичні показники.

Розглянемо систему балансів, що відображають відтворення таких сфер суспільства як *ринки (P)*, *виробництво (V)*, *споживання (C)*, *заощадження/інвестування (I)* та *зовнішньоекономічна діяльність (З)* (табл.1). Дана система балансів подана у формі матриці, де витрати одних сфер суспільства є доходами інших, і в рамках якої знаходять консенсусні рішення щодо розвитку й збалансування різних сфер. Таку матрицю називають *матрицею соціальних рахунків (MCP)* [1] або *матрицею фінансових потоків* (кожен елемент такої матриці характеризує певний потік).

Таблиця 1.

	Ринки	Виробництво	Споживання	Інвестування	Зовнішня діяльність	Всього	
Ринки	Проміжне споживання товарів і послуг		Кінцеве споживання	Валові інвестиції	Експорт		
Виробництво	Випуск товарів і послуг						
Споживання		Валовий внутрішній продукт				Доходи від власності, поточні трансферти, ЗП із-за кордону	
Інвестування					Валові заощадження	Капітал отриманий із-за кордону	
Результат господарської діяльності				Чисте кредитування(+)/Чисте запозичення(-) (Результат внутрішньо економічної діяльності)	Чисте кредитування(+)/Чисте запозичення(-) (Результат зовнішньо економічної діяльності)		
Зовнішня діяльність	Імпорт	Доходи від власності, поточні трансферти, ЗП за кордон Капітал сплачений за кордон					
Всього							

За умов економічної стабільності в рамках такої матриці досліджують макроекономічні пропорції та особливості поточного економічного кругообігу з метою корегування та покращення параметрів відтворення. За умов глибокої кризи та економічного спаду

вивчається динаміка критичних макропрорцій та приймаються узгоджені рішення щодо подолання критичних диспропорцій. Різні за ступенем деталізації МСР розглядають як аналітичний інструмент аналізу процесів відтворення і підготовки узгоджених рішень економічної політики на майбутнє [2].

Відомо, що відправною точкою в моделюванні економіки ринкового типу є кінцевий попит, структура і якість якого і є суспільною метою (сфера «ринки»):

$$Y = C + G + I + \text{NetExport} \quad (1)$$

де  $Y$  – валовий внутрішній продукт (в ринкових цінах),  $C$  – індивідуальне кінцеве споживання,  $G$  – колективне кінцеве споживання,  $I$  – інвестиції,  $\text{NetExport}$  – чистий експорт.

Сфера «ринки» дозволяє національну економіку розглядати як один вид діяльності (одну галузь, один-єдиний ринок), де ефективність виробничої діяльності досліджується в рамках моделі Леонтьєва:

$$X = AX + Y, \quad X \geq 0, \quad (2)$$

де  $X$ ,  $AX$ ,  $Y$  – відповідно значення випуску товарів і послуг (в ринкових цінах), проміжного споживання товарів і послуг, ВВП (в ринкових цінах). При цьому в багатогалузевій моделі Леонтьєва  $A$  є квадратною матрицею з невід’ємними коефіцієнтами прямих витрат,  $X$  вектором-стовпчиком елементів валового випуску,  $Y$  – вектором-стовпчиком кінцевого попиту. Пропонований нами підхід дозволяє поєднувати агреговані й деталізовані моделі відтворення національної економіки, зокрема в галузевому та інституційному розрізах.

Саме сфери «ринки» і «виробництво» забезпечують відповідно формування «випуску» та власне «кінцевого продукту», й характеризують ефективність виробничої системи. В сфері «споживання» ВВП є ресурсом, а використання включає «кінцеве споживання» та «валове заощадження», скореговані зовнішньоекономічними потоками. Відповідно ресурсом сфери «інвестування» є «валові» заощадження й «капітал, отриманий із-за кордону», а використання включає «валові» інвестиції, «чисте кредитування(+)/чисте запозичення(-)» та «капітал сплачений за кордон». Очевидно, що система доходів даної моделі – випуск, ВВП, валові заощадження, чисте кредитування(+)/чисте запозичення (-) – якісно відображають відтворювальний процес національної економіки. Цим та іншим доходам національної економіки «дзеркально» – з протилежним знаком – відповідає системи доходів зовнішньоекономічної діяльності [3] (див. табл.2,3).

Саме валові заощадження, як бачимо, є основним ресурсом для формування валових інвестицій, а зовнішні інвестиції розглядаються як додатковий ресурс.

Розглянемо матриці соціальних рахунків України за 2013 та 2014 роки (табл.2, 3), які характеризують досить складний період соціально-економічного відтворення в Україні.

Таблиця 2.

МСР, Україна, 2013. (млн. грн.)

	Р	В	С	I	З	Всього
Р		1853194	1397512	250108	653180	4153994
В	3375851					3375851
С		1522657			129432	1652089
I			152610		-479	152131
				-97977	97977	0
З	778143		101967	0		880110
Всього	4153994	3375851	1652089	152131	880110	

Таблиця 3.

МСР, Україна, 2014. (млн. грн.)

	Р	В	С	I	З	Всього
Р		1971308	1429959	212591	771129	4384987
В	3558223					3558223
С		1586915			131790	1718705
I			183587		4693	188280
				-24311	24311	0
З	826764		105159	0		931923
Всього	4384987	3558223	1718705	188280	931923	

Процеси відтворення – перехід із одного стану в інший – можна записати через перехідну матрицю  $B$  (табл.4), яка й є об’єктом аналізу :

$$A(t+1) = B \cdot A(t), \quad (3)$$

де  $A(t)$  – МСР базового періоду (2013р.),  $A(t+1)$  – МСР наступного періоду (2014р.),  $B$  – перехідна матриця, що уособлює весь комплекс перехідних процесів (інфляція, структурні зміни, зміни виробничих технологій, у зовнішньоекономічній діяльності, у структурі використання ВВП тощо). З (3) маємо  $B = A(t+1) \cdot A^{-1}(t)$ , де  $A^{-1}$  задається табл. 5.

Таблиця 4.

Перехідна матриця  $B$ .

	Р	В	С	І	З
Р	1,0540	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
В	-1,7486	1,0422	4,6494	0,0000	0,9194
С	0,0646	0,0000	1,0313	0,0000	0,0000
І	-41,1279	0,1596	108,3496	0,8500	21,8580
З	20,5713	0,0000	-54,6966	0,0000	-9,7975

Обернена матриця МСР, Україна, 2013.

	Р	В	С	І	З
Р	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
В	0,000000	-0,000007	0,000001	-0,000018	0,000031
С	0,000000	-0,000002	0,000000	0,000000	0,000010
І	0,000005	-0,000232	-0,000006	-0,000609	0,000999
З	0,000000	0,000086	0,000000	0,000213	-0,000372

Таблиця 5.

Якщо в деталізованій Таблиці «витрати-випуск» (ТВВ) головним об'єктом аналізу виступають прямі і повні витрати, валовий випуск й ін., і таким чином частка галузей ВВП у структурі галузевого випуску (див. рівняння 2), то в МСР перехідні процеси потребують комплексного і якісного аналізу основних макроекономічних пропорцій і утворюваних про цьому доходів порівняно з ВВП (табл.6, 7).

В МСР сфери «ринки», «виробництво» (1-й та 2-й стовпчик і 1-й та 2-й рядок) агреговано представлені 1-м, 2-м та 3-м квадрантами ТВВ. Інші ж сфери діяльності («споживання», «інвестування» та «зовнішньоекономічна діяльність» (відповідно 3-5-й стовпчики та 3-5-й рядки) формують 4-й квадрант, який відсутній в ТВВ, проте надзвичайно важливий для забезпечення цілісності аналізу процесів відтворення, зокрема системи валових і чистих доходів, дослідження динаміки макроекономічних пропорцій й ін.

Таблиця 6.

МСР, Україна, 2013. (% ВВП=100)

	Р	В	С	І	З	Всього
Р		121,7	91,8	16,4	42,9	272,8
В	221,7					221,7
С		100,0			8,5	108,5
І			10,0		0	10,0
				-6,4	6,4	
З	51,1		6,7	0		57,8
Всього	272,8	221,7	108,5	10,0	57,8	

Таблиця 7.

МСР, Україна, 2014. (% ВВП=100)

	Р	В	С	І	З	Всього
Р		124,2	90,1	13,4	48,6	276,3
В	224,2					224,2
С		100,0			8,3	108,3
І			11,6		0,3	11,9
				-1,5	1,5	
З	52,1		6,6	0		58,7
Всього	276,3	224,2	108,3	11,9	58,7	

В 2014р. реальний ВВП зменшився на 6,5%, індекс інфляції склав 124,9% [4, 5], що характеризує нестійкість процесів відтворення та їх негативний тренд. Проте протягом цього періоду відбулися неоднозначні зміни й структури ВВП – при зменшенні частки «кінцевого споживання» й «валових інвестицій» в 2014 році спостерігається й зростання частки «експорту» в ВВП, «валових заощаджень», зменшення «чистих запозичень в національній економіці», що позитивно характеризує зміни, пов'язані із макроекономічною стабілізацією.

В приведених матрицях (табл.2,3 та 6,7) внутрішньо- і зовнішньоекономічні результати діяльності національної економіки дзеркально порівнювані, і досить динамічно змінювані, що надзвичайно важливо для оцінки якісних змін, сталості системи та забезпечення нормалізації відтворювальних процесів.

ТВВ і МСР мають спільну властивість – якщо в ТВВ види діяльності представляють систему балансів в розрізі *товарних груп* (наприклад, с/г, промисловість, домогосподарства) [6, с.13], то в МСР система балансів характеризує *власне процеси* відтворення, що характерні для певних сфер («виробництво», «споживання» й ін.) або агентів системи (підприємства, домогосподарства й ін.). Останнє вказує й на те, що методи підтримки прийняття і оптимізації рішень пов'язані з економічною поведінкою і мають ігровий характер [7], що потребує консенсусного узгодження інтересів та забезпечення стабільності соціально-економічної системи на основі політико-правових норм і стандартів.

Розглянуті вище моделі (2),(3) при практичному використанні потребують уточнення, доповнення та узагальнення, що пов'язано із великою розмірністю моделей, двосторонніми обмеженнями на змінні, статистичною неповнотою та неточністю визначення коефіцієнтів моделей, необхідністю врахування обмеженості мантиси представлення чисел при комп'ютерному моделюванні [8].



Процес моделювання ( уточнення структури моделей (2),(3), знаходження їхнього розв'язку та його дослідження) має ітераційний та багатокроковий характер. Важливим в таких ситуаціях є проведення аналізу залежності якості локалізації області належності розв'язків від величини збурень у елементах моделі (зокрема, вектора обмежень), від числа обумовленості (як визначального фактора) та організації обчислень (з врахуванням довжини мантиси у поданні чисел) для різних сценаріїв еволюції моделей. В основу розробки алгоритмів дослідження, що проводиться, покладено методологію послідовного аналізу варіантів (ПАВ) і метод базисних матриць (МБМ), як його конкретну реалізацію [8]. МБМ дозволяє враховувати вплив скінченно-малих збурень на розв'язки системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) [9]. На відміну від класичних ітераційних методів (наприклад, симплекс-методу) МБМ знаходить розв'язок у два етапи: 1) виділення базисної матриці; 2) знаходження розв'язку СЛАР, що відповідає виділеній базисній матриці, та аналіз обумовленості системи, що дозволяє передбачувати ситуацію нагромадження помилок.

Розроблені алгоритми дозволяють здійснювати :

- аналіз властивостей погано обумовлених задач малої розмірності;
- аналіз типової моделі заданої середньої розмірності;
- дослідження властивостей алгоритмів на основі базисного методу;
- розрахунки на основі обчислювальних алгоритмів при використанні різних типів

даних (із плаваючою комою з мантисою розмірністю 64, 128, 256 біт) для СЛАР з різними числами обумовленості [8].

Наведена алгоритмічна схема може бути також базовою при “врахуванні” впливу збурень елементів моделі (рядків, стовпців та вектора обмежень) на властивості моделі (локалізації області належності розв'язків) [9].

### Література

1. System of National Accounts 2008. – U.N., N.Y., 2009. – 722p. (ST/ESA/STAT/SER.F/2/REV.5).
2. Use of Macro Accounts in Policy Analysis. – U.N., N.Y., 2002. – 333p. (ST/ESA/STAT/SER.F/81).
3. Кудін В.І. Зовнішньоекономічна діяльність як індикатор збалансованості національної економіки / В.І.Кудін, В.В.Кулик. Матеріали науково-практичної конференції «Трансформація зовнішньої політики України в умовах нестабільності». 31 березня 2016, м.Київ. – Київ: Знання України, 2016. – С.80-83.
4. ВВП України 1990-2014рр. Державна служба статистики України. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.u>.
5. Національні рахунки України за 2014 рік. Статистичний збірник. Державний комітет статистики України. Київ, 2016. – 179с.
6. Леонтьев В. Избранные статьи / В.Леонтьев. - СПб: Изд-во «Невское время», 1994. – 366 с.
7. фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О.Моргенштерн. Пер. с англ. М.: Наука, 1970. – 707с.
8. Волошин А.Ф., Кудин В.И. Последовательный анализ вариантов в задачах исследования и проектирования сложных систем : монография. К.: ИПЦ “Киевский университет” - Наукова думка, 2015. – 351с.
9. Богаенко В.А., Волошин А.Ф. Кудин В.И. Анализ малых возмущений линейных экономико-математических моделей // “Information science & computing” – International Book Series, №10, “Artificial Intelligence and Decision Making”, Supplement to International Journal “Information Technologies and Knowledge”, Vol. 3, 2009. – P.67-73.

## ЗАДАЧА ВИБОРУ ЕТАЛОННИХ КЛАСІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ

Концепції якості обслуговування приділяється велика увага в сфері інформаційних мереж. Згідно визначенню Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ, англ: *International Telecommunication Union, ITU*) наданому в рекомендації *E.800*, якість обслуговування це – сукупність характеристик інфокомунікаційних послуг (ІКП), які визначають рівень задоволення потреб користувача цих послуг. Список критеріїв якості обслуговування для практичної реалізації залежить від послуг та їх актуальності для різних типів користувачів [1]. Питання забезпечення якості обслуговування, а також зв'язані з ним задачі, актуальні як в нашій країні, а також є міжнародно значимими. В структурі практично кожної державної, міждержавної і міжнародної організації по стандартизації, що займається розглядом питань телекомунікацій, існує комісія, підрозділ чи відділення, які опрацьовують питання забезпечення якості обслуговування, методи оцінки *QoS* і параметри, по яким воно виконується. В роботі вирішено задачу вибору еталонних мінімальних і максимальних вимог до характеристик телекомунікаційної мережі (ТМ) з метою подальшої оцінки спроможності їх забезпечення.

При цьому визначено 18 альтернатив, по дві від кожного класу основних мережних послуг, що відображають відповідно максимальні і мінімальні вимоги до мережі з боку кожного класу. Послуги, а також їх класи обирались з оглядом на популярність і затребуваність згідно результатам, що опубліковано в [2], а також згідно аналізу існуючих ІКП. Параметри якості обслуговування обрано з оглядом на проаналізовані параметри *QoS*, що запропоновані Міжнародним союзом електрозв'язку та доповнені параметром пропускну спроможності, як таким, що безпосередньо впливає на затримку з точки зору кінцевого користувача. В дослідженні представлені дві задачі вибору, перша з яких призначена для вибору максимальних вимог, а друга для вибору мінімальних вимог до характеристик до мережі.

У якості альтернатив обрано максимальні і мінімальні вимоги до параметрів мережі з боку класу послуг: *A1*, *A2* – передачі і прийому відео в реальному часі; *A3*, *A4* – прийому і передачі аудіо-інформації в реальному часі; *A5*, *A6* - потокового відео; *A7*, *A8* - ігрових і розважальних послуг; *A9*, *A10* - обміну текстовою інформацією; *A11*, *A12* - обміну файлами; *A13*, *A14* - перегляду *web*-сторінок; *A15*, *A16* - віддаленого керування і контролю; *A17*, *A18* - електронної комерції.

При цьому обрано такі показники прийнятності (ПП): пропускну спроможність (*C*), затримка (*D*), Варіація затримки (*D<sub>v</sub>*), Коефіцієнт помилок (*K<sub>m</sub>*) Коефіцієнт втрати інформаційних блоків (*K<sub>l</sub>*), Коефіцієнт зміни порядку інформаційних блоків (*K<sub>d</sub>*).

В задачі найбільших вимог до характеристик мережі задля задоволення вимог усіх класів послуг. У цьому випадку логічно припустити, що знадобилося обрати не одну послугу з найбільшими вимогами до характеристик мережі, а найбільші вимоги взагалі, від різних послуг. Саме такий вибір дозволить гарантувати задоволення потреб всіх послуг.

Для ПП пропускну спроможність виконано порівняння альтернатив за лексикографічним критерієм з ранжуванням та отримано наступний результат:

$A17 > \forall A \in \{A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16\}$ .

Аналогічно отримано результати за іншими ПП.

В задачі вибору мінімальних вимог до характеристик мережі, які дозволять задовольнити потреби хоча б однієї, будь-якої послуги не підходить метод відбору найменших вимог взагалі, від різних послуг, оскільки в такому випадку не можна гарантувати задоволення потреб хоча б однієї послуги по всім характеристикам. Тому в даному випадку здійснено вибір альтернатив з усією сукупністю її вимог за лексикографічним критерієм з ранжуванням. В результаті вирішення задачі отримано:

$A_{10} < \forall A \in \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{15}, A_{16}, A_{17}, A_{18}\}$

Згідно результатів, отриманих при вирішенні цих задач побудовано діаграму Хассе (рис 1) за значеннями показників прийнятності альтернатив.

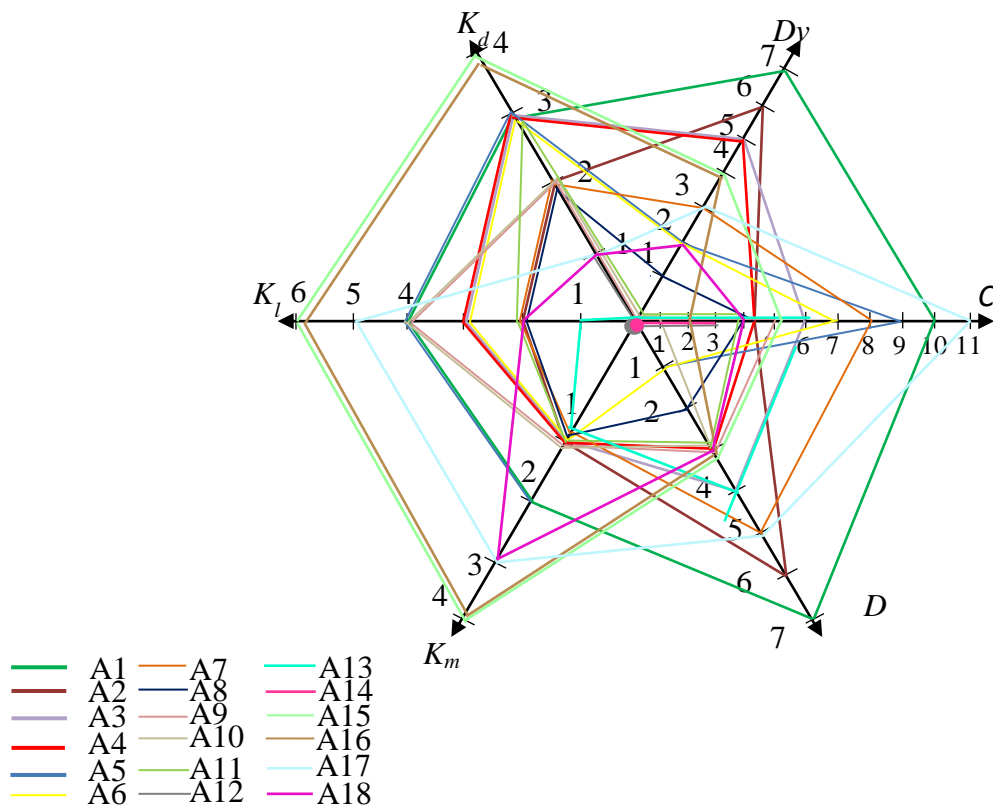


Рис.1. Діаграма Хассе

Для полегшення масштабування значень ПП альтернатив на осях діаграми, введено умовні рівні значень показників прийнятності. На діаграмі прийнято наступні визначення: пропускна спроможність (C), затримка (D), Варіація затримки ( $D_v$ ), Коефіцієнт помилок ( $K_m$ ) Коефіцієнт втрати інформаційних блоків ( $K_l$ ), Коефіцієнт зміни порядку інформаційних блоків ( $K_d$ ).

Отримані результати використано при розробці моделі функціонування механізму оцінки якості обслуговування користувача телекомунікаційною мережею, що поєднує в собі механізми як інтегрального обслуговування (формування трафіку, гарантування пропускної спроможності та резервування ресурсів), так і диференціального обслуговування та дозволяє отримати аналітичну оцінку якості надання інфокомунікаційних послуг.

### Література

1. Cisco QoS Frequently Asked Questions [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/22833-qos-faq.html> (01.10.2014).
2. Гайворонская Г.С. Анализ использования пропускной способности как показателя качества обслуживания пользователя телекоммуникационной сети/ Гайворонская Г.С., Кушнеренко Е.А. // International Journal "Information Models and Analyses" Volume 4, Number 4, 2015 P. 388-396

## **РАНЖУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ РИЗИКІВ В ІТ-ПРОЕКТІ**

Вступ. Впровадження ІТ-проекту без аналізу альтернативних можливостей призводить до збільшення його вартості, підвищує рівень можливих ризиків, а отриманий ефект може бути далеким від очікуваного. Помилки при оцінці ризиків, їх ранжуванні та моніторингу можуть привести до невірних управлінських рішень, тому дуже важливо своєчасно виявити і оцінити всі ризики ІТ-проекту.

Причиною виникнення ризику є невизначеність, характерна для всіх проектів. Моніторинг проектних ризиків дозволяє оцінити і відслідкувати їх, та запланувати витрати і відстежити рентабельність проекту на кожному з його етапів. Використовуючи цю інформацію, проектна команда уникне відставання від графіка та підвищить рентабельність ІТ-проекту.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Необхідність ранжування та моніторингу ризиків в ІТ-проектах обумовлена відмінностями між проектною та операційною діяльністю. Дані види діяльності розрізняються головним чином тим, що операційна діяльність - це тривалий в часі і повторюваний процес, в той час як проектна діяльність є тимчасовою і спрямованою на створення унікальних послуг, продуктів або результатів [1].

Завдання керування ризиками полягає у зменшенні впливу небажаних факторів на життєвий цикл проекту для отримання результатів, найбільш наближених до бажаних. Можливості маневрування під час управління ризиками доволі різноманітні: запобігання ризику, відхилення від ризику, свідоме і неусвідомлене прийняття ризику, дублювання операцій, об'єктів чи ресурсів, скорочення величини потенційних і фактичних втрат, розподіл ризику, розукрупнення ризику, рознесення експозицій у просторі та у часі, ізоляція небезпечних синергетичних чинників один від одного, перенесення (страховий та нестраховий трансфер) ризику на інших агентів тощо [2].

Мета дослідження. Метою є дослідження ризиків ІТ-проектів та методів їх аналізу й ранжування з метою зменшення негативного впливу таких ризиків на проект.

Матеріали досліджень. Для формування конкретних механізмів оперативного керування ризиками доцільно використовувати моделі та методи теорії графів, ланцюгів Маркова, динамічного програмування і оптимального управління. Близькими до класичних є моделі, що ґрунтуються на понятті суб'єктивної ймовірності. В цьому випадку оцінки отримують, опитуючи експертів, і так само роблять, якщо необхідно провести коригування цих оцінок.

Перспективним є також використання експертних систем. Однак така система повинна мати два входи – один для користувача, який розв'язує конкретні задачі управління в умовах ризику, а інший – для експерта (експертів), що постійно надає експертну інформацію. Тільки в такому випадку буде досягнуто достатній рівень адекватності роботи ЕС.

На етапі ідентифікації ризиків проводиться формування реєстру ризиків проекту, на основі якого будується таблиця ризиків проекту для подальшої їх якісної оцінки. Якісний аналіз ризиків – це суб'єктивна оцінка ідентифікованих ризиків, що полягає в виявленні факторів, меж та видів ризиків. Метою такої оцінки є визначення істотності впливу ризиків на результати та продукти проекту. Результати якісної оцінки використовуються для формування переліку недопустимих ризиків, кількісного їх аналізу та планування заходів із реагування [3]. Першим етапом при виконанні якісного аналізу ризиків є побудова таблиці ризиків проекту, що являє собою сукупність інформації по можливим ризикам, опису їх впливу та якісних оцінок ймовірності виникнення, суттєвості впливу та визначеного на їх основі показника потенційного впливу ризику на проект. В таблицю, в першу чергу, переноситься реєстр ідентифікованих ризиків згідно з класифікацією ризиків ІТ-проектів, з вказівкою ймовірності виникнення ризику та ступенем його впливу на ІТ-проект. Ця таблиця створюється і підтримується в активному стані експертами.

Після переносу реєстру ризиків у таблицю ризиків проекту проводиться оцінка таких показників як ймовірність виникнення та ступінь впливу на проект. Для оцінки використовують відповідні шкали з цифровими коефіцієнтами (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Шкала оцінок ймовірності виникнення ризику

Відносна шкала	Кількісна оцінка
Низька ймовірність	0,1
Можливо	0,5
Досить ймовірно	0,7
Висока ймовірність	0,9

Таблиця 2 – Шкала оцінок суттєвості впливу ризику на проект

Відносна шкала	Кількісна оцінка
Ігноровані	0,05
Низька	0,1
Середня	0,2
Висока	0,4
Критична	0,8

Потенційний вплив ризику на проект оцінюється як добуток ймовірності виникнення та ступеня впливу. На його основі формується рейтинг ризиків. Правила рейтингової системи ризиків можуть визначатися попередньо, перед початком проекту, або ж можуть бути адаптовані під потреби конкретного проекту в процесі його реалізації. Оцінка важливості кожного ризику і його пріоритету, як правило, проводиться з використанням матриці ймовірностей та впливу, яка будується на основі шкал оцінок ймовірності виникнення та суттєвості впливу ризику на проект [1].

Виділяють три рівні оцінки ризику:

- ризик прийнятний (низькі ризики);
- ризик виправданий (середні, помірні ризики);
- ризик неприпустимий (високі, критичні ризики).

При плануванні заходів управління ризиками до уваги беруться критичні та помірні ризики. Прийнятні ризики включаються до реєстру і знаходяться під спостереженням на предмет зміни категорії. Кількісна оцінка проводиться стосовно тих ризиків, які в процесі якісного аналізу були кваліфіковані як виправдані та недопустимі. В процесі кількісної оцінки ризиків визначається ефект від таких подій.

Висновки. Зростання масштабів і складності ІТ-проектів зумовлює підвищення вимог до якості управлінської діяльності. Основою будь-якої управлінської діяльності є рішення, що приймають органи управління одноосібно чи колегіально і які скеровані на досягнення певної мети. Відсутність, недостатність чи неточність необхідної інформації є причинами для виникнення ризикових ситуацій, в умовах яких приймаються управлінські рішення.

Проведення якісного аналізу ризиків в ІТ-проектах та їх правильне ранжування дозволяє виявити всі критичні ризики проекту, визначити можливі наслідки їх реалізації та сконцентрувати увагу менеджера проекту на ризиках, що мають найвищий показник впливу на проект. Всі ризики проекту повинні підлягати контролю, проте реалізація стратегій управління ними залежить від певних додаткових витрат часу, ресурсів та бюджету проекту. Ранжування реєстру ризиків по показнику впливу на проект дозволить розставити пріоритети і відповідно призведе до економії ресурсів проекту.

#### Література

1. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. (PMBOK Guide) - Fifth edition. Project Management Institute, 2013. – 586 с.
2. Рішняк, І. В. Система управління ризиками ІТ-проектів [Текст] / І. В. Рішняк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі. – 2011. – № 699. – С. 250-259.
3. Управление проектами. Учеб.пособие / И. И. Мазур [и др.] ; под общ. ред. И. И. Мазира и В. Д. Шапиро. — 6-е изд., стер. — М.: Издательство «Омега-Л», 2010. – 960с.

## ЧИСЕЛЬНЕ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ДЕЯКИХ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ ПОТЕНЦІАЛУ В ЕЛЕКТРОННІЙ ОПТИЦІ

У роботі, на підставі отримуваних розв'язків так званої прямої задачі теорії потенціалу в електронній оптиці, вивчали можливості ефективного вирішення окремих обернених проблем, пов'язаних з прямою. При цьому розглядали осесиметричний варіант досліджуваного електростатичного поля, створюваного системою заряджених електродів. Останні, з математичної точки зору, були змодельовані бічними поверхнями деяких круглих циліндрів. У якості початкової інформації розглядали параметричні рівняння відповідних твірних  $L_i$  ( $i = \overline{1, \nu}$ ), розташованих у півплощині  $zr$  ( $r \geq 0$ ), та задані граничні значення потенціалів  $U_0^{(i)}$  на  $L_i$ . Розв'язуючи пряму задачу, знаходили розподіл потенціалу вздовж осі симетрії  $Oz$ , а далі здійснювали відтворення граничних значень  $U_0^{(i)}$ , приймаючи до уваги можливі збурення отриманих на попередньому етапі результатів. Інакше кажучи, проводили дослідження оберненої некоректної задачі.

Нехай  $L_j := \{z_j(\tau), r_j(\tau), \tau \in \Delta_j := [\alpha_j, \beta_j]; j = \overline{1, \nu}\}$  – параметричне зображення  $j$ -ої твірної.

$$U(\bar{z}, \bar{r}) = \sum_{j=1}^{\nu} \int_{\Delta_j} q_j(\tau) E_j(\tau; \bar{z}, \bar{r}) d\tau$$

– інтегральне подання розв'язку прямої задачі в довільній точці півплощини  $zr$  ( $r \geq 0$ ),  $E_j(\tau; \bar{z}, \bar{r})$  – відомі в теорії потенціалу функції,  $\{q_j(\tau)\}_{j=1}^{\nu}$  – шукана сукупна густина розподілу зарядів на  $\bigcup_{j=1}^{\nu} L_j$ . Припускаючи, що  $(\bar{z}, \bar{r}) \in L_i$  ( $i = \overline{1, \nu}$ ) – фіксована точка, тобто

$\exists \bar{\tau} \in \Delta_i : \bar{z} = z_i(\bar{\tau}), \bar{r} = r_i(\bar{\tau})$ , легко сформулювати так звані характеристичні задачі:

$$\sum_{j=1}^{\nu} \int_{\Delta_j} q_{kj}(\tau) E_{ij}(\tau, \bar{\tau}) d\tau = \delta_{ik} \quad (i = \overline{1, \nu}; \bar{\tau} \in \Delta_i).$$

Це система інтегральних рівнянь з логарифмічними особливостями в ядрах, де  $\delta_{ik}$  – символ Кронекера,  $\{q_{kj}(\tau)\}_{j=1}^{\nu}$  – шукана сукупна густина розподілу зарядів  $k$ -ої характеристичної задачі ( $k = \overline{1, \nu}$ ), а  $E_{ij}(\tau, \bar{\tau}) := E_j[\tau; z_i(\bar{\tau}), r_i(\bar{\tau})]$ , де

$$\begin{aligned} E_j[\tau; \bar{z}, \bar{r}] &:= 4r_j(\tau) \left\{ [r'_j(\tau)]^2 + [z'_j(\tau)]^2 \right\}^{1/2} \bar{T}_j^{-1}(\tau) K[\bar{\eta}_j(\tau)], \\ \bar{T}_j(\tau) &:= \left\{ [r_j(\tau) + \bar{r}]^2 + [z_j(\tau) - \bar{z}]^2 \right\}^{1/2}, \\ \bar{\eta}_j(\tau) &:= [\bar{T}_j^2(\tau) - 4r_j(\tau)\bar{r}] \bar{T}_j^{-2}(\tau), \\ K(\bar{\eta}_j) &:= \sum_{s=0}^4 [a_s - b_s \ln(\bar{\eta}_j)] \bar{\eta}_j^s \end{aligned}$$

– апроксимація повного еліптичного інтегралу I-го роду ( $a_s, b_s$  – відомі коефіцієнти).

Розв'язуючи характеристичну систему, отримаємо зображення розв'язку  $i$ -ої крайової задачі:

$$U_i(\bar{z}, \bar{r}) = \sum_{j=1}^{\nu} \int_{\Delta_j} q_{ij}(\tau) E_j(\tau; \bar{z}, \bar{r}) d\tau \quad (i = \overline{1, \nu}),$$

а разом з цим розв'язок початкової задачі:

$$U(\bar{z}, \bar{r}) = \sum_{i=1}^v U_0^{(i)} U_i(\bar{z}, \bar{r}),$$

що дає можливість визначити значення потенціалу вздовж осі  $0z$ :  $\Phi_0(\bar{z}) = U(\bar{z}, 0)$ .

Далі, для аналізу оберненої задачі, не зменшуючи загальності, припустимо, що твірні  $L_i$  являють собою відрізки прямих паралельних  $0z$ . З метою побудови дискретного аналогу  $U_i(\bar{z}, 0)$  ( $|\bar{z}| \leq C$ ) оберемо  $N_j \in \mathbf{N}$  ( $j = \overline{1, v}$ ) і покладемо  $h_j := (\beta_j - \alpha_j) / N_j$ ,  $\tau_{k_j} := \alpha_j + h_j(2k_j - 1) / 2$  ( $1 \leq k_j \leq N_j$ ),  $\Delta_{k_j} := [\tau_{k_j} - h_j / 2, \tau_{k_j} + h_j / 2]$ , тоді згаданий дискретний аналог можна подати у вигляді:

$$\hat{U}_i(\bar{z}, 0) = \sum_{j=1}^v \sum_{k_j=1}^{N_j} q_{k_j}^{(i)} \int_{\Delta_{k_j}} E_j(\tau; \bar{z}, 0) d\tau,$$

де  $q_{k_j}^{(i)} \approx q_{ij}(\tau_{k_j})$ . Відтворювану граничну умову  $U_0^{(i)}$ , трактуючи її як функцію, визначену на  $L_i$ , подамо у вигляді:

$$U(\tau_{k_i}, r_i) = \sum_{j=1}^v \sum_{k_j=1}^{N_j} q_{k_j}^{(i)} \int_{\Delta_{k_j}} E_j(\tau; \tau_{k_i}, r_i) d\tau,$$

а набір невідомих параметрів  $\{q_{k_j}^{(i)}\}$  знаходимо методом штрафних функцій, мінімізуючи функціонал:

$$F(q_1^{(1)}, q_2^{(1)}, \dots, q_{N_1}^{(1)}, \dots, q_{N_v}^{(v)}) = \\ = \left\| \Phi_0(\bar{z}) - \sum_{i=1}^v U(\tau_{k_i}, r_i) \hat{U}_i(\bar{z}, 0) \right\|_{L_2(-C, C)}^2 + \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^v \sum_{k_i=1}^{N_i-1} [U(\tau_{k_i+1}, r_i) - U(\tau_{k_i}, r_i)]^2,$$

де  $\beta$  – числовий параметр.

На підставі отриманих  $\{q_{k_j}^{(i)}\}$  відтворюємо граничні значення потенціалу. Таким чином здійснюється регуляризація некоректної задачі на компактi, який у даному випадку доцільно задавати у вигляді рівностей.

### Література

1. Галишнікова Т.Н. Метод интегральных уравнений в задачах дифракции волн / Т.Н. Галишнікова, А.С. Ильинский. – М.: МАКС Пресс, 2013. – 248 с.
2. Дорошенко В.М. Чисельне знаходження оптимального розподілу граничних потенціалів та геометрії граничних поверхонь в задачах теорії потенціалу / В.М. Дорошенко, Г.П. Коваль, Л.В. Лазурчак // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: фізико-математичні науки: зб. наук. праць. – Кам'янець-Подільський національний університет. – 2008. – Вип. 1. – С. 103-112.
3. Ильин В.П. Численные методы оптимизации эмиссионных электронно-оптических систем / В.П. Ильин, В.А. Катешов, Ю.В. Куликов, М.А. Монастырский. – Новосибирск: Наука, 1987. – 192 с.
4. Канторович Л.В. Приближенные методы высшего анализа / Л.В. Канторович, В.И. Крылов. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1952. – 696 с.
5. Петров Ю.П. Корректные, некорректные и промежуточные задачи с приложениями / Ю. П. Петров, В.С. Сизиков. – СПб.: Политехника, 2003. – 261 с.
6. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. – М.: Наука, 1979. – 830 с.
7. Тихонов А.Н. Численные методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, А.В. Гончарский, В.В. Степанов, А.Г. Ягола. – М.: Наука, 1990. – 232 с.

## ВЛАСТИВОСТІ ЯДЕР БУЛЕВИХ НЕЙРОФУНКЦІЙ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗУ НЕЙРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Булеві нейрофункції мають важливе значення в задачах компресії та передачі інформації. Це пов'язано тим, що булеві нейрофункції від  $n$  аргументів однозначно визначаються зі своїми  $n+1$ -вимірними характеристичними векторами [1-3], тоді як всі інші булеві функції однозначно задаються тільки своїми спектрами (в різних системах базисних функцій), які мають  $2^n$  спектральних коефіцієнтів.

Нейронні елементи (НЕ), які реалізують булеві нейрофункції і мережі з них успішно використовуються для розпізнавання дискретних сигналів і зображень. Однак, слід відмітити, що при розв'язуванні реальних задач розпізнавання зображень потребуються нейронні елементи з великим числом входів. Як відомо [2-5], кількість операцій для синтезу (навчання) нейронних елементів експоненційно залежить від кількості їх входів  $n$ , точніше, знаходиться у прямій пропорційній залежності з числом  $2^n$ . Тому розробка ефективних методів синтезу нейронних елементів з великим числом входів є актуальною і практично важливою задачею.

У цій роботі наводиться ряд важливих властивостей ядер булевих нейрофункцій і на їх основі розроблено ефективний алгоритм синтезу цілочислових НЕ, що може бути успішно використано і для синтезу нейронних елементів з великим числом входів.

Нехай  $Z_2 = \{0, 1\}$  і  $Z_2^n$  –  $n$ -а декартова степінь множини  $Z_2$ . Для булевої функції  $f(x_1, \dots, x_n) (f: Z_2^n \rightarrow Z_2)$  визначимо множини  $f^{-1}(1), f^{-1}(0)$ :

$$f^{-1}(1) = \{\mathbf{x} \in Z_2^n \mid f(\mathbf{x}) = 1\}, f^{-1}(0) = \{\mathbf{x} \in Z_2^n \mid f(\mathbf{x}) = 0\}.$$

За означенням, нейронний елемент (НЕ) з пороговою функцією активації з вектором структури  $[\mathbf{w} = (\omega_1, \dots, \omega_n); \omega_0]$  ( $\mathbf{w}$  –  $n$ -вимірний дійсний вектор, який називається ваговим,  $\omega_0$  – дійсне число (поріг)) реалізує булеву функцію  $f(x_1, \dots, x_n)$ , якщо для кожного  $\mathbf{x} \in Z_2^n$  виконується умова

$$\mathbf{x} \in f^{-1}(0) \Leftrightarrow (\mathbf{x}, \mathbf{w}) < \omega_0.$$

Булева функція  $f(x_1, \dots, x_n)$ , що реалізується одним нейронним елементом із пороговою функцією активації, називається нейрофункцією (пороговою).

Під ядром  $K(f)$  булевої функції  $f(x_1, \dots, x_n)$  будемо розуміти множину  $f^{-1}(1)$ , якщо  $|f^{-1}(1)| \leq |f^{-1}(0)|$ , і  $f^{-1}(0)$  у протилежному випадку.

Визначимо опуклу оболонку  $\text{conv}K(f)$  ядра  $K(f)$  наступним чином:

$$\text{conv}K(f) = \{\mathbf{x} \in Z_2^n \mid \mathbf{x} = \sum_{i=1}^q \lambda_i \mathbf{a}_i, \sum_{i=1}^q \lambda_i = 1, \lambda_i \geq 0, \dots, \lambda_q \geq 0; \mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_q \in K(f)\}.$$

Нехай  $K'(f) = Z_2^n \setminus K(f)$ .

*Теорема 1.* Булева функція  $f(x_1, \dots, x_n)$  є нейрофункцією тоді і тільки тоді, коли  $\text{conv}K(f) \cap \text{conv}K'(f) = \emptyset$ .

Визначимо відстань  $\rho(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  між елементами  $\mathbf{a} = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  і  $\mathbf{b} = (\beta_1, \dots, \beta_n) \in Z_2^n$  наступним чином:  $\rho(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sum_{i=1}^n |\alpha_i - \beta_i|$ .



Нехай  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  – довільні елементи з  $K(f)$  ( $\mathbf{a} \neq \mathbf{b}$ ) і  $O(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  – множина таких орт-векторів  $\mathbf{e}_{i_1}, \dots, \mathbf{e}_{i_s}$ , що  $\mathbf{a} \oplus \mathbf{b} = \mathbf{e}_{i_1} + \mathbf{e}_{i_2} + \dots + \mathbf{e}_{i_s}$ , де  $\oplus$  – покоординатна сума векторів за модулем 2,  $i_r \neq i_k$ , якщо  $r \neq k$ . Позначимо через  $H(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  підгрупу групи  $Z_2^n$  ( $Z_2^n$  утворює групу відносно операції  $\oplus$ ), яка породжується елементами з  $O(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ , тобто  $H(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \langle \mathbf{e}_{i_1}, \dots, \mathbf{e}_{i_s} \mid \mathbf{e}_{i_1}, \dots, \mathbf{e}_{i_s} \in O(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \rangle$ .

Нехай  $\mathbf{a} = (\alpha_1, \dots, \alpha_n), \mathbf{b} = (\beta_1, \dots, \beta_n) \in Z_2^n$ . Покоординатну кон'юнкцію векторів  $\mathbf{a}$  та  $\mathbf{b}$  позначимо через  $\mathbf{a} \& \mathbf{b} = (\alpha_1 \& \beta_1, \dots, \alpha_n \& \beta_n)$  і через  $H(\mathbf{a} \& \mathbf{b})$  позначимо суміжний клас групи  $Z_2^n$  за підгрупою  $H(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ , що визначається елементом  $\mathbf{a} \& \mathbf{b}$ , тобто  $H(\mathbf{a} \& \mathbf{b}) = \mathbf{a} \& \mathbf{b} \oplus H(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ .

**Теорема 2.** Якщо булева функція  $f(x_1, \dots, x_n) \in$  нейрофункцією, тоді для будь-яких двох елементів  $\mathbf{a}, \mathbf{b} \in K(f)$  для яких  $|H(\mathbf{a} \& \mathbf{b}) \cap K'(f)| \geq 2$  і для будь-яких двох елементів  $\mathbf{g}, \mathbf{h} \in H(\mathbf{a} \& \mathbf{b}) \cap K'(f)$  справджується нерівність  $\rho(\mathbf{g}, \mathbf{h}) < \rho(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ .

Нехай  $K(f) = \{\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_q\}$  і  $\{L_1, \dots, L_n\}$  – множина матриць толерантності і  $p$  пороговий оператор [2] з мітками  $\mathbf{a}_i \in K(f)$  і  $\sigma_i \in S_n$  ( $S_n$  – симетрична група степені  $n$ ).

**Теорема 3.** Якщо існує такий елемент  $\mathbf{a}_i \in K(f)$  і  $\sigma_i \in S_n$ , що

$$p((\mathbf{a}_i K(f))^{\sigma_i}) = (L_{j_i} \underbrace{0_{j_i} \dots 0_{j_i}}_{n-j_i}) \nabla (L_{j_i}^* (q_0^i) \underbrace{0 \dots 0}_{n-(j_i+1)}) \nabla \dots \nabla (L_{j_i+r_i}^* (q_{r_i}^i) \underbrace{0 \dots 0}_{n-(j_i+r_i+1)}), \quad (1)$$

де  $q_0^i \geq q_1^i \geq \dots \geq q_{r_i}^i$ ,  $L_k^*(q_k)$  – матриця побудована шляхом інвертування останніх  $q_k$  строк матриці  $L_k$ , то булева функція  $f(x_1, \dots, x_n) \in$  нейрофункцією.

На основі рівності (1) розроблено цілочисловий алгоритм синтезу НЕ, що реалізує булеву функцію, ядро якої задовляє умови теореми 3. Позначимо через  $\mathbf{z}_0, \dots, \mathbf{z}_{r_i}$  останні рядки відповідних матриць  $(L_{j_i}^*(q_0^i)0 \dots 0), \dots, (L_{j_i+r_i}^*(q_{r_i}^i)0 \dots 0)$ . Алгоритм складається із наступних кроків:

у випадку, коли  $r_i \geq 1$ :

$$1) \omega_1 = -1, \omega_2 = \omega_1 - 1, \dots, \omega_{j_i} = \sum_{m=1}^{j_i-1} \omega_m - 1;$$

2) координати  $\omega_{j_i+s}$  послідовно знаходимо з рівностей:

$$(\mathbf{z}_s, (\omega_1, \dots, \omega_{j_i}, \dots, \omega_{j_m+s}, 0, \dots, 0)) = (\mathbf{z}_{s-1}, (\omega_1, \dots, \omega_{j_m+s-1}, 0, \dots, 0)), s = 1, \dots, r_i;$$

$$3) \omega_{j_i+r_i+1} = \dots = \omega_n = (\mathbf{z}_{r_i}, (\omega_1, \dots, \omega_{j_m}, \dots, \omega_{j_m+r_i}, 0, \dots, 0)) - 1;$$

у випадку, коли  $r_i = 0$ , алгоритм містить два кроки 1) та 3).

Позначимо побудований вектор через  $\mathbf{w} = (\omega_1, \dots, \omega_n)$ . Тоді  $\mathbf{w}_1 = \mathbf{a}_m \mathbf{w}^{\sigma_m^{-1}}$  або  $(-\mathbf{w}_1)$  буде ваговим вектором НЕ, що реалізує задану функцію  $f(x_1, \dots, x_n)$ , в залежності від її ядра.

## Література

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд. – М.: Вильямс-Телеком, 2006. – 1104 с.
2. Гече Ф. Аналіз дискретних функцій та синтез логічних схем у нейробазисі: [Монографія] / Ф. Гече. – Ужгород: Видавництво В. Падяка, 2010. – 210 с.
3. Дертоузос М. Пороговая логика / М. Дертоузос. – М.: Мир, 1967. – 342 с.
4. Перцептрон – система распознавание образов / Под. ред. А. Г. Ивахненко. – К.: Наук. думка, 1975. – 430 с.
5. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссерман. – М.: Мир, 1992. – 240 с.

## **ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПОЧЕРКОЗНАВЧОЇ ЕКСПЕРТИЗИ**

Зростання наукового потенціалу правоохоронних органів сприяє розвитку різних видів криміналістичних досліджень речових доказів.

По багатьох видах злочинів, часто основним джерелом доказу по справі служить висновок судово-почеркознавчої експертизи, за допомогою якої установлюються факти, що мають значення для справи. Як правило, це почеркознавчі дослідження, спрямовані на встановлення конкретного виконавця того чи іншого рукописного документа.

Основні цілі, які ставить перед собою судово-почеркознавча експертиза можна класифікувати наступним чином:

- ідентифікаційні, які передбачають встановлення конкретного виконавця досліджуваного рукопису;
- діагностичні, які пов'язані із встановленням умов виконання досліджуваного рукопису;
- класифікаційні, які пов'язані з встановлення групи осіб (стать, вік) до якої належить виконавець досліджуваного рукопису.

Основоположник судового почеркознавства Буринський Е.Ф. писав, що почеркознавча експертиза тільки тоді перестане бути суб'єктивною, коли в процесі дослідження будуть проводитися різні виміри за допомогою спеціально для цього розроблених і виготовлених інструментів.

Розвиток судового почеркознавства пов'язаний з інтенсивним проникненням у дослідження почерку математичних методів, тобто з математизацією науки.

Математизація знань проходила умовно за трьома напрямками:

- ймовірно-статистичний;
- вимірювально-статистичний;
- кібернетичний.

Основу будь-якого дослідження, у тому числі дослідження в процесі виконання судової експертизи, складає обрана дослідником методологія.

Одним із підходів експертизи письма і почерку є використання апарату *проективної геометрії*. Ця геометрія вивчає ті властивості фігур, які зберігаються при послідовному виконанні ряду центральних проєкцій. У проєктивній геометрії немає різниці не тільки між паралельними і непаралельними прямими, між тією частиною площини, яка знаходиться перед нашими очима, і тією її частиною, яку ми мислимо нескінченно віддаленою.

При використанні апарату проєктивної геометрії, отримані в результаті роздільного дослідження графічні характеристики почерку, яким виконаний досліджуваний документ, зразки почерку особи, підозрюваного в його виконанні, зіставляються таким чином, щоб їх координатні осі збігалися. Потім через однойменні точки графічних характеристик досліджуваних ознак проводяться промені. Якщо вони перетинаються в одній точці, то обидва пучки променів проєктивні, отже, записи виконані особою, зразки почерку якого представлені для порівняння. Якщо прямі, проведені через однойменні точки, не перетинаються в одній точці, то тут відсутня проєктивна відповідність. Така невідповідність свідчить про виконання порівнюваних почерків різними особами.

На жаль, цей метод має істотні недоліки, недбале виконання креслення впливає на об'єктивність результатів дослідження.

Розвиток науки передбачає постійне вдосконалення методів криміналістичних досліджень. Тож у наш час стрімкого розвитку обчислювальної техніки важливим є використання у судово-почеркознавчих дослідженнях математичних методів та можливість їх автоматизації.

### **Література**

1. Судово-експертна діяльність: сучасний стан та перспективи розвитку: збірник матеріалів круглого столу. / редкол.: Кобилянський О.Л., Антонюк П.Є., Свобода Є.Ю.; Київ. ННПФЕКП НАВС. – К.: Навчально- науковий інститут підготовки фахівців для експертно-криміналістичних підрозділів Національної академії внутрішніх справ, 2015. – 444 с.
2. Меленевська З. С. Судово-почеркознавча експертиза: Навч.-метод. посіб. / З.С. Меленевська, Є.Ю. Свобода, А.І. Шаботенко; [За заг. ред. І. П. Красюка]. – Укр. центр духовн. культури, 2007. – 280 с.

## АПАРАТ НЕКЛАСИЧНИХ МАЖОРАНТ І ДІАГРАМ НЬЮТОНА ФУНКЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ ЗМІННОЇ

В [1-2] розглянуто побудову апарату неklasичних мажорант і діаграм Ньютона функцій однієї дійсної змінної, заданих таблично.

В доповіді розглядається побудова апарату неklasичних мажорант і діаграм Ньютона для однозначних неперервних функцій комплексної змінної  $f(u) = f(x + iy)$ ,  $(x, y) \in D$ . Де  $D$  замкнута опукла множина комплексної площини, і  $|f(u)| \leq M$ , де  $M$  деяка стала.

Розглянемо неперервну функцію комплексної змінної  $f(u) = f(x + iy)$ ,  $(x, y) \in D$ . Нехай  $(x_k, y_j) \in D$ ,  $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$ , тоді через  $u_{kj} = x_k + iy_j$  позначимо точку комплексної площини  $C$ .

Через  $\xi_{kj}$  позначимо значення модуля комплексної функції  $w = f(u)$  у точці  $u_{kj} = x_k + iy_j$ ,  $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$  із множини  $D$ , тобто

$$\xi_{kj} = \xi(x_k, y_j) = |f(u_{kj})| = \sqrt{[\varphi(x_k, y_j)]^2 + [\psi(x_k, y_j)]^2}, (k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m).$$

Точка  $(x_k, y_j, \xi_{kj}) \in R^3$ ,  $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$  є точкою на поверхні модуля комплексної функції  $w = f(u)$ .

Означення 1. Точку  $P_{kj}(x_k, y_j - \ln \xi_{kj})$  з координатами  $x = x_k$ ,  $y = y_j$ ,  $z = -\ln \xi_{kj}$  у просторі  $xuz$  назвемо *точкою зображення* значення комплексної функції  $w = f(u)$  у точці  $u_{kj} = x_k + iy_j$ ,  $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$ .

Припустимо, що точки зображення  $P_{kj}$  значень комплексної функції  $w = f(u)$  у точках  $u_{kj} = x_k + iy_j$ ,  $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$  побудовані. З кожної точки  $P_{kj}$  проведемо півпрямую в додатному напрямі осі  $Oz$ , перпендикулярно до площини  $xu$ . Множину цих півпрямих позначимо через  $S$ , а її опуклу оболонку – через  $C(S)$ . Для кожної точки  $(x, y) \in D$ , де  $D = \{x_0 \leq x \leq x_n, y_0 \leq y \leq y_m\}$ , визначимо точку  $B(x, y, \kappa(x, y))$ , де  $\kappa(x, y) = \inf_{(x, y, z) \in C(S)} z$ .

Множина точок  $B(x, y, \kappa(x, y))$ , де  $(x, y) \in D$ , утворює багатогранну поверхню  $\delta_f$ , яка обмежує  $C(S)$  знизу. Ця поверхня є неперервною, опуклою, і її рівняння має вигляд:

$$z = \kappa(x, y), (x, y) \in D.$$

Означення 2. Поверхня  $\delta_f$ , визначена на  $D$ , називається *діаграмою Ньютона* комплексної функції  $w = f(u)$  на  $D$ .

Діаграма Ньютона  $\delta_f$  функції  $\xi(x, y)$  (комплексної функції  $w = f(u)$ ) має такі властивості:

- кожна вершина  $\delta_f$  розміщена в одній із точок зображення  $P_{kj}$  значення комплексної функції  $w = f(u)$  в точці  $u_{kj} = x_k + iy_j$ ,  $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$ ;
- кожна точка зображення  $P_{kj}$  знаходиться на  $\delta_f$  або розміщена вище за неї;
- кожній точці  $(x_k, y_j) \in D$  відповідає  $B_{kj}(x_k, y_j, \kappa_{kj})$  – точка діаграми Ньютона

$\delta_f$ , де  $\kappa_{kj} = \kappa(x_k, y_j)$

Позначимо  $M_f(x, y) = \exp(-\kappa(x, y))$ ,  $(x, y) \in D$ .

Тоді для кожної точки  $(x_k, y_j) \in D$ ,  $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$  виконується нерівність  $|f(u_{kj})| = \xi(x_k, y_j) = \xi_{kj} \leq M_f(x_k, y_j)$ .

Справді, з побудови  $\delta_f$  випливає, що  $-\ln \xi_{kj} \geq \kappa(x_k, y_j)$ , або

$$\xi_{kj} \leq \exp(-\kappa(x_k, y_j)) = M_f(x_k, y_j)$$

Означення 3. Функція  $z = M_f(x, y)$ , визначена на  $D$ , називається *мажорантою Ньютона* комплексної функції  $w = f(u)$  на  $D$ .

Нехай  $M_f(x_k, y_j) = T_{kj}$   $(k = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m)$ .

Означення 4. Величини

$$R_{kj}(x) = \left( \frac{T_{k-1,j}}{T_{kj}} \right)^{\frac{1}{x_k - x_{k-1}}} \quad (k = 1, 2, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m; R_{0j} = 0)$$

і

$$R_{kj}(y) = \left( \frac{T_{k,j-1}}{T_{kj}} \right)^{\frac{1}{y_j - y_{j-1}}} \quad (j = 1, 2, \dots, m; k = 0, 1, \dots, n; R_{k0} = 0)$$

називаються  $(k, j)$ -ми *числовими нахилами мажоранти Ньютона*  $M_f(x, y)$  відповідно в напрямку осей абсцис і ординат, а величини

$$D_{kj}(x) = \frac{R_{k+1,j}(x)}{R_{kj}(x)} \quad (k = 1, 2, \dots, n-1; j = 0, 1, \dots, m; D_{0j} = D_{nj} = \infty)$$

і

$$D_{kj}(y) = \frac{R_{k,j+1}(y)}{R_{kj}(y)} \quad (j = 1, 2, \dots, m-1; k = 0, 1, \dots, n; D_{k0} = D_{km} = \infty)$$

називаються  $(k, j)$ -ми *відхиленнями мажоранти Ньютона*  $M_f(x, y)$  відповідно в напрямку осей  $Ox$  і  $Oy$ .

Із опуклості вниз діаграми Ньютона  $\delta_f$  випливають такі нерівності:

$$R_{kj}(x) \leq R_{k+1,j}(x) \quad (k = 0, 1, \dots, n-1; j = 0, 1, \dots, m),$$

$$R_{kj}(y) \leq R_{k,j+1}(y) \quad (j = 0, 1, \dots, m-1; k = 0, 1, \dots, n),$$

$$D_{kj}(x) \geq 1 \quad (k = 1, 2, \dots, n-1; j = 0, 1, \dots, m),$$

$$D_{kj}(y) \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, m-1; k = 0, 1, \dots, n).$$

Враховуючи, що неперервна функція комплексної змінної  $f(u) = f(x + iy)$  досягає свого найбільшого й найменшого за модулем значення в замкненій області  $D$ , то для побудови алгоритмів знаходження цих значень можемо скористатись властивостями числових нахилів та відхилень мажоранти Ньютона комплексної функції  $w = f(u)$  на  $D$ .

1. Цегелик Г.Г. Теория мажорант и диаграмм Ньютона функций, заданных таблично, и ее приложение // Укр. мат. журн.- 1989.- Т.41.- №9. с.1273-1276.
2. Цегелик Г.Г. Апарат неklasичних мажорант і діаграм Ньютона функцій, заданих таблично, та його використання в чисельному аналізі: монографія / Г.Г. Цегелик. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. — 190с.

## СИНТЕЗ ПРІОРИТЕТІВ ПРИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОМУ ОЦІНЮВАННІ

Людині у своїй діяльності для досягнення поставлених цілей приходится приймати рішення по усуненню проблемних ситуацій. Вирішення проблемної ситуації – це процес, який складається із певних етапів, кількість яких залежить від самої проблеми. Кінцевим етапом вирішення проблемної ситуації являється задача вибору із допустимої множини альтернативних варіантів. Нерідко трапляються випадки, коли приходится вибирати не єдине рішення, а цілий набір рішень. Як правило, результат вирішення будь-якої проблеми оцінюється за декількома показниками. Тому, на практиці приходится зустрічатись із задачами вибору, які переслідують декілька цілей, що описуються різними критеріями і називаються задачами багатокритеріальними вибору.

Постановка задачі багатокритеріального вибору: нехай відома скінчена множина альтернативних рішень  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , яка оцінюється за допомогою скінченої множини критеріїв(показників)  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ , необхідно проранжувати множину альтернативних рішень, враховуючи значення оцінок за критеріями. Математичну модель такої задачі багатокритеріального вибору запишемо у вигляді матриці рішень:  $O = (o_{ij} = K_i(a_j))(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n};)$ .

Порівняння альтернативних варіантів за перевагами здійснюється на основі співставлення їх векторних оцінок. Таким чином, виникає проблема оцінки коефіцієнтів пріоритетності, яка представляє собою окрему науково-методичну задачу. Модель даної задачі опишемо у вигляді матриці пріоритетів [1], що являється інструментом за допомогою якого можна ранжувати за ступенем важливості дані і інформацію. Як правило, упорядкування критеріїв за їх важливістю залежить від значень які приймають інші критерії. На основі матриці  $O$ , використовуючи деякі із способів нормування [2], отримаємо матрицю  $D = (d_{ij})(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n};)$ . На основі даної матриці побудуємо матрицю  $B$  наступним чином  $B = D \times D^T$ , де  $D^T$  - матриця транспонована до матриці  $D$ . Оскільки розмірність матриці  $D$   $m \times n$ , тоді розмірність матриці  $B$  буде відповідно  $m \times m$ . Елементи матриці  $B$  обчислюються наступним чином  $b_{ij} = \sum_{l=1}^n d_{il} \times d_{jl}$ . Як видно із даної формули матриця  $B$  є симетричною, тобто  $b_{ij} = b_{ji}$ . Інформаційний зміст матриці  $B$  це інтегральні оцінки важливості множини критеріїв на множині альтернатив. Щоб визначити пріоритети альтернатив відносно критеріїв, потрібно матрицю  $B$  обчислити наступним чином:  $B = D^T \times D$ .

Для синтезу пріоритетів наступним етапом є знаходження для матриці  $B$  власних значень. Для цього потрібно розв'язати наступне характеристичне(матричне) рівняння  $|B - \lambda \cdot E| = 0$ , де  $E$  - одинична матриця, а коренями  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$  – вектор власних значень. Однією з властивостей симетричних матриць є те, що всі їх власні значення є дійсними числами. Серед отриманих власних значень  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$  знаходимо найбільше і шукаємо відповідний йому власний вектор, розв'язавши наступне матричне рівняння:  $B \times Y = \lambda_{\max} \cdot Y$ .

Коефіцієнт важливості або пріоритету – це число, яке показує ступінь вагомості одних характеристик об'єктів перед іншими. Визначення важливості критеріїв пов'язано безпосередньо з правилом вибору. Розглянемо деякі способи описання відносної важливості критеріїв.

*Ряд пріоритету.* Ряд пріоритету  $L = \{1, \dots, m\}$  відображає упорядкування (ранжування) критеріїв по важливості. Ранжування може бути як строгим так і нестрогим.

*Вектор пріоритету.* У векторі пріоритету  $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_m)^T$ ,  $\eta_i$  показує для упорядкованих по важливості критеріїв, у скільки разів критерій  $K_i$  більш важливий, як критерій  $K_{i+1}$ .

*Ваговий вектор.* У ваговому векторі  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_m)^T$   $\alpha_i$  представляє відносну важність  $i$ -го критерію  $K_i$  по відношенню до всіх інших критеріїв. Із даного визначення випливає зв'язок між елементами вектора пріоритету та ваговим вектором:  $\alpha_i = \eta_i \alpha_{i+1}$ ,  $i = 1, m-1$ .

Опишемо алгоритм визначення пріоритетів для критеріїв у задачі багатокритеріального вибору:

*Крок 1.* Задати або визначити матрицю рішень  $O$ .

*Крок 2.* Провести нормалізацію матриці рішень  $O$  (перехід від матриці  $O$  до матриці  $D$ ).

*Крок 3.* Знайти матрицю  $B = D \times D^T$  або  $B = D^T \times D$ .

*Крок 4.* Для матриці  $B$  визначити максимальне власне значення і відповідний йому власний вектор  $Y = (y_1, \dots, y_m)^T$ .

*Крок 5.* Провести нормування власного вектора. Наприклад,  $w_j = \frac{y_j}{\max_j y_j}$ .

*Крок 6.*

а) Для побудови ряду пріоритетів необхідно проранжувати критерії відносно величин  $\{w_1, \dots, w_m\}$  у порядку спадання їх значень і побудувати ряд  $P = \{p_1, \dots, p_m\}$ , який відповідає упорядкованій множині індексів критеріїв.

б) Визначити вектор пріоритетів  $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_m)^T$  можна наступним чином:  $\eta_m = 1$ ,  $\eta_j = w_j / w_{j+1}$ ,  $j = 1, m-1$ .

в) Для визначення вектора ваг можна використати наступну формулу:  $v_j = \prod_{q=j}^m \eta_q (\sum_{i=1}^m \prod_{l=i}^m \eta_l)^{-1}$ ,  $j = 1, m$ . Побудований таким чином вектор  $v = (v_1, \dots, v_m)^T$  буде нормованим, тобто  $0 \leq v_j \leq 1$  і  $\sum_{j=1}^m v_j = 1$ .

Для визначення найбільшого власного значення і відповідного власного вектора (крок 4) використаємо метод ітерацій. Суть даного методу полягає в наступному:

- найбільше власне значення визначається

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m b_{ij} \cdot y_i^l;$$

- власний вектор визначається ітеративно

$$Y^l = B \cdot Y^{l-1}; Y^0 = (1, 1, \dots, 1)^T;$$

- ітеративний процес закінчується при виконанні умови

$$\max_i |Y^l - Y^{l-1}| \leq \varepsilon.$$

1. Маляр Н.Н. Подход к определению приоритетов альтернатив для задач многокритериального выбора / Н.Н.Маляр // Проблемы управления и информатики. – 2011. – № 4. – С. 63–67.
2. Маляр М.М. Моделі і методи багатокритеріального обмежено-раціонального вибору: Монографія / М.М. Маляр – Ужгород: РА “АУТДОР-ШАРК”, 2016. – 222 с.

## **ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕДУР ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

В процессе построения процедур принятия решений при обработке данных возникают ситуации, когда отсутствует информация о функциях распределения вероятностных событий, а задаются только различия между ними. В данных случаях целесообразно использовать методы непараметрической статистики.

Можно выделить основные типы непараметрических задач, которые могут решаться при выполнении анализа экспертной информации.

- задачи оценивания неизвестных распределений [5, 6];
- задачи оценки параметров [5];
- проверка непараметрических гипотез [1, 5].

Последний класс непараметрических задач в настоящее время наиболее развит и широко используется на практике. Любая задача проверки непараметрических гипотез выглядит следующим образом. Из двух конкурирующих гипотез альтернатива всегда непараметрическая, а нулевая гипотеза может быть либо простой, либо непараметрической. Поскольку, по крайней мере, одна гипотеза есть класс неизвестных распределений, различие между гипотезами задается в некотором общем виде, не связанном с конкретным видом функции распределения [2]. Требуется предложить процедуру, результатом которой явилось бы решение об истинности одной из гипотез на основании предъявленной выборки (или нескольких выборок - при задачах, в которых обрабатываются несколько выборок).

Для решения этого класса задач используется ряд непараметрических методов и критериев проверки гипотез, основными из которых являются: критерий сумм рангов Уилкоксона; критерий знаков Фишера; критерий Гупты; критерий Ансари-Бредли; критерий Краскела-Уолиса; критерий Фридмана; критерий Колмогорова-Смирнова. Эти непараметрические методы являются наиболее распространенными, и эффективно применяются в разнообразных ситуациях [3, 5, 6].

Для решения задач проверки гипотез был разработан программный комплекс. Главной частью программного комплекса является библиотека классов NonParametricLibrary.dll. В ней сохраняется иерархия классов, которая осуществляет анализ данных с помощью непараметрических методов. Каждый метод это отдельный класс. Данный программный комплекс может использоваться автономно, а может применяться в качестве подсистемы непараметрического оценивания в автоматизированных системах обработки экспертной информации и системах поддержки принятия решений.

### **Литература**

1. Леман Э. Проверка статистических гипотез. [Текст] / Э. Леман // М. : Финансы и статистика, 1964.
2. Орлов А.И. Теория принятия решений. [Текст] Учебное пособие. / А.И. Орлов // - М.: Издательство "Март", 2004.
3. Рунион Ф. Справочник по непараметрической статистике. Пер с англ. [Текст] / Ф.Рунион // – М.:Финансы и статистика, 1982. – 198с.
4. Тарасенко Ф.П., Непараметрическая статистика. [Текст] /Ф.П. Тарасенко // – Томск,: ТГУ, 1976.
5. Тюрин Ю.Н., Непараметрические методы статистики. [Текст] / Ю.Н.Тюрин // – М.: «Знание» 1978.
6. Холлендер М.. Непараметрические методы статистики [Текст] / М.Холлендер, Д.А Вулф // М.: Финансы и статистика, 1983 г.



## **СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФІНАНСОВОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВ**

Негативні наслідки світової фінансової та економічної кризи призвели до загострення проблеми банкрутства, яка стала однією з найбільш актуальних для України та інших країн світу. Тривалий процес адаптації до ринкових умов господарювання, нестабільність економіки і законодавства, дефіцит інвестиційних ресурсів призводять до того, що значна кількість підприємств опиняються у кризовому стані, який здебільшого випадків закінчується банкрутством. В умовах нестабільного зовнішнього середовища перед підприємством постає завдання проведення постійного моніторингу діяльності, виявлення та оцінки можливих напрямків розвитку.

Вітчизняна методологія оцінки кризового стану не відповідає сучасним вимогам господарювання підприємств, а зарубіжний досвід не повною мірою адаптований до українських законів й основних положень бухгалтерського обліку та аудиту. Це зумовлює потребу в розробленні вітчизняної моделі аналізу схильності підприємства до банкрутства, яка б враховувала галузеву специфіку, стадії розвитку кризи, поточні результати діяльності, давала точну та об'єктивну оцінку кризового стану, на основі розрахунку ключових індикаторів і показників. Залежно від напрямку дослідження (функціонального спрямування оціночних показників) методичні підходи до проведення діагностики можуть бути орієнтовані на дослідження таких сфер діяльності підприємства, як:

- 1) фінансово-майновий стан;
- 2) результати господарської діяльності підприємств з окремих напрямів (операційної, фінансової, інвестиційної);
- 3) організація управління підприємством;
- 4) ресурсний потенціал підприємств;
- 5) комбінований підхід.

Найбільш коректним та доцільним для використання вважається комбінований підхід, який дає можливість узагальнити усі складові виникнення та перебігу кризових явищ. Найменш вдалим варіантом є використання тільки фінансових показників, які обчислюються на підставі балансу підприємства, оскільки вони лише констатують становище, що склалося, і не дають змоги встановити фактори, що його спричинили. Навіть для експрес-діагностики доцільним є сумісне використання фінансових та економічних показників.

Але для українських підприємств використання сучасних методів і моделей аналізу досі залишається проблемою, по-перше, через нестабільність і недосконалість нормативно-законодавчої бази банкрутства українських підприємств; по-друге, через відсутність урахування багатьох факторів, що впливають на фінансову стійкість підприємств; по-третє, через необ'єктивні дані стосовно статистики банкрутств. Крім того, ці моделі будують на основі дискримінантного методу за статистичними даними підприємств конкретної країни, тоді як використання моделей обмежене межами цієї країни. Також, вагоме значення мають якість фінансово-звітної документації та ступінь інформативності статистичних даних і коефіцієнтів, на які спираються моделі. Ці моделі можна буде використати як підхід до побудови системи оцінювання ймовірності банкрутства, але необхідно враховувати особливості національної економіки.

Більшість моделей побудована на тому, що виділяється певний фактор. Так деякі моделі, орієнтовані на фактор фінансової стійкості, що пов'язаний із фінансовою структурою підприємства, ліквідністю, залежністю підприємства від кредиторів. Сюди належать: показник діагностики Конана і Гольдера та модель Тафлера [1]. У цих моделях під час прогнозування банкрутства автори надають перевагу показникам ліквідності, короткострокової та довгострокової заборгованості, платоспроможності.

Деякі моделі оцінюють схильність підприємства до банкрутства на основі показників ділової активності та рентабельності. У таких моделях зазначені показники домінують як за кількісним складом, так і за важливістю впливу на остаточний результат моделі. До таких моделей можна зарахувати модель Альтмана, модель Спрінгейта та модель Ліса. [1]

Були розглянуто і проаналізовано моделі, їх недоліки й переваги та можливості їх використання в аналітичній системі. Це дає підставу зазначити, що в Україні без модифікації та адаптації їх ефективне використання практично не можливе

Для оцінювання фінансового стану підприємства в сучасних умовах була розроблена інформаційна система підтримки прийняття рішень на основі системного використання методів і моделей, а також оцінювання фінансової стійкості, платоспроможності і ліквідності підприємства. Яка забезпечує керівництво підприємства оперативною інформацією, та дозволяє приймати управлінські рішення щоб запобігти негативним впливам зовнішнього середовища.

Система підтримки прийняття рішень складається з наступних модулів: модуль формування бази даних, модуль вибору даних для моделювання, модуль моделювання, модуль аналізу та порівняння результатів моделювання, модуль прогнозування та порівняння результатів, модуль прийняття рішень про фінансовий стан підприємства.

СППР реалізує можливість побудови регресійних (множина, змішана, авторегресія, моделі з лагами) моделей для прогнозування коефіцієнта платоспроможності на основі реальної вибірки балансових даних підприємств, а також дає змогу прогнозувати за допомогою метода Альтмана та нечіткими методами.[2] Використовуються наступні регресійні моделі: множина регресія; авторегресія; змішана регресія; регресійні моделі з лагами. Для прогнозування ризику банкрутства підприємств всіх галузей до СППР включено нечіткі методи прогнозування і Байесові мережі.

Створена інформаційна система призначена для моделювання та прогнозування економічного стану підприємства на основі системного використання методів нечіткого моделювання, та регресійних моделей а також моделі Альтмана. Це дає змогу отримати повну картину фінансового стану підприємства та зробити прогноз щодо розробки подальшої стратегії розвитку підприємства.

### Література

1. Азарова А.О. Математичні моделі та методи оцінювання фінансового стану підприємства / А. О. Азарова, О. В. Рузакова. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 172 с.
2. Бідюк П. І. Аналіз часових рядів : навчальний посібник / Бідюк П.І., Романенко В.Д., Тимошук О.Л. – Київ : Політехніка, 2010. – 317 с.

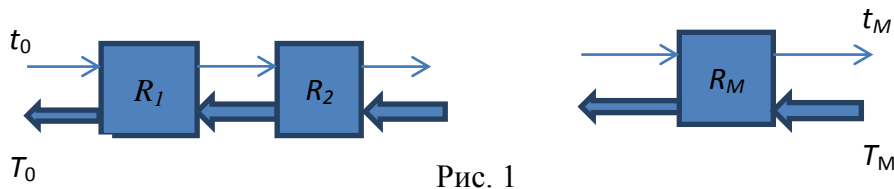
## **СИНТЕЗ ОДНОГО КЛАСУ ТЕПЛООБМІННИХ СИСТЕМ, ЯК ЗАДАЧА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Теплообмінники та теплообмінні системи (ТС) широко використовуються в багатьох технологічних процесах хімічних, нафтопереробних та інших галузях промисловості. Проектування ТС – складна багаторівнева оптимізаційна задача, в якій необхідно врахувати багато параметрів. Тому для різних застосувань розробляються математичні моделі ТС різної складності [1,2].

В даній роботі розглядається один клас задач, який часто зустрічається на практиці. В ТС, який складається з  $M$  теплообмінників  $R_1, R_2, \dots, R_M$ , поступає холодний потік  $X$  при температурі  $t_0$  та  $N$  гарячих потоків  $G_1, G_2, \dots, G_N$  з температурами відповідно  $T_0 (T_{1,0}, T_{2,0}, \dots, T_{N,0})$ . Задані також технологічні параметри всіх потоків. В ТС холодний потік потрібно нагріти до температури  $t_M$  за рахунок тепла гарячих потоків, для яких задані бажані температури на виході  $T_M (T_{1,M}, T_{2,M}, \dots, T_{N,M})$ .

Якщо фізичні обмеження теплообміну не дозволяють отримати задані вихідні температури або це недоцільно по економічним причинам, то потоки після виходу з ТС поступають у зовнішню підсистему, яка містить нагрівачі та холодильні апарати, в яких температури потоків доводяться до потрібних значень.

В загальному випадку вважаємо, що кожний гарячий потік після виходу з деякого теплообмінника може поступити знову на вхід іншого теплообмінника. Достатньо розглядати лише випадок загального протипотоку потоків, коли холодний потік послідовно проходить теплообмінники  $R_1, R_2, \dots, R_M$ , а гарячі потоки проходять ТС в протилежному напрямку  $R_M, R_{M-1}, \dots, R_1$  (прямоток потоків з точки зору передачі тепла менш ефективний):



Структуру (топологію) ТС можна описати за допомогою булевих змінних

$$u_{ki} = \{0, 1\}, \quad k=1, 2, \dots, M; \quad i=1, 2, \dots, N.$$

Якщо в теплообмінник  $R_k$  поступає у  $i$ -ий гарячий потік, то  $u_{ki} = 1$ , якщо ні, то  $u_{ki} = 0$ . При цьому повинні виконуватись обмеження

$$\sum_{i=1}^N u_{ki} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, M.$$

В задачах синтезу ТС незалежними змінними є  $u_{ki}$  і конструктивні параметри теплообмінників (площа поверхні теплообміну  $F_i$  та інші). Проектування ТС зводиться до розв'язування комплексу взаємозв'язаних задач:

А) Синтез оптимальної структури ТС при заданих конструктивних та технологічних обмеженнях. Критерієм оптимальності є зведені витрати на всю систему, які включають капітальні вкладення і експлуатаційні витрати.

В) Пошук оптимальних значень конструктивних параметрів теплообмінників ( $F_i$  та інші).

С) Тепловий та економічний розрахунок ТС з фіксованою структурою.

Для розв'язування задачі синтезу ТС можна застосувати різні підходи:

- Проблема розглядається, як багатокроковий процес прийняття рішень і її можна звести до задачі динамічного програмування;
- Задача синтезу ТС зводиться до задачі дискретного оптимального управління [3];
- Будується набір евристик, які базуються на інженерному досвіді проектувальників (реалізація такого підходу досить проста, але має меншу точність);
- Використання генетичних алгоритмів для пошуку оптимальної структури ТС;
- Використання комбінаторних методів.

Задача синтезу ТС – складна, комплексна проблема, яка не може бути розв'язана лише в автоматичному режимі. Тому пропонується програмна система, яка для пошуку оптимальної структури ТС реалізує різні методи та їх комбінації, а проектувальник в інтерактивному режимі оперативно може втручатись в роботу програми.

### **Література**

1. Головач И.И. Решение задач синтеза теплообменных систем // Доклады АН УССР, - 1983. №3. – с.64-67.
2. Виктор В. К., Ананченко И. В. Синтез оптимальных систем теплообменников : Практикум / СПбГТИ. Каф. систем. анализа. СПб. 2015. – 25 с.
3. Каневец Г.Е., Зайцев И.Д., Головач И.И. Введение в автоматизированное проектирование теплообменного оборудования // Киев: «Наукова думка», 1985. – 230с.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗНИХ ОЦІНОК ДЕРИВАТИВІВ

Зараз існують тільки моделі оцінки так званої «справедливої вартості» європейських, та американських опціонів за допомогою квазілінійного рівняння Блека-Сколза анти дифузійного типу та його модифікації для азійських опціонів. Виведення цих рівнянь базується на моделюванні ціноутворення базового активу як процесу Іто (тобто процесу «без пам'яті») в рамках ЕМН з подальшим використанням леми Іто, припущення про існування без ризикової ставки дохідності та без ризикових портфелів, відсутності трансакційних витрат, а також неможливості арбітражу.

В сучасних умовах всі згадані вище припущення є досить грубими і не дають можливості прогнозування цін деривативів для різних інвесторів з «довгим», «коротким», та «миттєвим» інвестиційними горизонтами.

Постановка задачі. Розробити моделі прогнозів оцінки різних типів деривативів за допомогою рівнянь у дробових похідних, які могли б працювати в режимі реального часу.

Математична модель. На основі крос-секційного аналізу фрактальних нееквідентентних часових рядів біржових угод, що вже здійснені, та деякого аналогу другого закону Фіка, було отримано сімейство «анти дифузійних - хвильових» рівнянь у дробових похідних з параметрами  $0 < \gamma \leq 2$ ,  $1 \leq \alpha \leq 2$ ,  $-1 \leq \beta \leq 1$ , де  $\alpha$  – дробовий порядок похідної по простору;  $\beta$  – кутовий коефіцієнт тренду базового активу;  $\gamma$  – дробовий порядок похідної по часу. Дробова похідна по простору виникає у випадку фрактальної середи, параметр похідної залежить від розмірності Гаусдорфа-Безиковича. Дробова похідна по часу виникає в першу чергу від нееквідентентності згаданих вище часових рядів.

Якщо  $\alpha = 2$  та  $\gamma = 1$ , рівняння набуває вигляд, близький до класичного рівняння Блека-Сколза. У випадку  $1 < \alpha < 2$  ціни змінюються швидше, ніж за прогнозом класичної моделі. При  $\alpha = 1$  теоретично повинно було бути щось близьке до флету, але на практиці цей режим не зустрічався. Для будь-якого значення параметра  $\alpha$  отримуємо для параметра  $\gamma$ :

Якщо  $0 < \gamma < 1$  – маємо режим «субантидифузії», в якому показник Херста часового ряду дериватива монотонно спадає з часом.

Якщо  $1 < \gamma < 2$  – маємо режим «суперантидифузії», в якому показник Херста часового ряду дериватива монотонно зростає з часом.

Якщо  $\gamma \rightarrow 2$ , то отримуємо рівняння хвильового типу.

Висновки. Отримано сімейство «антидифузійних - хвильових» рівнянь у дробових похідних та застосовано чисельні методи їх розв'язання з метою прогнозування цін деривативів для інвесторів з «довгим», «коротким» та «миттєвим» інвестиційними горизонтами. Разом з іншими методами він дозволяє в певному об'ємі підібрати оптимальну інвестиційну стратегію.

## Література

1. Seydel, R. Tools for Computational Finance / R. Seydel. – Berlin : Springer, 2009. – 357 p.
2. Алєроєв Т.С., Зєвєєв Е.М., Лєрїєв Е.А. Дробное исчисление и его применение. Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 37. 26 с.
3. Бєєв А.Д., Орлов Ю.Н. Эмпирическое уравнение Фоккера-Планка для прогнозирования нестационарных временных рядов. Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 3. 30 с.
4. Зєнюк Д.А., Орлов Ю.Н. О применении дробного исчисления Римана — Лиувилля для описания распределений вероятностей Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2014. № 18. 21 с.
5. Распределения показателя Херста нестационарного маркированного временного ряда. Д.С.Кириллов [и др.] Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 11. 16 с.

## **СТОХАСТИЧНИЙ АНАЛІЗ АКТИВНОГО РЕЗЕРВУ**

Міністерство оборони (Department of Defense, DoD) відповідає за підготовку збройних сил для майбутнього, яке є невизначеним і невідомим. DoD типово оцінювало майбутні потреби і спроможності, виходячи з репрезентативних сценаріїв планування. Такий підхід забезпечує спільну точку зору персоналу DoD з деяких узгоджених ситуацій, але прийняття рішень при такому підході до невизначеності вимагає оцінювання наслідків для розподілу можливих майбутніх подій. Стохастична модель активного резерву (Stochastic Active-Reserve Analysis, SARA) Інституту оборонних аналізів (Institute for Defense Analyses, IDA) США спрямована на модифікацію існуючої конструкції планування DoD як засобу оцінки альтернативних силових структур, що може забезпечувати аналітичну базу для рішень DoD з розміщення ресурсів, вибору обсягу та управління військовими силами в умовах невизначеності. Зазначена модель була спочатку побудована для організації з оцінки витрат та оцінювання програм Офісу Міністра оборони (Office of the Secretary of Defense, Cost Assessment and Program Evaluation, OSD CAPE), щоб проаналізувати компроміси між альтернативними комбінаціями активного резерву, коли попит (на силові структури) є невизначеним. Проте SARA може використовуватися для перевірки багатьох варіантів комбінування загальних сил і для відповіді на такі питання:

- як змінюються величина і вірогідність попиту на військові підрозділи, виходячи з наявних наукових шкіл і припущень про майбутній світ, військову стратегію та планування сил;
- як змінюватиметься і скільки коштуватиме досяжна пропозиція військових одиниць, здатних розгортатися, в залежності від альтернативних програм і стратегій щодо структури сил, комбінації активних резервів, готовності та стратегії управління силами;
- при яких обставинах пропозиція сил буде достатньою для задоволення попиту;
- наскільки типовими і великими є проєктовані нестачі окремих підрозділів.

OSD CAPE звернулася до IDA стосовно розробки моделі SARA, очікуючи, що у найближчі десятиліття DoD зіштовхнеться з великою кількістю рішень, які потребуватимуть ретельного аналізу. Сьогодні головні нагальні рішення пов'язані зі зниженням цільових потужностей (військових) служб. Майбутні рішення ускладнюватимуться поточними бюджетними тисками, світовими подіями, новими технологіями і новою стратегією національної безпеки. CAPE вважає, що інвестиції в аналітичну спроможність моделі SARA допомагатиме інформувати й доповнювати процеси прийняття рішень DoD, досягаючи ефективніших за вартістю загальних сил.

Модель SARA може служити таким важливим функціям управління:

- забезпечення спільного початку відліку для проведення аналізів альтернативної структури активного компонента (active component, AC) і резервного компонента (reserve component, RC), готовності та стратегій управління силами;
- сприяння комунікації у DoD щодо відкритих кейсів планування, які надає SARA зі спільною для персоналу DoD множиною припущень, правил і даних;
- оцінювання наслідків невизначеності для планування сил DoD;
- демонстрування і пояснення відмінностей між службами при виборі структури та управління активних і резервних сил;
- забезпечення випробувального стенду для створення й оцінювання ідей з цілями розвитку стратегій і програм, а також з навчальними цілями.

Побудована модель як структура, в якій користувач надає входи, що відповідають на кілька питань з боку попиту і пропозиції. З боку попиту цими питаннями є:

- що, на думку користувача, трапиться в майбутньому;
- наскільки ймовірною є кожна обставина;

- який перелік сил потрібен, щоб впоратися з кожною непередбачуваною обставиною.

З боку пропозиції такими питаннями є:

- наскільки великими є сили користувача;
- яку комбінацію сил планує користувач;
- яким чином користувач планує управляти своїми силами;
- якими є мобілізаційні стратегії користувача;
- якими є ротаційні стратегії користувача;
- як користувач вибудовує свою лінію підготовки сил і за яких умов можна її

скорочувати;

- якими є витрати на сили користувача.

Модель використовує ці входи для імітації 10 тисяч 20-річних майбутностей і пропозицій наявних сил, щоб задовольняти змінні потреби для кожної майбутності. Модель відслідковує нестачі у кожній майбутності, а також витрати, пов'язані з розташуванням і розгортанням (сил), дозволяючи демонструвати компроміси між вартістю і ризиком (вимірюваним як незадоволений попит). Крім вартості і ризику, модель також відстежує напруження сил. Методологічно SARA включає блок входів (модель попиту, що генерує попит на сили), блок моделей управління задіяними силами і блок виходів (модель, що відстежує фінансову вартість цих сил).

Входи SARA вказують діапазон операцій, частоту та очікувану тривалість операцій, список військ для кожної операції, на основі чого моделюється попит (на активний резерв) – 10 тисяч 20-річних майбутностей. Входи також вказують структуру сил, стратегію управління силами, вимоги до підготовки (сил), рівень розгортання, порядок розгортання, використання резервних компонентів, на основі чого, з урахуванням попиту, генеруються пропозиції – підрозділи, готові задовольняти помісячний попит. Нарешті, входи вказують склад підрозділів, вартість персоналу, обладнання, підготовки тощо, на основі чого, з урахуванням пропозицій, генеруються вартості підрозділів у кожному стані готовності, використовуючи модель AC/RC вартості армії.

Виходами SARA є ризик (незадоволений попит, напруження сил), вартість (20-річний розподіл витрат, зокрема витрати воєнного часу), границя ризику і вартості (структури сил, що мінімізують вартість з даним ризиком, а також ризик з даною вартістю). Кожний блок SARA здійснює аналіз на рівні підрозділу. Для застосування моделі SARA користувач має спершу вирішити, які типи підрозділів аналізувати та на якому рівні (бригади, батальйону чи роти). Водночас SARA може подовжуватися на найменші рівні цілісних підрозділів, які разом тренуються й розгортаються. Оскільки SARA моделює кожний тип підрозділу незалежно від інших, то можна оцінювати певні типи підрозділів на різних рівнях. Усі підрозділи даного типу мають оцінюватися на однаковому рівні.

SARA дозволяє планувати сили за невизначеності, моделюючи попит на структуру сил як функцію ймовірності різних видів операційної діяльності, що мають місце у даному місяці. Для кожного виду операцій задається діапазон операцій і вказується вимога до умовної військової одиниці. Гнучко моделюється процес генерування збройних сил й оцінюється здатність різних силових структур задовольняти попит. Кожна з цих силових структур концептуально пов'язується з конкретною операційною вартістю і вимогою до підбору персоналу. Ефективність конкретної силової структури вимірюється ступенем, до якого вона задовольняє операційні вимоги. Імітація 10 тисяч можливих майбутностей дозволяє оцінювати розподіл операційних нестач, а відтак і ризиків, пов'язаних з альтернативними силовими структурами. Також оцінюється вартість кожної силової структури. Це дозволяє характеризувати кожен силову структуру у просторі ризику та вартості при даній множині операційних ймовірностей та ідентифікувати силові структури на ефективній границі. Врешті-решт, порівнюючи ефективні границі, пов'язані з різними припущеннями стосовно операційних ймовірностей, можна побачити, як обсяг сил і вартість, пов'язана з даним рівнем ризику, залежать від очікувань щодо природи майбутніх вимог.

## **КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Наукові дослідження систем, суттєвими елементами яких є люди, тобто систем, функціонування та розвиток яких неможливий без людського суспільства, були і залишаються актуальними. Такі системи є складними. Загальні принципи їх математичного описання ще не розроблені, тому моделі таких систем часто-густо не можуть конкурувати за рівнем досконалості, наприклад з моделями фізичних систем, але їх розробка є надзвичайно важливою для підтримки прийняття управлінських рішень. Саме такими системами є економічні системи, динаміку яких можна вивчати на різних рівнях агрегування та формалізації.

Запропоновані нижче результати пов'язані з математичним моделюванням економіки як складної динамічної системи, компонентами якої є зокрема, еколого-економічні та соціально-економічні підсистеми. Розроблено комплекс моделей економічної динаміки у просторі показників економічної структури суспільства (рівнів добробуту або капіталозабезпечення елементів суспільства, наприклад сімей) [1-3]. Особливість цих моделей полягає у тому, що вони можуть бути зведені до моделей з «мінімально» та «максимально» структурованим суспільством, тобто до моделей з агрегованою та деталізованою економічною структурою. За своєю сутністю всі ці моделі є імітаційними і служать для якісного аналізу реальних економічних процесів і явищ, встановлення закономірностей та тенденцій економічного розвитку, а в кінцевому результаті – розробки загальної експертно-інформаційної системи аналізу, прогнозування та регулювання економіки як на регіональному, так і на макрорівні, зокрема економіки України.

У математичному плані моделі є нелінійними системами диференціальних рівнянь, успішне розв'язання яких залежить як від наявного інформаційного, так і відповідного математичного забезпечення. Верифікація деяких параметрів цих моделей здійснюється як за допомогою методів експертного оцінювання, так і в процесі проведення імітаційних експериментів з моделями. Те інформаційне забезпечення, яке включає реальні статистичні дані, теж потребує зазвичай відповідного експертного оцінювання, «згладжування» та «екстраполяції», оскільки не завжди є «повним» і адекватним. Застосування цих моделей для дослідження економіки України дозволяє виявити ряд характерних ознак сучасної економічної реальності нашої країни, у тому числі наявність низькопродуктивних і високопродуктивних станів рівноваги, варіанти можливих переходів від одних станів до інших, шляхи вдосконалення та росту економіки, а також досягнення нею бажаних термінальних станів.

### **Література**

1. Григорків В. С. Моделирование взаимодействия легальной и теневой экономик на макроуровне / Григорків В. С., Буяк Л. М., Паучок В. К. // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – №1. – С. 127-136.
2. Григорків В. С. Моделирование динамики эколого-экономических систем с учетом экономической структуризации общества. Часть 1 / Григорків В. С., Григорків М. В. // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2015. – №2. – С. 128-137.
3. Григорків В. С. Моделювання економічної динаміки з урахуванням ринку землі сільськогосподарського призначення [Монографія] / В. С. Григорків, Л. М. Буяк, С. В. Іщенко – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2015. – 264 с.



## **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ФУНКЦІЙ ЕКОНОМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ**

Принципово важливу роль при дослідженні економіки відіграють функції економічної поведінки як моделі функціональних зв'язків між економічними, еколого-економічними, соціально-економічними змінними. По-перше, вони є окремими моделями, які дозволяють не тільки описати залежність одних змінних від інших і вивчити специфіку цих залежностей, зокрема різноманітні маржинальні властивості, а, по-друге, – вони є невід'ємними складниками багатьох структурних моделей економіки, основні співвідношення яких не можуть бути формалізовані без цих функцій. Це особливо стосується динамічних моделей, адже зазвичай права частина рівняння динаміки тієї чи іншої економічної змінної суттєво залежить від різниці деяких функцій економічної поведінки. Нижче проаналізовано деякі підходи до моделювання динамічних функцій економічної поведінки.

Одним із класичних підходів до моделювання динамічних функцій економічної поведінки є підхід, який часто використовують у теорії виробничих функцій для формалізації впливу на ефективність виробництва так званого науково-технічного прогресу або економіки знань. Цей підхід пов'язаний із введенням динамічного мультиплікатора для статичної функції економічної поведінки або її аргументів. Такий підхід часто використовується при моделюванні динамічних макровиробничих функцій та дослідженні процесів впливу на економіку науково-технічного прогресу.

Інший підхід до моделювання динамічних функцій економічної поведінки, зокрема деяких, можна запропонувати, базуючись на теорії функцій структурного типу, тобто функцій, які неявно описуються структурними моделями того чи іншого класу, наприклад оптимізаційними моделями. Одним із припущень у таких моделях є припущення про те, що час є обмеженим ресурсом, тому разом з іншими незалежними від нього ресурсами формує відповідну допустиму множину моделі. В ідейному плані функції структурного типу є перспективним інструментарієм в економіко-математичних дослідженнях, зокрема вони можуть ефективно використовуватися для якісного аналізу процесів, що функціонують у системах еколого-економічної та соціально-економічної взаємодії.

Якщо аргументами функцій економічної поведінки є не тільки ті чи інші економічні, еколого-економічні чи соціально-економічні фактори, але й їх динамічні аналоги, що відображають зміну цих факторів у часі, то такий підхід до моделювання функцій економічної поведінки концептуально відрізняється від вищеназваних підходів. Інакше кажучи, у рамках даного підходу деяка функція економічної поведінки  $f^{(en)}$  формалізується у вигляді  $f^{(en)} = f^{(en)}(x_1, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n)$ , де аргументи  $x_j$  та  $\dot{x}_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) означають відповідно деякий  $j$ -тий фактор економічної, еколого-економічної чи соціально-економічної системи та його «інвестиційний аналог».

У деяких дослідженнях нам можуть бути потрібні лише значення функції економічної поведінки у конкретні моменти часу на деякому часовому інтервалі. Тоді фактично ми маємо справу з функцією економічної поведінки  $\varphi^{(en)}$  як із функцією змінної часу  $t$ , тобто  $\varphi^{(en)} = \varphi^{(en)}(t)$ ,  $t \in [0, \tau]$ , де  $[0, \tau]$  – заданий скінченний проміжок часу (у теоретичних дослідженнях часто  $t \in [0, \infty)$ ). Інакше кажучи у цих випадках йдеться про динамічні ряди, рівні яких (числові значення) є значеннями конкретної функції економічної поведінки у певні моменти або за певні інтервали (періоди) часу.

Застосування цих підходів продемонстровано на конкретних прикладах.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДВОПРОДУКТОВОЇ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ТЕРМІНАХ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

У доповіді проаналізовано на основі дискретних оптимізаційних моделей поведінку двопродуктових систем, що розвиваються, із урахуванням зовнішнього впливу.

Системи, що розвиваються (СР) або еволюційні системи (ЕС) – загальне поняття, введене в науковий обіг академіком Глушковым В.М. наприкінці ХХ ст. для вивчення загальних властивостей функціонування будь-яких економічних, біологічних, екологічних систем в цілому чи конкретних підприємств, організацій, організмів зокрема. На сьогодні дослідження цих динамічних моделей розвинулося в окрему наукову галузь – математичну теорію розвитку [1, 2]. Поведінку даних досі описували за допомогою інтегральних рівнянь Вольтерра другого типу. Очевидно, що є актуальним дослідження СР методами дискретної оптимізації, які володіють рядом унікальних властивостей [3, 4], допомагають краще зрозуміти їх поведінку та наочно продемонструвати дію законів оптимального розвитку системи.

Мета роботи – знайти оптимальний розподіл зовнішніх та внутрішніх ресурсів СР для отримання найбільшого виходу кінцевих продуктів на заданому проміжку планування.

Виклад основних положень. Двопродуктова СР складається з двох підсистем – підсистеми самовдосконалення  $A$ , яка виготовляє продукти I роду, необхідні для функціонування самої системи (вимірюються у робочих місцях (РМ)), та підсистеми виконання головної функції  $B$ , що випускає продукти II роду (детальний опис див. у [2, 6]). Час моделювання будемо вважати дискретним, розбитим на  $n$  періодів, які не обов'язково рівні, таким чином всі функції втрачають властивість неперервності. Найпростішу модель двопродуктової СР, на діяльність впливає зовнішній ресурс, можна записати рекурентними співвідношеннями (1)-(5):

$$m(t_j) = \alpha y_{j-1} m(t_{j-1}) + x_j f, \quad (1)$$

$$c(t_j) = \beta (1 - y_{j-1}) m(t_{j-1}) + k_c (1 - x_j) f, \quad (2)$$

$$M(t_n) = \sum_{j=1}^n m(t_j), \quad (3)$$

$$C(t_n) = \sum_{j=1}^n c(t_j), \quad (4)$$

$$m(t_0) = m, \quad (5)$$

де  $m(t_j)$  – кількість продуктів I роду в системі на  $j$ -му етапі планування,  $c(t_j)$  – відповідно, кількість продуктів II роду,  $\alpha$  – показник ефективності першої підсистеми (тобто, скільки нових РМ продукує одне РМ у підсистемі  $A$  за одиницю часу),  $\beta$  – показник ефективності, відповідно, другої підсистеми (тобто, скільки кінцевих продуктів створює одне РМ у підсистемі  $B$  за одиницю часу),  $y_{j-1} m(t_{j-1})$  – частина продуктів I роду, яка використовується у підсистемі  $A$  на  $j$ -му етапі планування,  $(1 - y_{j-1}) m(t_{j-1})$  – відповідно, частина продуктів I роду, що використовується у підсистемі  $B$  на  $j$ -му етапі планування,  $x_j f$  – частина зовнішнього ресурсу, що направляється в підсистему  $A$  на  $j$ -му етапі планування,  $(1 - x_j) f$  – відповідно, частина зовнішнього ресурсу, що направляється в підсистему  $B$  на  $j$ -му етапі планування,  $k_c$  – коефіцієнт узгодження розмірностей зовнішнього ресурсу та вихідних продуктів ( $f$  і  $m$  вважаються однієї розмірності),  $m$  – початкова кількість внутрішніх ресурсів,  $0 \leq y_{j-1} \leq 1, 0 \leq x_j \leq 1, j = \overline{1, n}$ .

Поставимо наступну оптимізаційну задачу: у системі (1)-(5) при заданих значеннях  $\alpha_i, \beta_i, m_i, f, k_c$  знайти такі  $y_{il}, x_{il}$  що  $C(t_n) \rightarrow \max$ .

Для розв'язання задачі доведено наступні теореми.

**Теорема 1.** Якщо у функціонуванні СР використовуються тільки внутрішні ресурси, тобто у (1)-(5)  $f = 0$ , то максимум функції  $C(t_n)$  досягається при  $y_{j-1} \equiv 1, j = \overline{1, n-1}, y_{n-1} \equiv 0, \max C(t_n) = \beta \alpha^{n-1} m$ .

Дана теорема наочно ілюструє дію закону "розумного егоїзму системи": для того, щоб система успішно функціонувала протягом достатньо великого часового проміжку, системі необхідно значну частину всіх ресурсів (а іноді – і всі ресурси) направляти насамперед на свої внутрішні потреби, на своє самовдосконалення, і лише наприкінці – на виконання своєї головної функції [5, 6].

Зауважимо, що у випадку неперервності функцій  $m(t)$  і  $c(t)$ ,  $t^*$  (момент часу, у який необхідно всі ресурси, як зовнішні, так і внутрішні, направити в підсистему Б) указаний лише приблизно, а описуючи моделі СР мовою дискретної оптимізації, можна точно вирахувати  $t^* = t_{n-1}$ .

**Теорема 2.** Якщо у діяльність СР залучається зовнішній ресурс, тобто її розвиток заданий рекурентними співвідношеннями (1)-(5), де  $\alpha, \beta, m, f, y_{j-1}$  ( $j = \overline{1, n}$ ),  $k_c \in$  заданими, то максимум функції  $C(t_n)$  досягається при

$$x_j = \begin{cases} 1, \text{ if } \sum_{l=j+1}^n \beta(1 - y_{l-1}) \alpha^{l-j-1} \prod_{p=j}^{l-2} y_p - k_c > 0, \\ 0, \text{ if } \sum_{l=j+1}^n \beta(1 - y_{l-1}) \alpha^{l-j-1} \prod_{p=j}^{l-2} y_p - k_c \leq 0, \end{cases} j = \overline{1, n-1}, x_n \equiv 0.$$

**Теорема 3.** Якщо у системі (1)-(5) покласти  $y_{j-1} \equiv 1, j = \overline{1, n-1}, y_{n-1} \equiv 0$  (тобто розглянути випадок, коли система без врахування зовнішнього впливу дає максимальний результат), то максимум функції  $C(t_n)$  досягається при  $x_j = \begin{cases} 1, \text{ if } \beta \alpha^{n-j-1} - k_c > 0, \\ 0, \text{ if } \beta \alpha^{n-j-1} - k_c \leq 0, \end{cases} j = \overline{1, n-1}, x_n \equiv 0$ .

**Висновки.** Якщо у функціонуванні системи не задіяний зовнішній ресурс, максимальний результат отримується при направленні всіх наявних внутрішніх ресурсів у підсистему самовдосконалення системи майже на всіх, крім останнього, етапах планування, а на останньому етапі всі наявні ресурси слід спрямувати у підсистему виконання головної функції системи; для протилежного випадку при достатньо великому терміні планування, максимальний результат отримується при направленні на всіх, крім останнього, етапах всіх зовнішніх та внутрішніх ресурсів у першу підсистему, а на останньому етапі – у другу.

## Література

1. Бугерко Н.В. Об одной задаче кооперативного взаимодействия двухпродуктовых развивающихся систем / Н.В. Бугерко, С.К. Гирлин. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – №6. – С. 49–53. Режим доступа до ресурсу: <http://www.scienceforum.ru/2013/pdf/5046.pdf>
2. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. – М.: Наука, 1983. – 350 с.
3. Сергиенко И.В. Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования / И.В. Сергиенко, В.П. Шило. – К.: Наук. думка, 2003. – 264 с.
4. Семенова Н.В. Векторні задачі дискретної оптимізації на комбінаторних множинах: методи дослідження та розв'язання / Н.В. Семенова, Л.М. Колечкіна. – Київ: Наукова думка, 2009. – 266 с.
5. Girlin S. Three Laws of Optimal Development [Електронний ресурс] / S. Girlin, N. Bugerko // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.science-sd.com/457-24536>.
6. Girlin S. Mathematical Theory of Development. A Course of Lectures: учебное пособие для студентов математических специальностей / S. Girlin, V. Ivanov. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2014. – 140 с.

## ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИКЛАДНИХ МЕТОДІВ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Розглядаються ідеї, на яких ґрунтуються сучасні підходи до розробки прикладних алгоритмів розв'язування задач комбінаторної оптимізації (ЗКО).

Довільну задачу оптимізації у загальному випадку можна подати кортежем  $\langle f, X, \Pi, D, ext \rangle$ , де  $f: X \rightarrow R^1$  – задана цільова функція задачі,  $R^1$  – числова пряма,  $X$  – простір розв'язків задачі (простір пошуку),  $\Pi$  – предикат, який визначає підмножину  $D \subseteq X$  припустимих варіантів розв'язку згідно наявних обмежуючих умов,  $ext \in \{\min, \max\}$  – напрям оптимізації. В залежності від виду простору  $X$  розрізняють задачі неперервної, комбінаторної та змішаної оптимізації [1]. Перший клас утворюють задачі, в яких простір  $X$  є неперервним (континуальним). Щодо другого класу, то тут існують різні підходи до означення як самого поняття ЗКО, так і його підкласів – власне комбінаторних задач, а також задач дискретного та цілочислового програмування. Далі задача оптимізації називається ЗКО, якщо простір її розв'язків  $X$  – це комбінаторний простір, тобто локально скінченний в комбінаторному розумінні простір, який має не більше, ніж злічену кількість елементів [2, 3].

Існує багато підходів до класифікації алгоритмів комбінаторної оптимізації (АКО) – за точністю, за типом використаних просторів, за структурою обчислювальної схеми тощо.

1. *За отримуваним розв'язком* алгоритми поділяються на точні, наближені та евристичні. Точні АКО – це такі, які знаходять глобальний розв'язок. В свою чергу, наближені АКО діляться на алгоритми з апіорною та з апостеріорною оцінкою точності. Евристичні алгоритми будуються на основі правдоподібних міркувань (типу "іди в найближче місто" – для задачі комівояжера). Часто наближеними алгоритмами називають і алгоритми з оцінкою точності, і евристичні – так вважатимемо і далі.

2. *За типом обчислювальної схеми* прийнято поділяти на послідовні та ітераційні.

Нехай маємо певну множину  $Y \supseteq X$ .

– *Послідовні* алгоритми (ще називають прямі, конструктивні):

$Y \supset X$  ( $Y \neq X$ ) – тобто вони оперують в просторі, що є розширенням  $X$ .

Починаючи "з нуля", вони поступово формують варіант розв'язку.

– *Ітераційні* алгоритми:  $Y \equiv X$ .

Починаючи з деякого  $x^0 \in X$ , намагаються його покращувати покроково:  $x^{(h+1)} = A^{(h)} x^{(h)}$ ,  $h = 0, 1, \dots$ , де  $A^{(h)}$  – ітераційна процедура; в більшості випадків вона не залежить від кроку  $h$ :  $A^{(h)} \equiv A$ .

3. *За простором, що використовується*, ітераційні алгоритми поділяють на траєкторні та популяційні. Алгоритми, які оперують на кожному кроці одним (поточним) розв'язком, називаються траєкторними; інколи в зарубіжній літературі такі алгоритми називаються базованими на одному розв'язку чи стані (Single-Solution Based/Single-State Methods), а під траєкторними розуміють такий їх підклас, який породжує послідовність сусідніх розв'язків – траєкторію у просторі пошуку. Алгоритми, які опрацьовують на кожній ітерації не один, а кілька розв'язків одночасно, називаються популяційними (Population-Based Methods).

4. *За складністю структури* АКО можна виділити "прості" алгоритми; гібридні алгоритми; метавевристики; гібридні метавевристики гіперевристики.

Комбіновані алгоритми утворюються шляхом послідовного застосування двох чи більше ітераційних алгоритмів з передаванням розв'язків від одного до іншого. *Метавевристика* – це метод розв'язання широкого класу обчислювальних задач шляхом такого комбінування існуючих процедур, при якому одна є провідною, а інша (чи кілька) –

підлеглою (підлеглими). Якщо складовою метаевристики є певний математичний метод, то вживають термін *матевристика*.

Гіперевристикою (гіперевристичним алгоритмом) називають метод пошуку, який орієнтований на автоматизацію процесів вибору, комбінування або адаптації чи налаштування декількох більш простих алгоритмів (евристик чи метаевристик) для ефективного розв'язування ЗКО чи їх класів. Це може досягатися як вибором наявних евристик чи їх фрагментів, так і генеруванням нових. Таким чином, якщо метаевристики та інші алгоритми здійснюють, в основному, пошук у просторі розв'язків ЗКО, то простором пошуку для гіперевристик є множина евристик (більш простих алгоритмів чи їх частин).

За впливом на ландшафт пошуку більшість АКО можна віднести до таких, що залишають його незмінним. В той же час, є алгоритми, які модифікують цей ландшафт шляхом: зміни простору розв'язків (наприклад, послідовні алгоритми); зміни цільової чи оцінкової функції (алгоритми керованого локального пошуку); варіації системи околів, що використовується при пошуку (алгоритми локального пошуку (ЛП) зі змінними околами, метод вектора спаду з пульсуючими околами).

Якщо робота алгоритму базується на безпосередніх даних ЗКО, то такі АКО відносяться до *задаче-орієнтованих алгоритмів*.

В ряді нових АКО використовуються не стільки прямі дані ЗКО, скільки спеціальна модель задачі (наприклад, феромонна матриця та матриця маршрутів у алгоритмах оптимізації мурашиними колоніями) – такі алгоритми отримали назву *моделе-орієнтованих*.

Точні алгоритми поділяються на загальні методи та спеціальні алгоритми.

*Загальні методи*: повний перебір (вичерпний пошук); метод гілок і меж (МГіМ); метод гілок і відтинань; послідовний аналіз і відсіювання варіантів ("київський віник"); динамічне програмування (метод Беллмана).

*Спеціальні алгоритми* будуються на основі урахування специфіки задачі оптимізації, що розв'язується. Приклад – метод Балаша (угорський метод) для розв'язання лінійної задачі про призначення. Один з небагатьох прикладів поліноміального алгоритму для розв'язування ЗКО. Однак при додаванні однієї чи кількох обмежувальних умов виникають подібні задачі, але зазначений алгоритм уже не може бути застосованим чи його модифікація уже не має поліноміальної складності.

Необхідність розробки ефективних наближених АКО, які застосовуються у переважній більшості випадків на практиці, визначається низкою обставин:

- 1) практично всі важливі задачі належать до *NP-складних*, тож точне їх розв'язування дуже проблематичне навіть із використанням сучасних і перспективних комп'ютерів;
- 2) їх цільові функції мають зазвичай велику кількість *локальних екстремумів*;
- 3) у багатьох прикладних проблемах *дані задаються з певними похибками*, що робить недоцільними ті істотні обчислювальні затрати, які необхідні для знаходження їх точного розв'язку;
- 4) покладені в основу розробки наближених обчислювальних схем ідеї (метаевристики) дозволяють створювати алгоритми, які можуть розв'язувати *не одну, а цілий клас* близьких за постановкою оптимізаційних задач;
- 5) важливий клас оптимізаційних задач породжується проблемами з директивним терміном, тобто їх розв'язок має бути знайдений до зазначеного апріорі строку;
- 6) у деяких задачах значення цільової функції можуть бути доступними лише в процесі розв'язування задачі або змінюватися з часом – цей клас утворюють *динамічні*, або *on-line задачі*.

Найуживаніші на практиці **наближені алгоритми** можна поділити на сім класів (рис.) [1,4]; тут ПАВ – послідовний аналіз варіантів. Ці точні алгоритми використовуються в даному контексті для породження наближених обчислювальних схем. Зрозуміло, що сукупність усіх розроблених донині АКО значно перевищує перелік наведених на цьому рисунку. Проте, як свідчить аналіз наукових публікацій, саме зазначені алгоритми та їх модифікації є основним інструментом для розв'язання практичних ЗКО.

Левову частку алгоритмів із класів 2 – 7 становлять ітераційні методи, багато з яких базуються на використанні процедур локального пошуку. Зазначимо, що для розв'язування задач із підвищеною точністю значного поширення набули метаевристики [1].

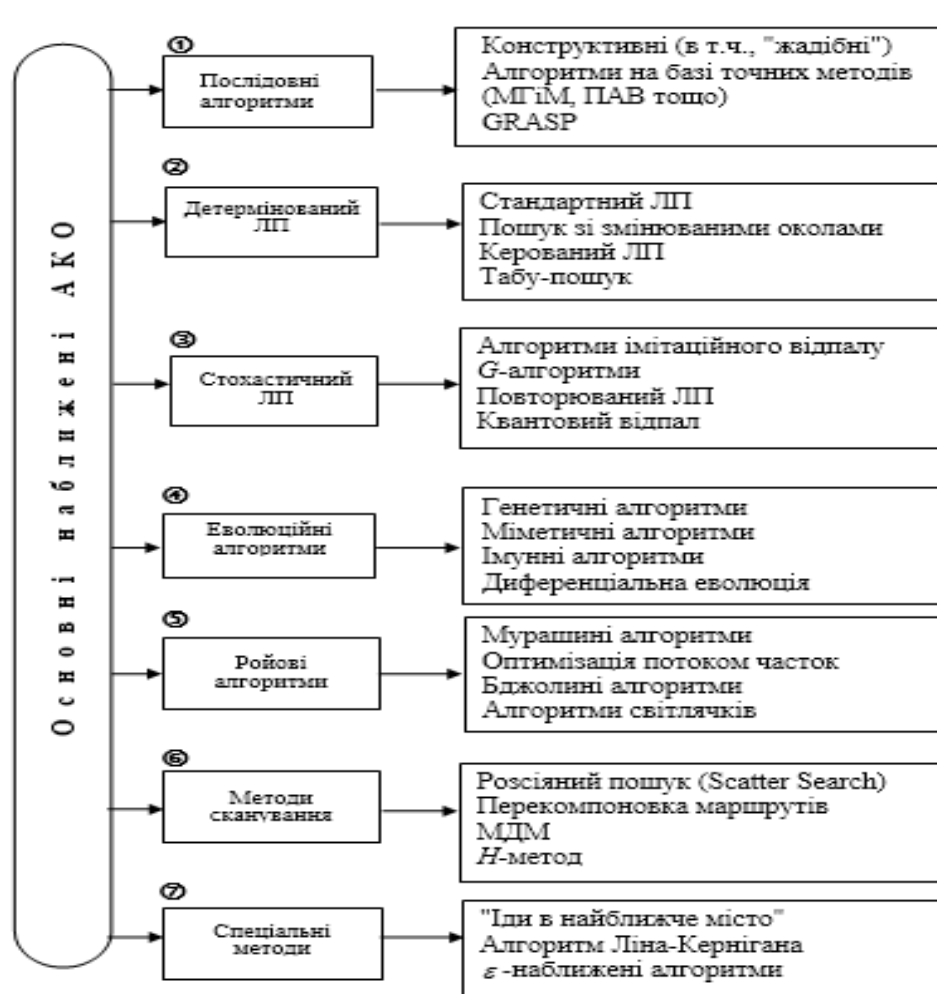


Рис. Класифікація основних наближених методів комбінаторної оптимізації

Пошук концепцій для розробки алгоритмів комбінаторної оптимізації зумовив появу в останній час нових класів алгоритмів, які нав'язані природою [5]. Помітне місце серед таких алгоритмів займають методи ройового інтелекту. Найпоширеніші серед них – оптимізація мурашиними колоніями та потоком частинок, бджолині алгоритми, метод імітації поведінки бактерій, пошук на основі імітації поведінки зграї риб у пошуках корму, алгоритми, які імітують поведінку летючих мишей, світлячків чи жаб.

### Література

1. Talbi E.-G. Metaheuristics: from design to implementation. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
2. Гуляницький Л.Ф. До формалізації та класифікації задач комбінаторної оптимізації // Теорія оптимальних рішень. – 2008. –7. – С. 45–49.
3. Гуляницький Л.Ф., Рясна І.І. До формалізації задач комбінаторної оптимізації на нечітких множинах // Теорія оптимальних рішень. – 2016. – С. 17–25
4. Сергиенко И.В., Гуляницький Л.Ф., Сиренко С.И. Классификация прикладных методов комбинаторной оптимизации // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №5. – С. 71–83.
5. Pinteа C.-M. Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems. – Heidelberg : Springer, 2014.

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ОЗНАЧЕННЯ НЕЧІТКИХ КОМБІНАТОРНИХ ОБ'ЄКТІВ

Об'єктами, які зазвичай розглядаються в задачах комбінаторної оптимізації, є перестановки, розміщення, сполучення, графи, підмножини, цілі числа та інші структури, узагальненням яких є поняття комбінаторного об'єкта [1]. Для формалізації задач комбінаторної оптимізації на нечітких множинах необхідно визначити поняття нечіткого комбінаторного об'єкта. Питанням формалізації та розв'язання задач на нечітких множинах присвячено багато робіт, наприклад [2, 3], однак у цих роботах не застосовується таке поняття, як “нечіткий комбінаторний об'єкт”.

Нехай задано множину  $Y = \{1, 2, \dots, m\}$ , яку називатимемо нумеруючою множиною [4], множину  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ , яку назвемо твірною множиною. Множину  $Z$  розглядаємо як лінійно упорядковану:  $z_1 < z_2 < \dots < z_n$ . Нехай  $X$  – базова множина, яка породжується, на основі твірної множини, та  $\varphi: Y \rightarrow X$  – відображення, що задовольняє деякій системі обмежень  $\Omega$ .

Означення 1. Нечіткою твірною множиною назвемо нечітку множину  $\underline{Z}$ , яка задається відображенням  $\mu_{\underline{Z}}: Z \rightarrow M$ , де  $M$  – множина належностей,  $Z$  – твірна множина.

Означення 2. Лінійно упорядкованою нечіткою твірною множиною назвемо нечітку множину  $\underline{Z} = (\underline{z}_i)_{i=1}^n$ , де  $\underline{z}_i = (z_i, \mu_{\underline{Z}}(z_i))$ ,  $z_i \in Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ ,  $i < j \Leftrightarrow z_i < z_j$ ,  $z_i < z_j \Rightarrow \underline{z}_i < \underline{z}_j$ ,  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $\mu_{\underline{Z}}: Z \rightarrow M$ ,  $M$  – задана множина належностей.

Означення 3. Нечітким комбінаторним об'єктом назвемо кортеж  $\underline{K} = \langle Y, \varphi, X, \Omega \rangle$ , у якому множина  $\varphi(Y)$  є деякою нечіткою множиною.

Зауважимо, що нечіткість множини  $\varphi(Y)$  може породжуватися на базі нечіткості будь-якого з елементів  $\varphi, X, \Omega$  кортежу  $\underline{K}$ . Конкретизуючи вид базової множини можна породжувати різні комбінаторні об'єкти [5], що дозволяє формалізувати як відомі, так і нові класи задач комбінаторної оптимізації на нечітких множинах.

Проведено класифікацію нечітких комбінаторних об'єктів та наведено приклади таких нечітких комбінаторних об'єктів, як нечіткі розміщення, нечіткі сполучення, нечіткі перестановки, нечіткі графи.

## Література

1. Гуляницький Л.Ф. До формалізації та класифікації задач комбінаторної оптимізації // Теорія оптимальних рішень. – 2008. – № 7. – С. 45–49.
2. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2006. – 816с.
3. Yamakami T. The World of Combinatorial Fuzzy Problems and the Efficiency of Fuzzy Approximation Algorithms // Proceedings of the 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2014), December 3–6, 2014, IEEE, 2014. – P. 29–35.
4. Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 384 с.
5. Гуляницький Л.Ф., Рясна І.І. До формалізації задач комбінаторної оптимізації на нечітких множинах // Теорія оптимальних рішень. – 2016. – С. 17–25.

## СИММЕТРИЧНЫЙ КОД И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МУТАЦИИ

Стандартный генетический код сопоставляет каждой тройке нуклеотидов одну из двадцати аминокислот, или один из трех кодонов, которые останавливают синтез белка. Помехоустойчивость такого кода при точечных мутациях в нуклеотидах относительно сохранения полярности аминокислот составляет 69,20 %. С помощью восьми парных перестановок построен симметричный код с помехоустойчивостью 77,86 %, в котором кодон и антикодон определяют аминокислоты с разной полярностью, табл.1. Стандартный код в таком смысле на 3/4 соответствует симметричному коду [1, 2, 3]. Симметричный код оптимален, поскольку не существует способов повышения его помехоустойчивости, сохраняя при этом характеристики стандартного кода.

Первые два столбца построенного кода содержат неполярные аминокислоты, третий и четвертый – полярные аминокислоты.

Симметричный код

Таблица 1.

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	Т	С	А	Г	
Т	<b>фенилаланин</b> <b>фенилаланин</b> лейцин лейцин	стоп <b>триптофан</b> цистеин цистеин	тирозин (Y) тирозин (Y) стоп стоп	серин серин серин серин	Т С А G
С	лейцин лейцин лейцин лейцин	<b>пролин</b> <b>пролин</b> <b>пролин</b> <b>пролин</b>	гистидин гистидин глутамин глутамин	аргинин аргинин аргинин аргинин	Т С А G
А	<b>изолейцин</b> <b>изолейцин</b> <b>изолейцин</b> <b>метионин</b>	глицин глицин глицин глицин	аспарагин аспарагин лизин лизин	серин серин аргинин ргинин аргинин	Т С А G
Г	<b>валин</b> <b>валин</b> <b>валин</b> <b>валин</b>	<b>аланин</b> <b>аланин</b> <b>аланин</b> <b>аланин</b>	асп. к-та асп. к-та глут. к-та глут. к-та	треонин треонин треонин треонин	Т С А G

Компьютерные расчеты показали, что помехоустойчивость кода – важный фактор для эволюции кода: устойчивость к помехам стандартного кода значительно выше, чем у случайных кодов, что свидетельствует о неслучайном выборе стандартного кода.

С помощью генетических алгоритмов построены различные варианты наиболее помехоустойчивых кодов с другими характеристика, чем у стандартного кода. В том числе был подтвержден оптимальный симметричный код в табл.1.

Возможность быстро расшифровывать индивидуальные геномы людей позволила накопить огромные массивы данных о заболеваниях и связанных с ними мутациях в ДНК. Наиболее распространенным типом мутаций, которые приводят к заболеваниям, являются точечные мутации, в результате которых единичный нуклеотид гена меняется на другой нуклеотид. Были исследованы мутации, обусловленные такими заболеваниями: аутоиммунными, онко, сердечно-сосудистыми, генетическими, нейродегенеративными, психологическими расстройствами, пагубными привычками.

Были использованы данные интернет-ресурсов, где заболеваниям ставились в соответствие связанные с ними мутации в ДНК, т.е. получены пары исходных и



мутированных триплетов нуклеотидов и, соответственно, кодируемых ими аминокислот. Стандартным кодом было проверено 303 мутации для приведенных типов заболеваний: в 154 случаях сохранялась полярность на парах исходный и мутированный кодоны, а в 105 – полярность нарушалась. Количество мутаций третьего нуклеотида составило 44.

Из структуры стандартного кода вытекает, что мутации третьего нуклеотида, чаще всего, не изменяют аминокислоты, если возникают в кодирующих участках геномов, поэтому они не связаны с заболеваниями. Сложнее обобщить данные о воздействиях молчащих мутаций, которые возникают вне кодирующих областей генов. Наиболее исследованы области, в которых мутации происходят в интронах или на экзон-интронных границах. В этих областях точечные мутации важны, если они изменяют нуклеотиды, участвующие в ходе вырезания интронов. Почти все из 44 мутаций в третьем нуклеотиде не изменили аминокислоты, поэтому они не связаны с кодируемыми областями генов.

Согласно палеонтологическим данным, бактерии уже существовали три миллиарда лет назад. Таким образом, весьма вероятно, что генетический код тоже функционировал в то время. Поскольку у бактерий отсутствуют интроны, в стандартном коде не было способов защиты от мутаций в не кодирующих областях гена.

Симметричный код (табл. 1) в 86 случаях из 105 исправил нарушение полярности при мутациях кодона. Такое большое преимущество симметричного кода нельзя объяснить тем, что его помехоустойчивость на 9 % выше, чем у стандартного кода.

На основе баз данных генетических заболеваний стандартным кодом было проверено триста мутаций для различных типов заболеваний. Примерно половина из них привела к нарушению полярности или к мутациям третьего нуклеотида. Симметричный код в 80 % случаев исправил нарушение полярности при мутациях кодона. Такое большое преимущество симметричного кода нельзя объяснить тем, что его помехоустойчивость на 9 % выше, чем у стандартного кода.

Рассмотрено два варианта несимметричных кодов, помехоустойчивость которых такая же, как у симметричного оптимального кода. Однако эти коды дали плохие результаты по сравнению со стандартным кодом.

Мутации в некотором гене могут вызывать десятки различных заболеваний, примеры приведены в комментарии. Поэтому сложно распознавать заболевания по мутациям в этих генах.

Диагностику заболеваний по мутациям в таких генах можно проводить с помощью байесовских процедур, построенных на обучающих выборках прецедентов. Исходными признаками для процедуры распознавания являются кодон, мутация кодона, идентификатор мутации; булевские признаки, которые формируются стандартным и симметричным кодами относительно сохранения и нарушения полярности; сохранение или изменение аминокислоты при мутациях в третьем нуклеотиде кодона.

### Литература

1. Сергиенко И.В., Гупал А.М., Островский А.В. Устойчивость генетического кода к точечным мутациям // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – № 5. – С. 17–24.
2. Сергиенко И.В., Гупал А.М., Вагис А.А. Симметричный код и генетические мутации // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – № 2. – С. 73–80.
3. Гупал А.М., Сергиенко И.В. Симметричный код и генетические мутации. – К.: «Наукова думка», 2016. – 228 с.

## СИММЕТРИЧНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД

Стандартный генетический код, согласно которому в живых организмах происходит синтез белков на основе информации, содержащейся в ДНК, был открыт в 60-х годах XX века. Одним из основных факторов, которые могли влиять на эволюцию кода, являлось повышение его устойчивости по отношению к мутациям – искажениям генетической информации, возникающим в клетках любого организма. Мутации происходят из-за ошибок в репликации в ДНК или разрушительных воздействий мутагенов, таких как химические агенты и радиация, которые реагируют с ДНК и изменяют структуру отдельных нуклеотидов (оснований).

Известно, что замена аминокислоты и нарушение ее полярности в белках вредна, поскольку чередованием полярных и неполярных аминокислот определяется его пространственная структура. Предполагалось, что эволюция отобрала наиболее помехоустойчивый вариант, то есть стандартный генетический код живых организмов (табл. 1) сводит к минимуму замены между полярными и неполярными аминокислотами, которые образуют белок. Неполярные аминокислоты в табл. 1 выделены жирным шрифтом.

Стандартный генетический код

Таблица 1.

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	Т	С	А	Г	
Т	<b>фенилаланин</b> <b>фенилаланин</b> лейцин лейцин	серин серин серин серин	тирозин тирозин стоп стоп	<b>цистеин</b> <b>цистеин</b> <b>стоп</b> <b>триптофан</b>	Т С А Г
С	лейцин лейцин лейцин	<b>пролин</b> <b>пролин</b> <b>пролин</b>	гистидин глутамин глутамин	аргинин аргинин аргинин	Т А Г
А	<b>изолейцин</b> <b>изолейцин</b> <b>изолейцин</b> <b>метионин</b>	треонин треонин треонин треонин	аспарагин аспарагин лизин лизин	серин серин аргинин аргинин	Т С А Г
Г	<b>валин</b> <b>валин</b> <b>валин</b> <b>валин</b>	<b>аланин</b> <b>аланин</b> <b>аланин</b> <b>аланин</b>	асп. к-та* асп. к-та глут. к-та** глут. к-та	<b>глицин</b> <b>глицин</b> <b>глицин</b> <b>глицин</b>	Т С А Г

Аминокислоты различаются по взаимодействию с молекулами воды. Неполярные аминокислоты более гидрофобны, они отталкивают молекулы воды и слипаются друг с другом. Полярные аминокислоты гидрофильны и взаимодействуют с водой, в результате чего образуется сложная форма, которая соответствует выполняемой белком функции. Если при мутации полярный остаток в белке сменится на неполярный (или наоборот), то форма молекулы может измениться настолько, что белок не сможет выполнять свою функцию.

Исследуем поведение помехоустойчивости стандартного кода при изменении одного из оснований (нуклеотидов) в триплете, который кодирует аминокислоту. Каждый кодон допускает 9 однократных замен, число кодирующих аминокислоты триплетов равно 61. Поэтому количество возможных замен нуклеотидов для всех кодонов составляет 549, Из них 23 замены нуклеотидов приводят к появлению стоп-кодонов, 134 – не изменяют кодируемую аминокислоту, 230 – не изменяют класс кодируемой аминокислоты. Для стандартного кода возможны 526 замещений, в которых кодон до и после мутации не является одним из трех

стоп-кодонах, из них 364 замещения не меняют полярность, т.е. его помехоустойчивость составляет  $364/526 = 69,20\%$ .

В [1] исследована симметрия и свойства записи генетической информации в ДНК. Соотношения симметрии были выведены по одной нити в ДНК: количество коротких последовательностей нуклеотидов примерно равно количеству обратно комплементарных последовательностей. Для кодонов выражение для симметрии по одной нити ДНК имеет вид  $n(ijk) = n(\bar{k}\bar{j}\bar{i})$ , где  $n(ijk)$  – число троек оснований  $(ijk)$ ,  $i, j, k \in \{A, C, G, T\}$ ,  $(\bar{k}\bar{j}\bar{i})$  – антикодон кодона  $(ijk)$ . В коде, симметричном относительно полярности, кодон  $(ijk)$  кодирует полярную аминокислоту, а антикодон  $(\bar{k}\bar{j}\bar{i})$  – неполярную.

В табл. 2 представлен оптимальный помехоустойчивый симметричный код относительно полярности. Этот код построен на основе 8 парных перестановок из стандартного кода, его помехоустойчивость составляет  $408/524 = 77,86\%$ , т.е. превосходит  $7/9$ , поскольку не более двух мутаций из девяти нарушают полярность аминокислот.

Симметричный код

Таблица 2.

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	Т	С	А	Г	
Т	фенилаланин фенилаланин лейцин лейцин	стоп триптофан цистеин цистеин	тирозин (У) тирозин (У) стоп стоп	серин серин серин серин	Т С А Г
С	лейцин лейцин лейцин лейцин	пролин пролин пролин пролин	гистидин гистидин глутамин глутамин	аргинин аргинин аргинин аргинин	Т С А Г
А	изолейцин изолейцин изолейцин метионин	глицин глицин глицин глицин	аспарагин аспарагин лизин лизин	серин серин аргинин аргинин	Т С А Г
Г	валин валин валин валин	аланин аланин аланин аланин	асп. к-та асп. к-та глут. к-та глут. к-та	треонин треонин треонин треонин	Т С А Г

Первые два столбца построенного кода содержат неполярные аминокислоты, третий и четвертый – полярные аминокислоты, то есть если кодон  $(ijk)$  определяет полярную аминокислоту, то кодон  $(\bar{k}\bar{j}\bar{i})$  – неполярную, и наоборот. Код в табл. 2 оптимален, поскольку с помощью парных перестановок аминокислот нельзя увеличить помехоустойчивость симметричного кода, а других способов ее повышения не существует, если сохранять характеристики стандартного кода.

## Литература

1. Гупал А.М., Гупал Н.А., Островский А.В. Симметрия и свойства записи генетической информации в ДНК // Проблемы управления и информатики. – 2011. – № 3. – С. 120–127.
2. Белецкий Б.А., Гупал А.М., Гупал Н.А. Симметричный код и генетические мутации // Компьютерная математика. – Киев: ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова. – 2015. – № 2. – С. 63–69.

Дейнеко А.О., Долотов А.І., Куценко Я.В., Плісс І.П., Чигрин Д.Р.  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
*anastasiya.deineko@gmail.com, artem.dolotov@gmail.com*  
*yana.kutsenko@nure.ua, iryna.pliss@nure.ua, digdan9696@gmail.com*

## НЕЧІТКЕ КЛАСТЕРУВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ

У наш час підходи до опрацювання інформації, які засновані на математичному апараті обчислювального інтелекту [1], набули широкого розповсюдження для вирішення безлічі задач, що виникають в рамках Data Mining [2], при цьому кластерування займає особливе місце, оскільки процес пошуку рішення на основі парадигми самонавчання значно складніше навчання з вчителем. Незважаючи на те, що сьогодні існує безліч алгоритмів кластерування, лише незначна їх частина може бути використана для вирішення задач Data Stream Mining [3], коли інформація подається на опрацювання послідовно в on-line режимі. У цій ситуації доцільним є використання кластерувальних самоорганізованих нейронних мереж Т. Когонена (SOM) [4], призначених для опрацювання великих масивів даних в послідовному режимі. При цьому апріорно припускається, що внутрішня структура оброблюваних даних така, що відновлювані кластери взаємно не перетинаються і мають опуклу форму, що дозволяє в процесі налаштування нейронної мережі побудувати розділяючі гіперплощини, які чітко розмежовують різні класи. Зрозуміло, що існуючі системи обчислювального інтелекту мають бути суттєво модифікованими для оброблення великих масивів інформації (Big Data), які послідовно надходять на опрацювання та формують кластери довільної форми, що можуть довільним чином перетинатися.

Задача кластерування великих масивів багатовимірних спостережень (векторів-образів) часто виникає у багатьох реальних практичних задачах, а для її вирішення розроблено безліч алгоритмів [1, 2], при цьому в останні роки в рамках концепції Big Data особлива увага приділяється обробленню інформації, що зберігається або у надвеликих базах даних (VLDB), або надходить на опрацювання в on-line режимі в формі потоку даних (data stream).

У випадку, коли класи перетинаються, можуть, бути використані методи нечіткого кластерного аналізу [5], у тому числі нечіткі самоорганізовані мережі Т. Когонена [6], що реалізують в тій чи іншій формі метод нечітких С-середніх (FCM) [6]. У випадку неопуклих кластерів завдання кластерування істотно ускладнюється, оскільки нейронні мережі Т. Когонена як в чіткому, так і нечіткому варіантах, реалізують фактично методи К-середніх і нечітких С-середніх, які формують опуклі множини з опрацьованих спостережень.

Для вирішення задач кластерування у випадках, коли класи даних мають довільну форму, можуть бути використані ядерні самоорганізовані мапи Т. Когонена [4, 6], побудовані на основі ядер Дж. Мерсера [3] і засновані на мінімізації критерію емпіричного ризику, що полягає в основі спеціального класу нейронних мереж, відомих як машини опорних векторів (SVM). Треба відзначити, що SVM-нейронні мережі, як потужний засіб вирішення багатьох задач Data Mining, включаючи і кластерування, призначені для опрацювання інформації тільки у пакетному режимі і не можуть аналізувати дані, що послідовно надходять в нейронну мережу.

У зв'язку з цим доцільно замість традиційного SVM-підходу використовувати ідеї, що покладені в основу радіально-базисних нейронних мереж (RBFN) [7] і пов'язані з теоремою Т. Кавера, яка стверджує, що лінійно-нероздільна задача розпізнавання образів в просторі вхідних ознак  $R^n$  може стати лінійно-роздільною в просторі підвищеної розмірності  $R^{n(n+1 \leq h)}$ . На основі спільного використання RBFN і SOM в [7, 8] була введена on-line кластерувальна нейросистема, призначена для чіткого відновлення класів довільної форми. Основним недоліком цієї системи, втім як і всіх радіально-базисних нейромереж, є, так званий «прокльон розмірності», що породжує різке збільшення числа R-нейронів в прихованому шарі з ростом розмірності вхідного простору. У зв'язку з цим доцільною є

розробка on-line нейро-фаззі системи для вирішення задач послідовного нечіткого кластерування даних, що дозволяє опрацьовувати вектори спостережень будь-якої розмірності. На рис. 1 наведено архітектуру запропонованої ядерної кластерувальної on-line нейро-фаззі системи, що в процесі свого самонавчання налаштовує не лише свої синаптичні ваги, але й архітектуру.

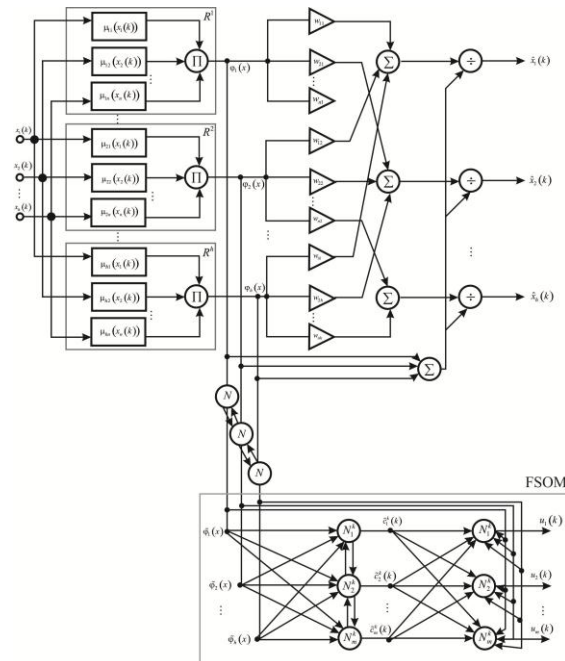


Рис. 1. Ядерна кластерувальна гібридна нейро-фаззі система

Таким чином, наведена кластерувальна нейро-фаззі система є за суттю об'єднанням двох нейро-фаззі систем: еволюційної TSK-системи і нечіткої кластеризувальної мережі Когонена, що дозволяє в on-line режимі відновлювати класи довільної форми, що перекриваються (лінійно нероздільні), які формуються даними, що надходять на оброблення у формі потоку інформації.

### Література

1. Rutkowski, L., Computational Intelligence. Methods and Techniques / L. Rutkowski. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. – 514p.
2. Aggarwal, C.C. Data Clustering. Algorithms and Application / C.C. Aggarwal, C.K. Reddy. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 648 p.
3. Bifet, A. Adaptive Stream Mining: Pattern Learning and Mining from Evolving Data Streams / A. Bifet. – IOS Press, 2010. – 224 p.
4. Kohonen, T. Self-Organizing Maps / T.Kohonen. – Berlin: Springer-Verlag, 1995. – 362 p.
5. Höppner, F. Fuzzy-Clusteranalyse: Verfahren für die Bilderkennung, Klassifikation und Datenanalyse. / F. Höppner, F. Klawonn, R. Kruse. – Braunschweig: Vieweg, 1996. – 280 p.
6. Бодянский, Е.В. Нечеткая кластеризация потоков данных с помощью EM-алгоритма на основе самообучения по Т. Кохонену / Е.В. Бодянский, А.А. Дейнеко, А.А. Заика, Я.В. Куценко – Прикладная радиоэлектроника. – 2016. – 15. – № 1. – сс. 80-83.
7. Bodyanskiy, Ye.V. An evolving radial basis neural network with adaptive learning of its parameters and architecture / Ye.V. Bodyanskiy, O.K. Tyshchenko, A.O. Deineko – Automatic Control and Computer Sciences. – 2015. – 49. – №5 – pp. 255-260.
8. Бодянский, Е.В. Ядерная самоорганизующаяся карта на основе радиально-базисной нейронной сети. / Е.В Бодянский., А.А. Дейнеко, Я.В. Куценко – Электротехнические и компьютерные системы – 2015. – 20(96) – сс. 97-105.

## ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ В ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДВОЛАНКОВИМ МАНІПУЛЯТОРОМ

Одним із ефективних підходів до покращення функціональних характеристик маніпуляційних роботів є використання оптимальних режимів керування їх рухом. Тому розробка математичних моделей маніпуляційних систем та побудова відповідного алгоритмічного і програмного забезпечення для оптимізації їх керувань є важливою задачею робототехніки.

Серед маніпуляційних роботів особливе місце займають дволанкові маніпулятори. Окрім свого самостійного значення ці маніпулятори є складовими частинами (модулями) конструкцій багатьох маніпуляційних роботів, у яких довжини двох суміжних ланок значно перевищують розміри інших ланок. Саме на ці дві ланки припадає основний обсяг руху робота під час виконання ним тієї чи іншої операції (наприклад, переміщення вантажу). Тому дволанкові маніпулятори вже тривалий час привертають увагу дослідників.

Нижче досліджуємо задачу оптимізації законів руху дволанкового маніпулятора, який під дією керувань  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  (моментів сил у шарнірах системи) виконує транспортну операцію в горизонтальній площині: протягом заданого часу  $T$  переносить вантаж із заданого початкового положення  $(x_0, y_0)$  у задане кінцеве  $(x_T, y_T)$ . Швидкість вантажу на початку та в кінці руху вважаємо нульовою. Сформулюємо задачу оптимального керування. Знайти такі керування  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $t \in [0, T]$ , при яких маніпулятор виконає задану транспортну операцію з мінімальним значенням функціонала

$$E = \int_0^T [u_1^2(t) + u_2^2(t)] dt \quad (1)$$

Функціонал (1) часто використовують у задачах оптимального керування маніпуляційними системами. У разі, коли маніпулятор керується електродвигунами постійного струму, даний функціонал характеризує сумарну кількість тепла, яке виділяється в обмотках двигунів.

Розглядувана механічна система характеризується істотною нелінійністю рівнянь руху та взаємною залежністю рухів для різних узагальнених координат. Також системі притаманна кінематична надлишковість: заданому положенню захвата маніпулятора відповідають два набори значень кутових координат ланок. Усе це суттєво ускладнює практичне застосування методів теорії оптимального керування для розв'язання сформульованої задачі.

Ефективною в дослідженні даної задачі є методика параметричної оптимізації [1–3]. Кутові координати маніпулятора  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$  подаємо у вигляді лінійної комбінації заданих функцій з невідомими коефіцієнтами

$$f = \sum_{i=0}^3 c_i^f t^i + \sum_{i=1}^n [a_i^f g_i^f(t) + b_i^f g_{2i}^f(t)], \quad f \in \{\alpha, \beta\}, \quad (2)$$

де  $\{g_i^f, g_{2i}^f\}_{i=1}^n$  – задані на  $[0, T]$  функції параметризації,  $g_{ji}^f \in C^2[0, T]$ ,  $j = 1, 2$ ;  $\{a_i^f, b_i^f\}_{i=1}^n$  – коефіцієнти, які знаходимо в результаті розв'язання відповідної задачі нелінійного програмування;  $\{c_i^f\}_{i=0}^3$  – коефіцієнти полінома, за допомогою яких забезпечуємо виконання граничних умов транспортної операції. Необхідні для цього граничні значення  $\alpha_\tau$ ,  $\beta_\tau$  внаслідок кінематичної надлишковості маніпулятора визначаються (для заданих  $x_\tau$ ,  $y_\tau$ ) неоднозначно

$$\alpha(\tau) = \alpha_\tau^\pm, \quad \beta(\tau) = \beta_\tau^\mp, \quad \dot{\alpha}(\tau) = \dot{\beta}(\tau) = 0, \quad \tau = 0, T.$$

Набори значень  $\{\alpha_\tau^-, \beta_\tau^+\}$ ,  $\{\alpha_\tau^+, \beta_\tau^-\}$  відповідають різним напрямкам випуклості кінематичного ланцюга дволанкового маніпулятора в момент часу  $\tau$ . Загалом маємо чотири можливі конфігурації маніпулятора при  $\tau = 0, \tau = T$ : (I) –  $\{\alpha_0^-, \beta_0^+\}$ ,  $\{\alpha_T^-, \beta_T^+\}$ ; (II) –  $\{\alpha_0^-, \beta_0^+\}$ ,  $\{\alpha_T^+, \beta_T^-\}$ ; (III) –  $\{\alpha_0^+, \beta_0^-\}$ ,  $\{\alpha_T^-, \beta_T^+\}$ ; (IV) –  $\{\alpha_0^+, \beta_0^-\}$ ,  $\{\alpha_T^+, \beta_T^-\}$ . Зазначені граничні конфігурації враховуємо під час розв'язання досліджуваної задачі. Кутові швидкості  $\dot{\alpha}(t)$ ,  $\dot{\beta}(t)$  та прискорення  $\ddot{\alpha}(t)$ ,  $\ddot{\beta}(t)$ ,  $t \in [0, T]$ , обчислюємо диференціюванням (за часом  $t$ ) виразу (2).

Далі, після підстановки функцій  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$  та їх похідних  $\dot{\alpha}(t)$ ,  $\ddot{\alpha}(t)$ ,  $\dot{\beta}(t)$ ,  $\ddot{\beta}(t)$  у рівняння руху маніпулятора знаходимо параметричне сімейство керувань  $u_1(t, \mathbf{z})$ ,  $u_2(t, \mathbf{z})$ , де  $\mathbf{z} = (a_1^\alpha, b_1^\alpha, a_1^\beta, b_1^\beta, \dots, a_n^\alpha, b_n^\alpha, a_n^\beta, b_n^\beta)$  – вектор коефіцієнтів параметризації. В результаті функціонал (1) перетворюється у функцію багатьох змінних  $E(\mathbf{z})$ , що зводить вихідну задачу оптимального керування до задачі нелінійного математичного програмування  $E(\mathbf{z}) \rightarrow \min_{\mathbf{z}}$ .

З метою порівняння побудованих субоптимальних процесів маніпулятора для різних наборів функцій параметризації  $\{\mathcal{g}_{1i}^f, \mathcal{g}_{2i}^f\}_{i=1}^n$  у поданні (2) використовували: а) тригонометричні функції ( $\mathcal{g}_{1i}^f = \cos i \nu t$ ,  $\mathcal{g}_{2i}^f = \sin i \nu t$ ,  $\nu = 2\pi / T$ ); б) поліноми Чебишева ( $\mathcal{g}_{1i}^f = T_i(t)$ ,  $\mathcal{g}_{2i}^f \equiv 0$ ); в) -Лагерра ( $\mathcal{g}_{1i}^f = L_i(t)$ ,  $\mathcal{g}_{2i}^f \equiv 0$ ); г) -Лежандра ( $\mathcal{g}_{1i}^f = P_i(t)$ ,  $\mathcal{g}_{2i}^f \equiv 0$ ).

Проведено серію числових експериментів, результати яких підтвердили ефективність розроблених алгоритму та комп'ютерної програми (в середовищі MATLAB).

Аналіз отриманих даних свідчить, що для заданої транспортної операції субоптимальний закон руху дволанкового маніпулятора суттєво залежить від граничної конфігурації ланок. Зокрема, в рамках тригонометричних функцій параметризації для конфігурації (II) мінімальне значення функціонала (1) у три рази більше за аналогічну характеристику для конфігурації (I). У таблиці наведено окремі характеристики побудованих режимів руху маніпулятора для відповідної граничної конфігурації його ланок. Тут  $E^* = \min_{\mathbf{z}} E(\mathbf{z})$ ,  $u_i^\vee = \min_t u_i(t)$ ,  $u_i^\wedge = \max_t u_i(t)$ ,  $t \in [0, T]$ ,  $\Delta t$  (с) – тривалість розв'язання відповідної задачі параметричної оптимізації на комп'ютері Lenovo G555 (AMD Athlon II Dual-Core M230 2.10 ГГц, 2 ГБ). Відзначимо також, що серед зазначених вище наборів функцій параметризації тригонометричні функції показали найкращий (в сенсі мінімальності  $E^*$ ,  $u_i^\wedge$ ) результат.

Конфігурація	$E^*$	$u_1^\vee$	$u_1^\wedge$	$u_2^\vee$	$u_2^\wedge$	$\Delta t$
(I)	4.332	-0.910	1.356	-1.128	0.351	482.6
(II)	13.911	-2.371	2.126	-0.920	1.598	784.8
(III)	8.747	-1.601	2.132	-1.197	0.851	804.4
(IV)	4.391	-1.341	1.010	-0.358	1.052	701.0

#### Література

1. Демидюк М.В. Параметрична оптимізація чотириланкового замкнутого маніпулятора з активними й пасивними приводами // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2009. – 52, № 1. – С. 193-202.
2. Демидюк М.В. Оптимізація параметрів та режимів керування чотириланкового замкнутого маніпулятора // Прикл. проблеми мех. і мат. – 2013. – Вип. 11. – С. 51-62.
3. Демидюк М.В., Ширко М.І. Оптимізація режимів руху та параметрів дволанкового маніпулятора з активними і пасивними приводами // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2007. – 50, № 2. – С. 41-48.

## ЗАСТОСУВАННЯ SAS ENTERPRISE MINER ДЛЯ АНАЛІЗУ ДІЯЛЬНОСТІ БАНКІВСЬКОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Фінансова криза не зменшила дисбалансів в українській банківській системі, як і взагалі у світовій економіці. Політична криза в Україні, продовження бойових дій на Донбасі, неотримання чергових траншів допомоги МВФ призвели до подальшого зростання ризиків у банківській системі України. Перед центральним банком стоїть задача стабілізації фінансової системи країни. Інструментом вирішення цієї задачі є розробка та запровадження заходів обмеження ризиків діяльності банків. Для обмеження ризиків діяльності банків Національним банком було запроваджено вимоги дотримання банками економічних нормативів. Ці нормативи встановлюють граничні значення для більшості банківських ризиків. Граничні значення, які встановлені у інструкціях Національного банку, довгий час залишаються незмінними і вже не відповідають поточній економічній ситуації [1-3]. Тому необхідно застосовувати більш гнучкі засоби регулювання банківської системи, які базуються на сучасних інструментах аналізу фінансового ринку, зокрема які відносяться до інтелектуального аналізу даних, таких як різні методи класифікації, кластерний аналіз, нейронні мережі, тощо.

Аналіз стану банківської системи та окремого банку є важливою задачею. Проаналізуємо окремі показники діяльності банків з використанням кластерного аналізу. Проаналізовано дані діяльності українських банків за перше півріччя 2016 року [4]. Кластерний аналіз є частиною класифікаційних методів. Кластерний аналіз (англ. Data clustering) — задача розбиття заданої вибірки об'єктів (ситуацій) на підмножини, що називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися [5].

Застосування кластерного аналізу передбачає наступні етапи:

- відбір вибірки для кластеризації, у нашому випадку це банки;
- визначення характеристик, по яких будуть оцінюватися об'єкти у вибірці, ми обираємо показники рентабельності активів та капіталу, а також показник достатності капіталу;
- обрання методу обчислення значень міри схожості між об'єктами, застосування методу кластерного аналізу, який зветься метод К-середніх.

Кластеризація методом k-середніх (англ. k-means clustering) — впорядкування множини об'єктів в порівняно однорідні групи. Мета методу — розділити  $n$  спостережень на  $k$  кластерів, так щоб кожне спостереження належало до кластера з найближчим до нього середнім значенням [ 9]. Принцип алгоритму полягає в пошуку таких центрів кластерів та наборів елементів кожного кластера при наявності деякої функції  $F$ , що виражає якість поточного розбиття множини на  $k$  кластерів, коли сумарне квадратичне відхилення елементів кластерів від центрів цих кластерів буде найменшим:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} (p - m_i)^2$$

$k$  — заздалегідь вказана кількість кластерів,  $C_i$  — отримані кластери,  $m_i$  — центри відповідних кластерів.

Класифікаційні методи, зокрема кластерний аналіз реалізовані у більшості сучасних програмних аналітичних пакетах, таких як SAS, SPSS, Stata, Matlab, Statistica, тощо. У роботі для аналізу використано програму SAS Enterprise Miner [5].

Розгляд обмежимо показниками рентабельності банків, які є важливими для акціонерів банку та його вкладників та показником достатності капіталу, який є одним з найважливіших у процесі регулювання діяльності банку (не менше 10 %).



Кластерний аналіз показників рентабельності активів та рентабельності капіталу (задня стислості наведемо дані рентабельності капіталу):

Значення центрів кластерів рентабельності капіталу

Таблиця 1.

	Final Cluster Centers									
	Cluster									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рентабельність капіталу	-112.2	2.6	-1794124624.0	197027102380.0	-3340.9	51.6	-952003438208.0	-249.0	215426394156.0	-1012.5

Результати кластерного аналізу показників рентабельності активів та рентабельності капіталу (таб.1) свідчать про виважену стратегію отримання прибутку банками з іноземним капіталом, більшість яких попали у спільний кластер №6.

Значення центрів кластерів

Таблиця 2.

	Final Cluster Centers									
	Cluster									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
достатність капіталу	10.6	99.7	61.3	48.9	71.6	90.6	39.5	16.4	26.8	-8.1

Результати кластерного аналізу показників достатності капіталу свідчать про виважену стратегію банками підтримки показника Н2 вище встановленого значення не менше 10 %. Таблиця 2 свідчить про можливість (необхідність) перегляду критичних значень економічних нормативів (зокрема показника Н2), які регулюють банківську діяльність [3].

Висновки. Під час сучасної кризи в Україні, пов'язаною з російською агресією проти України, відбулося значне підвищення ризиків банківської діяльності. Національному банку необхідно розробити інструменти підтримки банків і посилити протидію зростанню ризиків, стабілізувати валютну політику, розробити та запровадити нові механізми кредитування економіки, закрити канали відтоку капіталу.

Найбільш виважену стратегію управління ризиками проводять банки за участю іноземного капіталу.

Методи Data Mining, зокрема кластерний аналіз, є потужними інструментами аналізу показників діяльності банків, збільшення кількості кластерів у методі k-середніх дозволяє покращити якість аналізу і виявляти аномальну поведінку окремих банків.

## Література

1. Кредитування та ризики: Навчальний посібник з шифром МО України / М.П.Денисенко, В.М. Домрачев. та ін. – К.: Видавничий дім “Професіонал”, 2008. – 480 с.
2. Домрачев В.М. Методи оцінки банком ризиків кредитування окремих галузей економіки України / В.М. Домрачев // Проблеми і перспективи розвитку банківської системи України: зб. наук. праць. – 2011. – Т. 31. – С. 63–70.
3. Домрачев В.М. Щодо регулювання діяльності комерційних банків в Україні / В.М.Домрачев, К.Є. Раєвський, Ю.М. Гудзь // Економіка і управління, №3, 2014, с. 120 – 129.
4. Національний банк України [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua>. – Дата звернення: 2016 р.
5. George Fernandez. Statistical Data Mining Using SAS Applications / Fernandez George – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010. – 466 p.

## КОРТЕЖНІ ОПЕРАТОРИ В ЗАДАЧАХ ГРУПУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З МАТРИЧНИМИ "ВЕКТОРАМИ ОЗНАК"

Прогнозування поведінки досліджуваних об'єктів є основною метою в наукових дослідженнях. В широкому плані ця мета досягається за рахунок використання інформації про структуру об'єкту: використання інформації про складові об'єкту та зв'язки між цими складовими для встановлення властивостей цих зв'язків у вигляді того, що класифікується як "поведінка". При цьому "об'єкт-структура" розглядається як те, що складається з частин-складових, пов'язаних одна з одними певною "зв'язками". Отже "структура" в широкому розумінні це "щось", що визначається: 1. складовими; 2. зв'язками. Що є "складовими", а що зв'язками – визначається природою конкретних галузей дослідження: конкретних наук. В математиці "складові" – це елементи певної множини, що є "універсальною" в тій чи іншій математичній області, а "зв'язки" – це тільки: 1. відношення; 2. операції; 3. функції; 4. набори підмножин (топология, вимірні простори); 5. комбінації перших чотирьох та конструкцій на їх основі. Загалом, будь яка галузь науки визначається об'єктами дослідження (структури відповідної галузі) та методами. В математиці методом дослідження є саме логічний метод. Загалом логіка – це наука про те, що вважати істинними твердженнями і як з одних істин отримувати інші. Оскільки логічний метод дослідження в математиці є вирішальним, то він в ній вивчався найбільш довершено в рамках математичної логіки: науки, яка розглядає абстрактні питання, пов'язані з отриманням математичної істини: тверджень-теорем, які отримані із істинних тверджень через побудови низки істинних тверджень, в якій, кожне наступне отримане з попередніх за допомогою певних "вивічених" правил: правил виводу (deduction rules). Використання математики в прикладних дослідженнях визначається саме можливістю використання методу дослідження в математиці: вивіреного способу отримання істинних тверджень, – щоб не конструювати в кожній науці свого. Все одне – нічого, крім логіки отримати не вдасться: тому що предметом логіки є саме дослідження того, як одні істинні твердження отримуються з інших так само – як і визначення того, що вважати істинним, а що – хибним твердженням.

Задачі групування інформації (GIP: Grouping Information Problem – задачі) є фундаментальним класом прикладних задач, що мають два основні прояви: чи у вигляді задачі відновлення залежності за її спостереженнями (function fitting), чи – задачі класифікації, кластеризації, розпізнавання образів. Зайве нагадувати, що постановка та розв'язання GIP-задачі є одним з етапів розв'язання задачі прогнозування в широкому розумінні.

Метод найменших квадратів (МНК) є поширеним та надійним засобом для function fitting – для розв'язання задач прогнозування. У "лінійному" варіанті вона зводиться до побудови псевдо розв'язків слушної СЛАР (системи лінійних алгебраїчних рівнянь). Вичерпне дослідження СЛАР уможливило існуюча техніка псевдо обернення (ПдО) за Муром-Пенроузом (див. наприклад, [1]) (М-П ПдО) як у скалярному так і у векторному випадку значень оцінюваної функції. Використання матричних аргументів, як і матричних функцій відгуку, є слушним в багатьох прикладних задачах, оскільки матриці надають широкі можливості опису структурних зв'язків між досліджуваними характеристиками. Отримання аналогічних скалярному та векторному можливостей МНК для матриць вимагає побудови конструктивної М-П ПдО – теорії для слушних евклідових матричних просторів чи кортежів на основі матриць. Цим вимогам повністю відповідають та звані "кортежні" оператори, запропоновані в [2] (див. [3]) для варіанту матричних кортежів. В [4] концепція кортежних операторів розвинена для кортежів із стовпчикових матричних кортежів. Запропонований клас операторів повністю відповідає вимозі "конструктивності": складність розв'язання задачі в матричних просторах відповідає і навіть зводиться до складності – для матриць як лінійних операторів над евклідовими просторами числових векторів. В тій самій

роботі [4] наведені приклади ефективного використання техніки кортежних операторів для реалізації множинної регресії з матричними аргументами і використання в задачах прогнозування.

Концепція кортежних операторів, що уможливорює перенесення засобів опису базових структур евклідового простору: лінійних та нелінійних, синглових та множинних, – створює умови для постановки та розв'язання ГІР – задач не тільки в частині function fitting, але й в задачах класифікації, кластеризації, розпізнавання образів для об'єктів, що представляються матрицями, тобто – для об'єктів з "матричними варіантами" векторів ознак. Типовими прикладними задачами такого роду є задачі розпізнавання мовної інформації та задача розпізнавання зображень. В першому випадку об'єкт представлений спектрограмою, у другому – само зображення за своєю природою з самого початку подається матрицею. Кортежні оператори, що надають можливості перенесення засобів конструктивного опису базових структур евклідових просторів числових векторів на евклідові простори матриць фіксованої розмірності, як і у випадку класичних векторів ознак, надають широкий спектр можливостей у побудові "відстаней відповідності": функціоналів, що описують "ступінь відповідності класу-кластеру", – через "занурення" у відповідні структури евклідових просторів. "Занурення" означає асоціацію з кожним із класів – кластерів слухної множинної структури, якими є: підпростори чи гіперплощини ("зміщені підпростори") та еліпси (еліпсоїди групування) групування – центральні та нецентральні, звичайні та мінімальні.

При цьому під "еліпсоїдами групування" маються на увазі циліндричні еліпсоїди: в  $R^n$  чи  $R^{m \times n}$ , – які оптимальним чином "накривають" навчальну вибірку кожного із класів – кластерів. "Оптимальність накривання" означає, що сума квадратів довжин проєкцій на кожну з осей такого еліпсоїду, – за визначення попередніх, – є максимальною серед всіх можливих напрямків, ортогональних вже визначеним. Довжина відповідних осей є прямо пропорційною згаданий максимальній сумі квадратів довжин проєкцій елементів навчальної вибірки класу – кластеру. Приклади застосування відповідної техніки можна знайти в [5-7]

## Література

1. Albert A. Regression and the Moore-Penrose pseudo inverse. [Text] / A.Albert. – М. : Nauka, 1977. – 305 p.
2. Donchenko V., Zinko T., Skotarenko F. 'Feature vectors' in grouping information problem in applied mathematics: vectors and matrixes / Problems of Computer Intellectualization. –Editors V.Velichko, O.Voloshyn, K.Markov. – Kyiv, Ukraine – Sofia, Bulgaria: 2012. – P.111–124.
3. Донченко В.С., Зинько Т.П. Концепция кортежности и её реализация для матричных кортежей / Проблемы управления и информатики. – 2016. – № 4. – С.87–99.
4. Donchenko V. S. Matrixes least squares method: examples of its application in macroeconomics and tv-media business [Text] / V.S.Donchenko, I.M.Nazaraga, O.V.Tarasova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – 4/4(70). – P.42-46.
5. Донченко В.С. , Голік А.О. Застосування еліпсоїдальної та ортогональної відстаней відповідності у задачах розпізнавання мови та жестів// Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, випуск №1. - 2013, серія фізико-математичні науки. – С. 146-155.
6. Volodymyr Donchenko, Andrew Golik Matrix Feature Vectors in Speech and Gesture recognition //International Journal "Information Theories & Applications ": ITHEA: Volume 20, Number 2. – 2013 . - P.143-155.
7. Зинько Т.П. Аналіз і синтез алгоритмів розпізнавання й класифікації та їх застосування в обробці мовних сигналів і зображень: дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 01.05.04 «Системний аналіз і теорія оптимальних рішень» / Зинько Т.П.; Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – Київ, 2012. –173 с.

## **ДЖОН НЭШ И ТЕОРИЯ ИГР**

23 мая 2015 года в возрасте 86 лет из жизни ушел Джон Форбс Нэш, выдающийся математик и экономист. Он погиб в автокатастрофе на территории штата Нью-Джерси вместе со своей женой Алисией Нэш (Алисией Лард). Всего за несколько дней до гибели Джон Нэш получил из рук короля Норвегии Харальда V премию Абеля за открытия, ставшие «важным инструментом исследования нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных».

В запланированной лекции для студентов математического факультета Ужгородского национального университета будет дан краткий обзор математических результатов Джона Форбса Нэша (1928–2015), связанных с теорией некооперативных игр. Основное внимание уделено понятию равновесия по Нэшу. На простых примерах показаны парадоксальность этого понятия и в то же время его естественность. Также рассмотрен вклад Нэша в теорию комбинаторных игр. В основе лекции лежит статья авторов [1].

В последние годы жизни Джон Нэш выступал на различных экономических форумах и конференциях с лекцией «идеальные деньги» [2]. По мнению Нэша, идеальные деньги будут привязаны к глобальным показателям мировой экономики и не будут подвержены инфляции. В основе концепции идеальных денег положен тот же теоретический фундамент, что и в основу теории некооперативных игр, а именно теория полезности фон Неймана-Моргенштерна. Согласно теории полезности денег, идеальные деньги являются ценностью не сами по себе, но проявляют свою ценность как носители полезности, будучи примененными в определенных сферах экономической деятельности, подобно воде или электроэнергии. Но эти идеи не могут быть приняты всерьез многими, поэтому Нэш предлагает альтернативные «асимптотически идеальные деньги», как более реалистичный вариант рациональной мировой валюты [3].

Но все же Джон Нэш навсегда останется в истории прежде всего как автор концепции «равновесие по Нэшу» (Nash equilibrium), являющейся ключевым понятием в современной теории игр и экономике. Выдающиеся математики современности так высказывались о концепции равновесия по Нэшу. Гарольд Кун, один из основоположников современной теории оптимизации, многолетний друг Джона Нэша: «в экономической теории 20-го века было не так много великих идей, но идея равновесия по Нэшу несомненно является одной из них». Роджер Майерсон, лауреат Нобелевской премии по экономике 2007 года: «идея равновесия по Нэшу дала толчок развитию экономической теории в такой же степени, как открытие двойной спирали ДНК дало толчок развитию биологии».

Концепция равновесия была впервые сформулирована Нэшем в диссертационной работе «Некооперативные игры» объемом 27 страниц. Работа написана им в 1949 году в возрасте 21 год. Впоследствии по материалам диссертации в 1994 году Джону Нэшу (совместно с Джоном Харшаньи и Рейхардом Зельтоном) была присуждена Нобелевская премия по экономике «за фундаментальный анализ равновесия в теории некооперативных игр».

Отметим, что концепция равновесия Нэша впервые использована вовсе не Нэшем. Ограничимся общеизвестным фактом. Еще в 1838 году А. О. Курно показал, как найти то, что впоследствии назвали равновесием Нэша, в игре Курно, описывающей взаимодействие фирм, конкурирующих объемами выпуска на рынке однородной продукции [4]. Соответственно, некоторые исследователи называют его равновесием Нэша-Курно. Однако Нэш первым показал в своей диссертации по некооперативным играм в 1949 году, что подобные равновесия должны существовать для всех конечных игр с любым числом игроков. До Нэша это было доказано только для игр с 2 участниками с нулевой суммой Джоном фон Нейманом и Оскаром Моргенштерном (1944). Причем в своей знаковой работе

[5] Нэш использовал теорему Какутани (1941) о неподвижной точке, так сказать, последнее слово аналитической техники 40-х годов 20 века.

Причудливость и парадоксальность концепции равновесия по Нэшу хорошо иллюстрирует такой пример.

Пусть некий «Чудо-банк» предлагает начисление 60 процентов за хранение вклада одни сутки, при этом фиксирована максимальная сумма вклада. В игре принимает участие два игрока-вкладчика. Пусть каждому из незнакомых друг с другом вкладчиков предлагают сделать вклады. Сделанные вклады суммируются, на полученную сумму начисляется 60 процентов, и на следующий день сумма с процентами делится пополам и раздается вкладчикам. Первый игрок рассуждает таким образом. Пусть я вложил сумму  $x \geq 0$ , а второй – сумму  $y \geq 0$ . Тогда моя прибыль составит

$$\frac{1,6}{2}(x+y) - x = 0,8y - 0,2x.$$

Данная величина при любом  $y$  достигает максимума при  $x=0$ , т.е. для первого игрока «не вкладывать ничего» является доминирующей стратегией. Аналогичным образом рассуждает и второй вкладчик, «не вкладывать ничего» – это тоже его доминирующая стратегия. Единственное равновесие достигается в точке  $(0, 0)$ , при этом выплаты составляют  $(0, 0)$ . В результате игроки не воспользовались «чудо-акцией» и ничего не заработали.

Данный парадокс объясняется тем, что точка равновесия по Нэшу не обязательно является оптимальной по Парето, поскольку каждый из игроков, максимизируя собственную выгоду, готов наносить другим игрокам ущерб, превышающий величину этой выгоды.

Этот тезис лежит в основе критики Джоном Нэшем теории экономического развития Адама Смита.

Адам Смит считал, что эгоизм и стремление к богатству не являются негативными чертами человека. Государство должно минимально вмешиваться в экономические процессы, оно должно создать условия свободного рынка. Свободный рынок в условиях конкуренции (невидимая рука) приводит к равновесной ситуации, обеспечивающей богатство, благополучие и развитие как отдельного человека, так и общества в целом.

Однако, данные рассуждения Адама Смита не принимают во внимание, что предприниматель в погоне за прибылью может осуществлять не только общественно полезные шаги, но и вредить обществу в целом. К таким шагам следует отнести хищническое использование природных ресурсов, выпуск и агрессивная реклама продукции, заведомо вредной для здоровья (алкоголь, табак), «индустрия гламура», организация азартных игр и ряд других.

## Література

1. Доценко С.И., Семенов В.В. Памяти Джона Нэша // Ж. обчисл. та прикл. матем. – 2015. – №3 (120). – С. 141-151.
2. Nash J. F. Ideal Money // Southern Economic Journal. – 2002. – Vol.69, No.1. – P. 4-11.
3. Нэш Дж. Ф. Идеальные и асимптотически идеальные деньги // Российский журнал менеджмента. – 2008. – Т. 6, №4. – С. 3-16.
4. Cournot A. Recherches sur les Principes Mathematiques de la Theorie des Richesses. – Paris: Hachette, 1838.
5. Nash J. F. Non-Cooperative Games // The Annals of Mathematics. – 1951. – Vol.54, N.2. – P. 286-295.

## ПРО ФОРМУЛУ ОБЧИСЛЕННЯ ЗАРОБІТНОЇ ПЛАТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОЦІНОК ВАРТОСТІ ПРОЖИТКОВОГО МІНІМУМУ

Наведено обґрунтування формули обчислення заробітної плати працівників держаних і приватних організацій, яка може бути використана при прийнятті рішень про необхідну і справедливу оплату їх праці у відповідності до Законів України [1,2].

1. Заробітна плата є грошовим виразом: «мінімуму засобів існування», «життєво необхідних засобів», «життєвих засобів людини, щоб вона могла працювати і жити»; «ціни праці». Такі визначення для заробітної плати давали основоположники теорій фізичної економії (Г. Лейбніц, Ф. Кене ) та політекономії (В. Петті, А. Сміт, Д. Рікардо) тощо [3, 4].

Відповідно до прийнятих Законів України заробітна плата працівників державних і приватних організацій має забезпечувати їх купівельною спроможністю щодо товарів і послуг необхідних для забезпечення життєвого рівня відповідно до прийнятих норм їх споживання, зокрема не менше норм прожиткового мінімуму [2], які мають покращуватись у відповідності до Закону [1] не рідше одного разу на п'ять років.

Заробітна плата має забезпечувати добробут не нижче гарантованого державою Україна прожиткового мінімуму як окремої працездатної людини, так і його сім'ї, в якій народжуються, ростуть, навчаються і виховуються діти, зокрема «стандартної сім'ї» із чотирьох осіб – чоловік, жінка і двоє дітей, що забезпечує просте і розширене відтворення народонаселення держави – українського народу.

2. Прожитковий мінімум (споживчий кошик) окремої особи і сім'ї в цілому на місяць в грошових одиницях (грн.) на вказану дату (рік/місяць) – це є характеристика купівельної спроможності стосовно набору продуктів харчування, непродовольчих товарів та послуг, що відповідають нормам споживання, обґрунтованих експертами і затверджених Урядом [2].

Відповідно до Закону [1] вартісна величина прожиткового мінімуму використовується для встановлення розмірів мінімальної заробітної плати та мінімальної пенсії за віком тощо.

Моніторинг прожиткового мінімуму і обчислення оцінок його вартості, таким чином, може бути основою для обґрунтування законодавчо встановлюваного (Урядом і Верховною Радою) розміру прожиткового мінімуму та гарантованого розміру заробітних плат для працівників державних і приватних організацій і доходів їх сімей.

У відповідності до потреб та встановлених норм їх задоволення оцінки вартості  $P$  прожиткового мінімуму можуть бути обчислені за формулою:  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7$ , де  $P_1$  – оцінка вартості харчів;  $P_2$  – оцінка вартості лікарських послуг, ліків та інших витрат на забезпечення здоров'я (1/12 витрат на рік);  $P_3$  – оцінка вартості одяжі і взуття (1/12 витрат на рік);  $P_4$  – сумарна оцінка вартості житла (житлово-комунальних послуг) на місяць та витрат на побутово-житлові товари та послуги (1/12 витрат на рік);  $P_5$  – оцінка вартості витрат на навчання, культурно-освітні потреби та відпочинок (1/12 витрат на рік);  $P_6$  – оцінка вартості транспортних витрат (при користуванні громадським транспортом);  $P_7$  – оцінка вартості витрат на зв'язок (телефон, Internet) [5, 6].

Кожна із складових  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, 7$ , які використовуються для обчислення оцінок вартості  $P$  прожиткового мінімуму, повинна обчислюватись у відповідності до норм споживання та розрахованих на вказану дату (рік/місяць) середньостатистичних ринкових цін на відповідні продукти харчування, непродовольчі товари та послуги.

Для обчислення значень указаних вище оцінок вартості прожиткового мінімуму можуть бути використані різні відомі методи [5] і, зокрема, нормативно-статистичний метод [6]. Цей метод і відповідна йому комп'ютерна програма забезпечують обчислення значень

указаних оцінок за даними на вказану дату: про норми споживання [2] і обчислені середньостатистичні ринкові ціни на них; значень цих оцінок та їх складових, які отримані від експертів, що проживають у різних областях України; значень оцінок, отриманих від проведених соціологічних досліджень.

3. Використовуючи обчислені оцінки вартості прожиткового мінімуму і законодавчо встановлені на їх основі прожитковий мінімум  $P_{\min}$  і мінімальну заробітну плату  $S_{p\min}$  для працездатної особи та прожитковий мінімум для дітей відповідно  $P_{\partial 6}$  - до 6 років і  $P_{\partial 18}$  - від 6 до 18 років, обчислення заробітної плати працівникам державних і приватних організацій можна здійснювати за державною Єдиною тарифною сіткою з використанням формули

$$S_{\alpha} = \alpha \cdot \hat{S}_{p\min} + S_{\partial} \quad (\text{або} \quad S_{\alpha} = \alpha \cdot s_1 \cdot M_T + S_{\partial}),$$

де  $\alpha$  – тарифний коефіцієнт Єдиної тарифної сітки; кожна посада належить до певного розряду з відповідним тарифним коефіцієнтом і, таким чином, для кожного розряду існує визначений розмір зарплати  $S_{\alpha} = \alpha \cdot \hat{S}_{p\min}$ ,  $1 \leq \alpha \leq 5$ ;

$\hat{S}_{p\min}$  – величина зарплати працівника першого тарифного розряду (при  $\alpha = 1$ ), яка може перевищувати розмір мінімальної заробітної плати  $S_{p\min}$ , ( $\hat{S}_{p\min} \geq S_{p\min}$ ) та не може бути менше розміру законодавчо встановленого прожиткового мінімуму, тобто  $\hat{S}_{p\min} \geq S_{p\min} \geq P_{\min}$  (згідно із законодавством – Закону «Про оплату праці» та «Кодексу законів про працю»);

$s_1$  – погодинна оплата праці працівників першого тарифного розряду (при  $\alpha = 1$ ), а  $s_{\alpha} = \alpha \cdot s_1$  – погодинна оплата праці – з тарифним коефіцієнтом  $\alpha$ ;  $M_T$  – законодавчо встановлена кількість робочих годин на місяць, при цьому має бути  $s_1 \cdot M_T \geq \hat{S}_{p\min}$ ;

$S_{\partial}$  – складова зарплати, як виплата на дітей, яку мають забезпечувати організації своїм співробітникам, наприклад, така  $S_{\partial} = \beta \cdot (k_1 \cdot P_{\partial 6} + k_2 \cdot P_{\partial 18})$ , де  $\beta = 1$  або  $\beta = \frac{5-\alpha}{4} \leq 1$ ,  $k_1 + k_2$

- кількість дітей в сім'ї співробітника:  $k_1$  - до 6 років,  $k_2$  - від 6 до 18 років. Ця допомога на дітей у суспільстві, що переживає демографічну кризу і прагне забезпечити своє відтворення і розвиток, потребує відповідної законодавчої підтримки.

## Література

1. Закон України про прожитковий мінімум. – Відом. Верх. Ради, 1999, № 38. – с. 348.
2. Норми прожиткового мінімуму, які затверджені Урядом України. 14 квітня 2000 р. № 656. – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/>.
3. Заробітна плата.-- Вікіпедія. -- <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
4. Канигін Ю.М., Кушерець В.Ш. Фізична економія: (Енергія історичного прогресу). – Київ: Знання України. 2016. – 47 с.
5. Людвиченко В.О., Тарасенко Т.А. Прожитковий мінімум і обчислення його вартості. / Журн. «Персонал», № 2 (146), 2010. – с. 18–24.
6. Дяченко М. П., Людвиченко В.О., Тарасенко Т.А. Про нормативно-статистичний метод обчислення оцінок вартості прожиткового мінімуму і його програмну реалізацію – Праці міжн. наук. школи-семін. «Питання оптимізації обчислень (ПОО-ХЛІІ)», Київ: Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ, 2015. – С.174–175.

## О ДВУХ МОДИФИКАЦИЯХ $r$ -АЛГОРИТМА

Более 40 лет назад был разработан субградиентный алгоритм минимизации с растяжением пространства в направлении разности двух последовательных градиентов –  $r$ -алгоритм [1]. Практика использования  $r$  – алгоритма показывает, что до сих пор он является одним из наиболее эффективных алгоритмов негладкой оптимизации. Однако теоретическое исследование эффективности  $r$  – алгоритма далеко не закончено (даже для класса выпуклых функций).

В докладе будут представлены два субградиентные алгоритма оптимизации с преобразованием пространства:  $\alpha(\varepsilon)$ -алгоритм и  $r(\sigma)$ -алгоритм. Эти алгоритмы содержат основной элемент  $r$ -алгоритма – использование операторов растяжения пространства с большими коэффициентами (в отличие, например от метода эллипсоидов).

Краткая характеристика  $\alpha(\varepsilon)$ -алгоритма состоит в следующем. Алгоритм основан на использовании:  $\varepsilon$ -субградиентов; процедуры одномерного спуска; построении эллипсоидов локализации  $\varepsilon$ -решения; операторов преобразования пространства. Существенным параметром алгоритма является коэффициент уменьшения объема локализатора  $\varepsilon$ -решения на каждой итерации алгоритма  $q$ . Параметр  $q$  определяет программно вычисляемые значения коэффициентов операторов растяжения пространства. Получена следующая оценка трудоемкости  $\alpha(\varepsilon)$ -алгоритма для решения задачи  $\varepsilon$ -оптимизации. Для числа итераций  $k$  алгоритма, за которые он обеспечивает решение  $2\varepsilon$ -оптимизации, справедлива следующая оценка:  $k \leq n \ln(1/\gamma) / \ln(1/q)$ , где  $\gamma$  – относительная точность решения задачи. Численные эксперименты показывают, что (по числу итераций) эффективность  $\alpha(\varepsilon)$ -алгоритма сравнима с эффективностью  $r$ -алгоритма Н.З. Шора. Однако трудоемкость одной итерации  $\alpha(\varepsilon)$ -алгоритма существенно больше.

Краткая характеристика  $r(\sigma)$ -алгоритма состоит в следующем. Вычислительная схема  $r(\sigma)$ -алгоритма соответствует  $r$ -алгоритму. Отличие состоит лишь в следующем. Вместо оператора растяжения  $R_\alpha(\eta)$  будет использоваться следующий оператор  $\tilde{R}_\sigma(\tilde{\eta}) = \sigma \tilde{\eta} \tilde{\eta}^T + I$ . Здесь  $\tilde{\eta}$  – вектор  $R^1$ ,  $\sigma$  - нормирующий множитель,  $\sigma \in R^1$ ,  $\sigma > 0$ . В отличие от оператора  $R_\alpha(\eta)$ , вектор  $\tilde{\eta}$  не нормирован, то есть выполнение условия  $|\tilde{\eta}| = 1$  не требуется. Различные варианты алгоритма будут определяться выбором нормирующего множителя  $\sigma$ . Легко видеть, что, если  $|\tilde{\eta}| \neq 0$ , то  $\tilde{R}_\sigma(\tilde{\eta}) = R_\alpha(\tilde{\eta} / |\tilde{\eta}|)$ , где  $\alpha = 1 + \sigma |\tilde{\eta}|^2$ . Таким образом, величины коэффициентов растяжения пространства на итерациях  $r(\sigma)$ -алгоритмов не постоянны, они вычисляются в процессе его работы. Алгоритмы не требуют использования процедуры одномерного спуска по направлению. Они могут использоваться с постоянным шаговым множителем. Вычислительная схема  $r(\sigma)$ -алгоритмов с постоянным шагом в некотором смысле проще схемы  $r$ -алгоритма. Это позволяет автору надеяться на возможность теоретического исследования эффективности  $r(\sigma)$ -алгоритмов.

### Литература

1. Шор Н.З., Журбенко Н.Г. Метод минимизации, использующий операцию растяжения пространства в направлении разности двух последовательных градиентов. Кибернетика. - Киев: Наук. думка, 1971. - №3 . – С. 51-59.
2. Шор Н.З. Методы минимизации недифференцируемых функций и их применение. Киев: Наук. думка, 1979. – 200 с.



## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ

Многокритериальные задачи оптимизации составляют широкий класс задач принятия решений (ПР). Для их решения в четких условиях разработано значительное число методов и алгоритмов, обзор которых приведен в монографиях [1,2].

Однако задача принятия МК-решений существенно усложняется в условиях неопределенности, когда ряд параметров и критериев являются нечеткими. Для таких задач требуется разработка специальных подходов и методов решения.

Рассмотрим задачу принятия решений с несколькими критериями в нечетких условиях

$$\max\{f_i(X, C_i), i = 1, m\} \quad (1)$$

при условиях

$$X \in G(A) = \{X: g_k(X, a_k) \leq 0, k = 1, K, \quad (2)$$

где

$$X = [x_j], j = \overline{1, n}; \quad C_i = [c_{ij}], j = \overline{1, n}; \quad a_k = [a_{kr}], k = \overline{1, K}, r = \overline{1, R}, \quad (3)$$

$c_{ij}$  – нечеткие числа (НЧ) с известной функцией принадлежности (ФП)  $\mu(c_{ij})$

$a_k = [a_{kr}]$  – НЧ с ФП  $\vartheta(a_{kr})$ .

Такую задачу назовем многокритериальной задачей нечеткого математического программирования (МК НМП). Введем в рассмотрение подмножества уровня  $\alpha$ :

$$C_{ij}^\alpha = \{c_{ij}: \mu(c_{ij}) \geq \alpha\}, \quad a_{kr}^\alpha = \{a_{kr}: \vartheta(a_{kr}) \geq \alpha\}, \quad \text{где } \alpha \in (0, 1). \quad (4)$$

Для дальнейшего введем в рассмотрение нечеткие матрицы уровня  $\alpha$ :

$$C^\alpha = \{\|c_{ij}\|: \mu(c_{ij}) \geq \alpha\}, \quad A^\alpha = \{\|a_{kr}\|: \vartheta(a_{kr}) \geq \alpha, k = \overline{1, K}, r = \overline{1, R}\}. \quad (5)$$

По аналогии с четкими задачами введем понятие Парето-оптимального решения уровня  $\alpha$ .

**Определение 1.** Парето-оптимальным решением уровня  $\alpha$  назовем такое решение  $X^*$  со значениями нечетких параметров  $C^*, A^*$ , для которого не существует другого решения  $\tilde{X}$  со значениями нечетких параметров  $\tilde{C}, \tilde{A}$ , такого, что

$$f_i(\tilde{X}, \tilde{C}) \geq f_i(X^*, C^*), i = \overline{1, m} \quad (6)$$

при условиях  $C^* \in C^\alpha, \tilde{C} \in C^\alpha$  и хотя бы одно из неравенств (6) будет строгим.

Парето –оптимальное решение уровня  $\alpha$  обладает следующим свойством.

**Утверждение.** Пусть  $\alpha_1 > \alpha_2$ , а  $X_{\alpha_1}^*$  и  $X_{\alpha_2}^*$  Парето- оптимальные решения уровней  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  соответственно. Тогда

$$f_i(X_{\alpha_1}^*, C_{\alpha_1}) \leq f_i(X_{\alpha_2}^*, C_{\alpha_2}), i = \overline{1, m} \quad (7)$$

Поскольку множество Парето-оптимальных решений уровня  $\alpha$  достаточно велико, в общем случае может быть несчетным множеством, то возникает проблема выбора одного из них ( в некотором смысле, наилучшего).

С этой целью осуществим эквивалентное преобразование критериев и приведем их к безразмерному виду:

$$f_i^H(X, C_i^\alpha) = \frac{f_i(X, C_i^\alpha) - f_{imin}^\alpha}{f_{imax}^\alpha - f_{imin}^\alpha}, \quad (8)$$

где  $f_{imax}^\alpha = \max f(X, C_i), f_{imin}^\alpha = \min f(X, C_i), C_i \in C_i^\alpha$ .

При этом

$$X \in G(A). \quad (9)$$

Введем веса критериев  $\{w_i\}$ :

$$w_i \geq 0, \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (10)$$

Будем искать такой вектор  $X^0$ , для которого

$$\min_i w_i f_i^H(X, C_i^\alpha) = \max_x \quad (11)$$

Условие (11) можно переписать в следующем эквивалентном виде

$$w_i f_i^H(X, C_i^\alpha) \geq k_{0max}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (12)$$

Назовем решение, удовлетворяющее (12) при максимальном значении  $k_{0max}$ , наилучшим компромиссным решением МК НМП задачи уровня  $\alpha$ .

Справедливы следующие теоремы, устанавливающие связь между Парето-оптимальными решениями уровня  $\alpha$  и наилучшим компромиссным решением.

**Теорема 1.** *Если существует единственное решение  $X^*$  системы нестрогих равенств (12), то это решение будет Парето – оптимальным решением уровня  $\alpha$  МКНМП- задачи.*

Таким образом, единственное компромиссное решение уровня  $\alpha$  будет обязательно и Парето- оптимальным решением.

Если же существует несколько решений системы (12), то для нахождения Парето-оптимального решения необходимо использовать дополнительный критерий

$$F_1(X, C^\alpha) = \sum_{i=1}^m w_i f_i^H(X, C_i^\alpha) \quad (13)$$

и найти максимизирующее решение. Оно и будет Парето- оптимальным.

**Теорема 2** (обратная). *Пусть  $X^*$  является Парето- оптимальным решением уровня  $\alpha$ . Тогда существуют такие веса  $\{w_i\}$  что  $X^*$  будет наилучшим компромиссным решением МК НМП – задачи уровня  $\alpha$ .*

В докладе приводятся доказательства этих теорем. Рассматриваются также примеры решения многокритериальных задач нечеткого линейного программирования и нахождение Парето- оптимальных и наилучших компромиссных решений.

## Литература

1. Зайченко Ю.П. Теорія прийняття рішень. Підручник для студентів з грифом МОНУ. Київ: НТУУ «КПІ», 2014.-412 с.-
2. Згуровский М.З., Зайченко Ю.П. Модели и методы принятия решений в нечетких условиях . К.: Изд. « Наукова думка», 2011.- 352 с.

## **ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОТИПОЖЕЖНИМ ЗАХИСТОМ**

Створення і впровадження автоматизованих систем управління протипожежним захистом (далі – АСУ ППЗ) об'єктів різного призначення є складним і трудомістким процесом. Це пояснюється багатокомпонентністю системи, необхідністю впровадження прогресивних і складних методів управління, системністю підходу при розробці окремих підсистем, складністю комплексу технічних засобів, а також необхідністю об'єднання АСУ ППЗ з іншими автоматизованими системами різного призначення, які використовуються на об'єкті.

Автоматизована система попередження пожеж і вибухів призначена для автоматизованого управління профілактичними роботами, автоматизованого вирішення завдань щодо запобігання пожежо- та вибухонебезпечних режимів. Автоматизована система управління протипожежним захистом призначена для автоматизованого і автоматичного виконання функцій з гасіння пожеж, вибухозахисту, димовидалення, оповіщення та управління евакуації. Автоматизована система управління протипожежним захистом включає до свого складу системи пожежогасіння, вибухозахисту, пожежної сигналізації, протидимного захисту, оповіщення та евакуації людей, зв'язку та оперативного управління.

Зазначимо, що у складі більшості АСУ прийнято виділяти функціональну частину і частину забезпечення. У нашому випадку функціональна частина поділяється на підсистеми, що виконують основні функції управління об'єктом автоматизації. Необхідність виділення функціональних підсистем визначається складністю управління сучасними системами.

Одним із головних завдань структурного аналізу АСУ є побудова наочної формальної моделі, що відображає процес взаємодії між елементами або підсистемами, які складають систему, а також їх взаємодія з зовнішнім середовищем.

Внутрішню будову АСУ характеризують структурами, що описують стійкі зв'язки між їх елементами [2]. При цьому використовують наступні види структур й моделей, що відрізняються типами елементів та зв'язків між ними:

- організаційна структура і її модель;
- функціональна структура і її модель;
- алгоритмічна структура та її модель;
- технічна структура та її модель;
- програмна структура та її модель;
- інформаційна структура та її модель.

Наявність єдиної інформаційної бази означає, що слід автоматизувати не тільки процеси обробки даних, але оформлення і збір вихідних даних. При цьому необхідно прагнути до однократного вводу даних в систему і багаторазового їх використання.

Інформаційна підсистема автоматично збирає дані про значення параметрів, що характеризують стан об'єкту автоматизації та хід процесів на ньому, шляхом знімання показань з датчиків і інших приладів та передає інформацію оператору і керуючій підсистемі. Інформаційна структура визначається в основному функціональним призначенням системи і характером зв'язків між підсистемами, які вирішують загальну задачу управління об'єктом.

### **Література**

1. Землянский А.Н., Литвинов В.В., Снитюк В.Е. Неопределенность и причинно-следственный принцип оптимизации систем пожарного мониторинга // Математичні машини і системи. – 2011. – № 1. – С. 82-89.
2. Павлов А. А., Гриша С. Н., Томашевский В. Н. Основы системного анализа и проектирования АСУ. – М.: Высшая школа, 1991. – 367 с.

## **ПОБУДОВА РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТОРА З УРАХУВАННЯМ МУЛЬТИКОЛІНЕАРНОСТІ**

Суттєву частку в собівартості продукції металургійного виробництва сталевих заготовок мають вогнетриви, які застосовуються як у електродугових печах, так і в конвертерах з кисневим способом виплавки сталі. Підвищення терміну роботи однієї футеровки конвертера не лише забезпечує тривалу безперебійну роботу, а відтак і вищу продуктивність агрегату, а й дозволяє суттєво зменшити витрати на вогнетриви.

Стійкістю футеровки називається її здатність протистояти різним впливам зі збереженням протягом тривалого часу будівельної міцності і початкових геометричних форм робочої камери [1]. Футеровка конвертера піддається хімічним, фізичним, термічним, механічним впливів, на її стійкість впливає також геометрія робочої камери і режими експлуатації конвертера.

Стійкість футеровки зазвичай вимірюється числом плавів від одного капітального ремонту до іншого. При роботі без систематичного торкретування (зміцнення шляхом розпилення гарячого шлаку, що потім застигає на поверхні) стійкість футеровки на вітчизняних підприємствах може становити близько 1000 плавів, що не порівняно з іноземними аналогами, де нормальними вважають показники у 5000-7000 плавів на сесію, а рекорди сягають 14-15 тисяч [2].

На сьогодні є дві основні концепції експлуатації футеровки. Перша має за основу постійний догляд за футеровкою і забезпечення її максимального строку служби, друга – використання високотехнологічних матеріалів, які мають гарантований термін використання, після якого мають замінюватись [1].

Підприємства України та близького зарубіжжя знаходяться в певних специфічних умовах в плані забезпечення необхідної стійкості футеровки конверторів. Як показує аналіз, раціональною з економічної точки зору є стійкість 300-тонного конвертора на рівні близько 4000-5000 плавів, оскільки подальші затрати на догляд за футеровкою перевищують вартість нової футеровки. Для 160-тонного конвертора ця цифра складає близько 6000-7000 плавів.

При дослідженні впливу різних факторів на стійкість шлакового гарнісажу і футеровки конверторів виявлено [3], що наведення багатого MgO шлаку шляхом використання магнезійних шлакоутворюючих матеріалів (м'яко обпеченого доломіту і доломітизованого шпату) в більшому ступені сприяє підвищенню стійкості футеровки, аніж підвищення якості огнетривкої цегли для кладки футеровки і вдосконалення технології плавки.

Раніше авторами було показано [4], що вся множина факторів, які впливають на стійкість футеровки, може бути поділена на три категорії:

- 1) Технічні (якість застосованих вогнетривких матеріалів; схема кладки);
- 2) Експлуатаційні (пора року; номер конвертера; інтенсивність роботи);
- 3) Технологічні (параметри ведення плавки; способи догляду за футеровкою протягом кампанії).

Раніше було отримане рішення задачі, яке враховувало перші дві категорії, а саме двоетапна модель класифікації спочатку за категорійними параметрами, а потім за числовими. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити простір пошуку, за рахунок формулювання для більшості виділених кластерів простих регресійних моделей з високою точністю прогнозування.

В розвиток згаданого дослідження було отримано багатфакторну модель, що є лінійною комбінацією окремих регресійних моделей по технологічних факторах, що можуть контролюватися в ході виготовлення сталі в конвертері.

В якості впливових в ході консультацій з металургами ПАТ «ЄВРАЗ –ДМЗ» (м. Дніпро) були розглянуті наступні фактори:

- відсоток плавок з додувкою, %;
- середній вміст в чавуні Si, %;
- середній вміст в чавуні Mn, %;
- відсоток плавок з пониженим вмістом вуглецю  $C \leq 0,1\%$ , %;
- відсоток плавок, при яких температура перевищувала  $1640^{\circ}\text{C}$ , %;
- середній вміст заліза в шлаку, %;
- середній вміст MgO в шлакові, %;
- відсоток плавок з азотуванням, %;
- використання плавикового шпату за час роботи футеровки, т.

За допомогою множинного кореляційного аналізу була побудована модель, що включає в себе усі фактори, які впливають на стійкість футеровки з певними коефіцієнтами.

Коефіцієнт детермінації отриманої моделі має значення більше за 0,8. Відтак, можна говорити за достатню якість отриманої моделі, що дає змогу використовувати отриману модель у подальшому на інших підприємствах для того, щоб коригувати необхідні параметри для виходу футеровки на заданий рівень стійкості.

За допомогою алгоритму Фарарра-Глобера було виявлено наявність мульти-колінеарності між факторами. Також була досліджена ступінь впливу кожного фактора на функцію цілі (стійкість футеровки). Порівнюючи значення коефіцієнту детермінації та коефіцієнту лінійної регресії, фактори були поділені на ті, що мають найбільш виражену лінійну залежність, та ті, у яких яскраво виражена нелінійна залежність.

За допомогою алгоритму Брандона, по критерію Дарбіна-Уотсона оцінено види зв'язку між стійкістю футеровки і кожним окремим фактором, що впливає на неї нелінійно. Також здійснено перевірку на відсутність автокореляції у кожній парі.

В ході статистичного аналізу виявлено, що найбільший лінійний вплив на стійкість футеровки мають відсоток плавок з вмістом вуглецю менше 0,10%, відсоток плавок при температурі більше  $1640^{\circ}\text{C}$ , а також середній відсоток вмісту заліза в шлаку.

Встановлено, що суттєвий нелінійний вплив мають такі фактори як: середній відсоток вмісту у чавуні кремнію, середній відсоток вмісту марганцю в чавуні, кількість плавикового шпату, але найбільший - відсоток азотувань.

Саме за допомогою дослідження реакції футеровки на лінійні фактори, побудована з допомогою даної регресійної моделі система контролю стійкості футеровки дозволить збільшувати термін роботи останньої шляхом керування факторами. Актуальним вбачається також зведення лінійних, нелінійних та класифікуючих моделей в єдину систему керування стійкістю футеровки, яка б мала практичне застосування на широкому колі металургійних підприємств.

## Література

1. Физическое моделирование движения частиц магнетита в расплавленных металлургических шлаках [текст] / Семькина А.С., Шатоха В.И. // Металлургическая и горнорудная промышленность / 2011. - №3.
2. Аксельорд Л.М. Повышение стойкости футеровки конвертора: огнеупоры, технологические приемы [текст] / Л.М. Аксельорд, А.П. Лаптев, В.А. Устинов, Ю.Д. Герашук // Металл и литье Украины – 2009. – №1-2. – с. 9-19.
3. Пантейков С.П. Анализ мирового развития и современное состояние технологий ошлакования футеровки кислородных конвертеров [текст] / С.П. Пантейков // Бюллетень «Черная металлургия» - №6 – 2013. – с. 65-78.
4. Желдак Т.А. Використання технології OLAP для прогнозування стійкості футеровки конвертера [текст] / Т.А. Желдак // Праці VII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, УжНУ, 2014. – с. 105-106.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

**Введение.** Информационные технологии (ИТ) переработки графической информации, в которых решается задача локализации текстовых областей (ТО) на изображениях со сложным фоном, находят широкое применение при решении различных прикладных заданий, таких как бухгалтерский документооборот, охранная деятельность, робототехника, учет транспорта, идентификация продукции, поиск текстовой информации в мультимедийных коллекциях.

**Цель исследования.** Разработка ИТ локализации текстовых областей на изображениях, которая позволит улучшить показатели точности выделения текста в ситуации сложных графических сцен.

**Основная часть.** Разработанная ИТ содержит два этапа [1]. На первом этапе, подготовительном (этапе обучения), выполняются следующие процедуры:

- создание обучающей выборки, которая представляет собой набор искусственно созданных изображений ТО (бинарных, полутоновых или цветных в зависимости от прикладной задачи) на основе применения вероятностной модели представления символа [2];
- выбор структур и обучение сверточных нейронных сетей (СНС) для обнаружения ТО-кандидатов и локализации ТО [3, 4].

На основном этапе используются предварительно обученные СНС, которые с помощью корреляционно-экстремального метода обнаружения ТО и усовершенствованного метода локализации ТО выполняют окончательную классификацию ТО-кандидата на два класса: «текстовая область» и «не текстовая область» [3, 5].

Следует отметить, что для обнаружения и локализации ТО не нужна точность в один пиксель, так как локализованная ТО в дальнейшем должна сегментироваться на области изображений отдельных символов для распознавания последних. Несмотря на низкие значения критерия Прэтта, погрешность локализации ТО лежит в пределах  $\pm 4$  пикселя, что не превышает половины изображения символа на малых масштабах. Поэтому для оценки качества локализации предлагается модифицировать критерий Прэтта таким образом, чтобы расстояние между точками контура учитывалось только при условии, если оно превышает некоторый порог в пикселях.

Результаты оценки качества обнаружения ТО на изображениях с использованием СНС представлены в табл. 1. Контрольная выборка для выполнения тестирования сформирована из 500 изображений сложных графических сцен, полученных из новостных или рекламных телевизионных роликов, фильмов, а также изображений вагонов, автомобилей и т.д. с помощью инструмента поиска изображения Google и базы данных конкурса алгоритмов искусственного интеллекта ICDAR 2011 Robust Reading Competition [6].

Результаты оценки качества обнаружения текстовых областей

Таблица 1.

Условия формирования обучающей выборки		$Pr, \%$	$Rc, \%$	Ошибка I рода, %	Ошибка II рода, %
без использования вероятностной модели представления символа текста		77,7	80,0	22,3	20,0
с использованием вероятностной модели представления символа	полутоновые изображения	87,7	86,6	12,1	12,9
	цветные изображения	87,3	87,2	12,4	12,7

Проведена проверка работоспособности предложенной ИТ локализации ТО. Точность локализации ТО на изображениях из обучающей выборки составила 99,9 %, а из контрольной выборки – 87,7 %

Примеры локализации ТО на реальных изображениях, полученные с использованием разработанной ИТ, приведены на рис. 1.



Рис. 1. Результат функционирования программы ИТ локализации:

а – исходное изображение; б – результат локализации текстовой области

Выводы. Предложенная информационная технология локализации текстовых областей на изображениях значительно улучшила показатели точности выделения текста в ситуации сложных графических сцен.

### Литература

1. Антошук, С. Г. Информационная технология локализации текстовых областей на сложном фоне / С. Г. Антошук, А. А. Николенко, Тьен Т. К. Нгуен // Электротехнические и компьютерные системы . – 2014. – № 16 (92). – С. 114 – 121.
2. Антошук, С. Г. Метод локализации текста на изображении с обучением на основе вероятностной модели символов / С. Г. Антошук, А. А. Николенко, Тьен Т. К. Нгуен // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2014. – ХНУ. – № 3. – С. 79 – 84.
3. Николенко, А. А. Локализация текстовых областей на изображениях с использованием сверточной нейронной сети / А. А. Николенко, О. Ю. Бабилунга, Т. Т. К. Нгуен // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія : Інформатика та моделювання : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 19 (992). – С. 121 – 127.
4. Антошук, С. Г. Метод локализации текста на изображении с обучением на основе вероятностной модели символов / С. Г. Антошук, А. А. Николенко, Тьен Т. К. Нгуен // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2014. – ХНУ. – № 3. – С. 79 – 84.
5. Нгуен, Т. Т. К. Обнаружение и распознавание текстов на изображениях сложных графических сцен с помощью сверточной нейронной сети / Т. Т. К. Нгуен // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – № 13(89). – С. 125 – 130.
6. База данных конкурса алгоритмов искусственного интеллекта ICDAR 2011 Robust Reading Competition. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.cvc.uab.es/icdar2011competition/>

## ОДИН СПОСІБ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ СКЛАДЕНИХ НЕЧІТКИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ МНОЖИН ВЕКТОРНОГО РІВНЯ

Для проведення процесу кластеризації існує багато підходів, більшість з яких є евристичними методами, що базуються на певних алгоритмах дій дослідника і не вимагають складних статистичних розрахунків. Однак, їх використання у випадку обробки інформації нечіткого характеру суттєво ускладнюється або взагалі стає неможливим через специфічне представлення нечіткості. Розглянемо методику кластеризації неточно заданої інформації, для формалізації якої використовуються сукупності складених нечітких множин.

*Означення 1* [1]. Нечіткою множиною  $\tilde{A}$  в універсальному просторі  $X$  називається сукупність пар виду  $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$ , де  $x \in X$ , а  $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$  - функція належності нечіткої множини  $\tilde{A}$ .

Традиційно в якості універсального простору розглядається довільний скінченно-вимірний простір  $X \subseteq R^N$ ,  $x = (x_1, \dots, x_N) \in R^N$ . У випадку  $X \subseteq R^1$  нечітка множина  $\tilde{A}$  містить сукупність пар, що складаються з двох скалярних значень  $x \in R^1$  та  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ .

Розглянемо універсальну множину  $X$  у вигляді декартового добутку  $X = \prod_{i=1}^m X_i$ . Сформуємо множину  $\tilde{A}^m = \{(x^1, \mu_{\tilde{A}_1}(x^1)), (x^2, \mu_{\tilde{A}_2}(x^2)), \dots, (x^m, \mu_{\tilde{A}_m}(x^m))\}$  де  $x^i \in X_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ .

*Означення 2.* Нечітку множину  $\tilde{A}^m$  назвемо складеним нечітким числом в універсальній множині  $\prod_{i=1}^m X_i$ .

*Означення 3.* Множину  $L^m(\bar{\alpha}) = \{x^1 \in X_1, x^2 \in X_2, \dots, x^m \in X_m : \mu_{\tilde{A}_1}(x^1) \geq \alpha_1, \mu_{\tilde{A}_2}(x^2) \geq \alpha_2, \dots, \mu_{\tilde{A}_m}(x^m) \geq \alpha_m\}$  назвемо множиною векторного рівня  $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ ,  $\alpha_i \in (0,1]$ ,  $i = \overline{1, m}$ , складеного нечіткого числа  $\tilde{A}^m$ .

Сукупність всіх складених нечітких чисел  $\tilde{A}^m$  позначимо  $K(\tilde{A}^m)$ .

Запропоновано конструктивний алгоритм кластеризації нечітких даних, представлених сукупністю складених нечітких чисел з  $K(\tilde{A}^m)$ .

Вважаємо, що задану сукупність можна згрупувати в  $k$  кластерів. Задамо вектор  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$ ,  $\gamma_i \in (0,1]$ , який буде визначати рівень нечіткості даних, що розглядаються. Визначимо  $k$  центрів кластерів у вигляді набору складених нечітких чисел  $\tilde{C}^{m(i)} = \{(x^{1(i)}, \mu_{\tilde{A}_1}(x^{1(i)})), (x^{2(i)}, \mu_{\tilde{A}_2}(x^{2(i)})), \dots, (x^{m(i)}, \mu_{\tilde{A}_m}(x^{m(i)}))\}$ ,  $i = \overline{1, k}$ . Виходячи з того, що точні значення центрів групування невідомі, алгоритм кластеризації має бути ітераційним.

Припустимо, що складені нечіткі числа  $\tilde{A}^{m(j)}$ ,  $j = \overline{1, q}$ ,  $q \leq p$ , мають непорожні множини рівня  $L^m(\tilde{\gamma})$ . Будемо розглядати їх як звичайні вектори  $S(\tilde{A}^{m(j)}) = \{x^{1(j)}, x^{2(j)}, \dots, x^{m(j)}\}$ ,  $j = \overline{1, q}$ . Зрозуміло, що вектори  $S(\tilde{A}^{m(j)})$ , будуть належати до різних груп з центрами  $S(\tilde{C}^{m(i)})$ ,  $i = \overline{1, k}$ , відповідно, зі степенем належності  $u_{ij}$ ,  $i = \overline{1, k}$ ,  $j = \overline{1, q}$ . Тоді задача групування даних у відносно однорідні групи може бути проведена, наприклад, за допомогою алгоритму *C-means*.

### Література

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets //Information and control. 1965.V.8.



## ПРО ОДИН ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕЧІТКОЇ ЗАДАЧІ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДІВ

Часовий характер задач теорії розкладів відносить їх до особливого класу, який суттєво відрізняється від об'ємних економічних задач. Якщо в останніх необхідно відповісти на питання про кількість або обсяг виробництва, то в задачах теорії розкладів потрібно визначитись з порядком виконання робіт з урахуванням їх важливості або складності. Це відбивається на особливостях методів розв'язування даних задач [1].

Пошук оптимального або близького до оптимального розкладу здійснюється за допомогою методів математичного програмування. При цьому необхідно звернути увагу на те, що у математичних моделях задач оптимізації система обмежень визначає область допустимих розв'язків на основі сукупності умов, які повинні виконуватись одночасно. В задачах теорії розкладів ряд умов мають виконуватись альтернативно: або одна робота передуює іншій, або навпаки.

Формальна постановка задачі складання розкладу для випадку скінченної кількості робіт для однієї машини призводить до формулювання оптимізаційної задачі в термінах лінійного цілочислового програмування.

Нехай задана множина робіт  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ . Кожна робота  $v \in V$  характеризується терміном  $p_v \in R_+$ , в межах якого виконання роботи не переривається. Якщо машина, на якій виконуються роботи, перемикається з однієї роботи на іншу, то необхідно виконати переналагодження. Нехай задано терміни переналагодження  $s_{vu} \in R_+$  з роботи  $v$  на роботу  $u$ , для усіх  $v, u \in V$ , де  $v \neq u$ . Потрібно скласти розклад, що мінімізує час завершення усіх робіт.

Позначимо через  $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_n)$  перестановку, яка визначає порядок виконання робіт:

$\pi_i$  - робота, що виконується на  $i$ -му етапі. Нехай  $s(\pi) = \sum_{i=1}^{n-1} s_{\pi_i \pi_{i+1}}$ . Тоді задача еквівалентна пошуку перестановки  $\pi^*$ , за якою мінімізується сумарний час переналагодження  $s(\pi^*)$ .

В багатьох практичних ситуаціях терміни налагодження  $s_{vu}$ ,  $v, u \in V$ , не можуть бути задані точно. Тоді невизначеність величин  $s_{vu}$  можна формалізувати за допомогою правих нечітких трикутних чисел  $\tilde{s}_{vu} = (s_{vu}, s_{vu}, s_{vu} + s_{vu}^0)$ ,  $s_{vu}^0 \geq 0$ ,  $v, u \in V$  [2]. Допустимі відхилення  $s_{vu}^0 \geq 0$ ,  $v, u \in V$ , визначають величини граничних змін часу налагодження.

Як наслідок, задача визначення перестановки, за якою мінімізується час виконання робіт з урахуванням часу переналагодження, може бути сформульована у вигляді

$$\sum_{i=1}^{n-1} \tilde{s}_{\pi_i \pi_{i+1}} y_{\pi_i} y_{\pi_{i+1}} \rightarrow \min ,$$

за умови виконання обмеження  $\sum_{i=1}^n y_i = n$ , де  $y_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  - бульові змінні, що приймають одиничне значення у разі виконання  $i$ -ої роботи.

Виконуючи лінеаризацію, можна отримати нечітку задачу лінійного програмування, що переписується у вигляді задачі знаходження оптимального значення параметра  $\lambda \in [0, 1]$  як розв'язку задачі лінійного програмування спеціального вигляду.

### Література

1. Жданова Е.Г. Теория расписаний. — Москва. — 2000. — 136 с.
2. Bablu J., Tapan K.R. Multi-objective fuzzy linear programming and its application in transportation model// Tamsui Oxford Journ. of Math. Sciences, 2005. - 21(2). - P.243-268.

## МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РЕКЛАМИ ЯК ПРОЦЕСУ АГРЕГАЦІЇ, ОБМЕЖЕНОЇ ДИФУЗІЄЮ

Багато процесів, що відбуваються у природі та суспільстві, характеризуються хаотичною динамікою, моделювання якої призводить до появи нових математичних структур, яким властива статистична (неповна) повторюваність. Важливе місце серед цих структур займають фрактальні кластери [1], для дослідження яких активно застосовується модель агрегації, обмеженої дифузії (diffusion limited aggregation, DLA) [2], що описує процедуру об'єднання окремих частинок у самоподібний агрегат в умовах їх випадкового блукання. Дана модель знайшла широке застосування в задачах імітаційного моделювання різних дифузійних процесів, що спостерігаються у рідинах і газах.

За класичною моделлю DLA елементарні частинки послідовно приєднуються до агрегату. Процес побудови агрегату починається з єдиної частинки, до якої буде приєднуватися сукупність нових частинок, що розташовані або наблизилися у результаті блукання до агрегату.

При реалізації алгоритмів моделювання DLA розрахунки потребують значних витрат часу. Тому для подальшого використання даної методики необхідна розробка варіантів оптимізації роботи цих алгоритмів, а також створення нових методів формалізації процесів, що відбуваються у явищах агрегації, обмеженої дифузії. Це особливо важливо в сучасних умовах широко впливу засобів соціальних мереж на інформаційні процеси у суспільстві.

У даній роботі на основі моделі DLA сформовано та досліджено процес розповсюдження реклами серед цільової аудиторії, що мешкає в рамках деякого регіону. Модель описує процес розповсюдження реклами без впливу засобів мас-медіа, шляхом обміну інформацією, який відбувається при комунікації між людьми.

У будь-якій соціальній групі активне спілкування людей між собою сприяє розповсюдженню інформації про продукцію, яку було або буде придбано. Розповсюдження цієї інформації можна змодельовати на основі принципів агрегації DLA, використовуючи для опису процесу проникнення (розповсюдження) даних нейронну модель обміну інформації у соціальній мережі.

Нехай на початку процесу моделювання процесу розповсюдження реклами проведено певну рекламну кампанію. Яким чином буде поширюватися рівень розповсюдження реклами серед певної цільової аудиторії, застосовуючи описану вище модель?

Задамо певний поріг сприйнятливості до реклами  $L$ ,  $L \in [0,1]$ . Вважатимемо, що реклама ефективно подіяла на людину  $i$ , якщо її ставлення  $I_i \geq L$ . Введемо вектор  $H_0$ ,  $H_0 = (h_1, h_2, \dots, h_N)$ , де  $h_i = 0$ , якщо  $I_i < L$  та  $h_i = 1$  при  $I_i \geq L$ . Цей вектор характеризує осіб з цільової аудиторії, на яких подіяла реклама до моменту початку спілкування.

Вважаємо, що у результаті спілкування користувачів між собою ставлення до реклами кожного учасника мережі з часом змінюється в залежності від оточення. Зміну сприятливості з часом описується моделлю нейроноподібного елемента вигляду:

$$\frac{dI_i(t)}{dt} = \frac{1}{n_i + 1} \sum_{j=1}^N t_{ij} I_j(t) - I_i(t).$$

### Література

1. Батюков А.М., Ампилова Н.Б. О модификации модели агрегации, ограниченной диффузией / Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - 2013. - Вып.3 (174). - С.233-238.
2. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. - М.: Наука, 1991. - 136с.

## ПРО БЛИЗЬКІСТЬ ЩІЛЬНОСТЕЙ РОЗПОДІЛІВ ДВОХ СУМ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

Продовжуються дослідження, що аналогічні [1], при цьому використовуються деякі результати із [2].

Нехай  $\xi_1, \dots, \xi_n, \dots$  та  $\eta_1, \dots, \eta_n, \dots$  – дві послідовності незалежних випадкових величин з функціями розподілу відповідно  $F_k(x)$  і  $G_k(x)$ , характеристичними функціями  $f_k(t)$  і  $g_k(t)$ ,  $H_k(x) = F_k(x) - G_k(x)$ .

Нехай виконуються умови:

існує число  $\alpha \in (0; 2]$  і стала  $\lambda > 0$  такі, що

$$|g_i(t)| \leq e^{-\lambda|t|^\alpha}; \quad (1)$$

$$\mu_{ik} = \int_{-\infty}^{\infty} x^k dH_i(x) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots; k = 1, m), \quad (2)$$

де  $m = 1$  при  $i$  при  $1 < \alpha \leq 2$ ;

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f_1(t)| dt = A < \infty. \quad (3)$$

Введемо для довільного  $y > 0$  псевдомоменти

$$\begin{aligned} v_{k0}^{(1)}(y) &= \int_{|x| \leq y} \max(1, |x|^{\alpha+1}) |dH_k(x\lambda^{\frac{1}{\alpha}})|, \\ v_{k0}^{(2)}(y) &= \int_{|x| > y} \max(1, |x|^m) |dH_k(x\lambda^{\frac{1}{\alpha}})|, \\ v_0^{(1)}(y) &= \max_{1 \leq k \leq n} v_{k0}^{(1)}(y), \quad v_0^{(2)}(y) = \max_{1 \leq k \leq n} v_{k0}^{(2)}(y), \\ v_0(y) &= \max\{v_0^{(1)}(y); v_0^{(2)}(y)\}. \end{aligned}$$

Позначимо  $p_n(x)$  і  $q_n(x)$  – щільності розподілів відповідно випадкових величин  $(\lambda n)^{-\frac{1}{\alpha}} \sum_{k=1}^n \xi_k$  і  $(\lambda n)^{-\frac{1}{\alpha}} \sum_{k=1}^n \eta_k$ .

Теорема. Нехай виконуються умови (1) - (3) і  $v_0(y) \leq c < (m^\delta 2^{\delta-3})^2$ , де  $\delta = \alpha + 1 - m$ . Тоді для всіх

$$\sup_{x \in R} |p_n(x) - q_n(x)| \leq \inf_{y>0} \left\{ C_1 \frac{v_0^{(1)}(y)}{n^{1/\alpha}} + C_2 \frac{v_0^{(2)}(y)}{n^{\frac{m}{\alpha}-1}} + C_3 A \lambda^{\frac{1}{\alpha}} \frac{v_0^{(1)}(y)}{n^{1/\alpha}} \right\},$$

де  $C_1 - C_3$  – сталі, що залежить тільки від  $\alpha$ .

### Література

1. Білас Н.І., Капустей М.М., Слюсарчук П.В. Про близькість розподілів двох сум випадкових величин//Методика викладання та методи дослідження в математиці // Матеріали міжнародної математичної конференції у м. Берегове, 21-23 квітня 2016 р. – Ужгород: ТОВ «РІК-У», 2016. – С. 35.
2. Капустей М.М., Слюсарчук П.В. Оцінка близькості функцій розподілу сум випадкових величин в термінах псевдо моментів //Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. математика і інформатика. – Ужгород, 2014.– Вип.25, №2. – С. 58–64.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК УЗАГАЛЬНЕНОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ НЕЙМАНА ТЕПЛООБМІНУ КУСКОВО-ОДНОРІДНОГО ЦИЛІНДРА, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

У феноменологічній теорії теплопровідності передбачається, що швидкість поширення тепла є нескінченно великою. Однак при високих інтенсивних нестационарних процесах, що спостерігаються, наприклад, при вибухах, надзвукових потоках, великих швидкостях обертання, вплив скінченності величини швидкості поширення тепла на теплообмін стає помітним.

Метою роботи є розробка нової узагальненої математичної моделі температурних розподілів у кусково-однорідному циліндрі у вигляді крайової задачі математичної фізики для рівняння теплопровідності та розв'язання отриманої крайової задачі, розв'язки якої використовуються під час керування температурними полями.

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.

Розглянемо розрахунок нестационарного температурного поля суцільного 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  $OZ$ , 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 поверхні циліндра відомий тепловий потік  $G(\varphi)$ .

Відносну температуру циліндра  $\theta(\rho, \varphi, t)$  можна представити у вигляді

$$\theta(\rho, \varphi, t) = \begin{cases} \theta_1(\rho, \varphi, t), & \text{якщо } \rho \in (\rho_0, \rho_1), \\ \theta_2(\rho, \varphi, t), & \text{якщо } \rho \in (\rho_1, \rho_2). \end{cases} \quad (1)$$

Відносні температури  $\theta_s(\rho, \varphi, t)$   $s$ -го шару циліндра обчислюються за формулою

$$\theta_s(\rho, \varphi, t) = \frac{T_s(\rho, \varphi, t) - G_0}{T_{\max} - G_0},$$

де  $T_s(\rho, \varphi, t)$  – температури  $s$ -го шару циліндра,  $T_{\max}$  – максимальна температура циліндра,  $\rho = \frac{r}{R}$ ,  $s = 1, 2$ .

Математично задача визначення відносної температури циліндра  $\theta(\rho, \varphi, t)$  (1) складається в інтегруванні гіперболічних диференціальних рівнянь теплопровідності в області  $D_s = \{(\rho, \varphi, t) \mid \rho \in (\rho_{s-1}, \rho_s), \varphi \in (0, 2\pi), t \in (0, \infty)\}$ , що, з урахуванням прийнятих допущень, запишеться у вигляді

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial t} + \omega \frac{\partial \theta_s}{\partial \varphi} + \tau_r \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial t^2} + \tau_r \omega \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial \varphi \partial t} = \alpha_s^2 \left[ \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \theta_s}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial \varphi^2} \right], \quad (2)$$

з початковими умовами

$$\theta_s(\rho, \varphi, 0) = 0, \quad \frac{\partial \theta_s(\rho, \varphi, 0)}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

з граничною умовою

$$\int_0^t \frac{\partial \theta_2}{\partial \rho} \bigg|_{\rho=\rho_2} e^{\frac{\zeta-t}{\tau_r}} d\zeta = V(\varphi), \quad (4)$$

з умовами ідеального теплового контакту

$$\theta_1(\rho_1, \varphi, t) = \theta_2(\rho_1, \varphi, t), \quad (5)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial \theta_1(\rho_1, \varphi, t)}{\partial \rho} = \lambda_2 \frac{\partial \theta_2(\rho_1, \varphi, t)}{\partial \rho}, \quad (6)$$

а на осі циліндра виконується умова обмеженості

$$\theta_1(\rho, \varphi, t) < \infty, \quad (7)$$

де  $\rho_1 = \frac{R_1}{R}$ ,  $\rho_0 = 0$ ,  $\rho_2 = 1$ ,  $R_1$  – радіус межі шарів,  $\lambda_s$  – коефіцієнт теплопровідності,

$\gamma_s$  – щільність,  $C_s$  – питома теплоємність,  $a_s = \frac{\lambda_s}{c_s \gamma_s}$  – коефіцієнт температуропровідності  $s$

-го шару циліндра,  $\alpha_s^2 = \frac{a_s^2}{R^2}$ ,  $s = 1, 2$ ,  $V(\varphi) = \frac{G(\varphi) \tau_r}{\lambda(T_{\max} - G_0)}$ ,  $G(\varphi) \in C(0, 2\pi)$ .

Для вирішення отриманої крайової задачі (2)–(7) 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  $\theta(\rho, \varphi, t)$  кусково-однорідного кругового циліндра в напрямку полярного радіуса, який обертається з постійною кутовою швидкістю  $\omega$  навколо осі OZ, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, у вигляді збіжних ортогональних рядів за функціями Бесселя і Фур'є.

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 (у супутниках, прокатних валках, турбінах та ін.).

### Література

1. Kuwashimo Kensuke Temperature distribution within a rotating cylindrical body / Kuwashimo Kensuke, Yamada Tominori // Bull. JSME. – 1978. – Vol. 21, N 152. – P. 266 – 272.

## **ІНТЕГРОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ РІЗНОГО ПРОСТОРОВОГО БАЗУВАННЯ**

Останніми роками в сфері науки і техніки спостерігається тенденція інтенсифікації досліджень, присвячених ефективному управлінню з боку диспетчерського персоналу рухомими об'єктами, що переміщуються в різних сегментах простору – земля, вода, повітря, космос [1-6]. Причиною цього є не лише розвиток геоінформаційних систем та супутникових глобальних систем позиціонування, а й розширення використання Інтернету [4-6], причому останній чинник зумовив перехід від Web 1.0 до Web 2.0 та закладення концепції Web 3.0, яка ґрунтується на семантичних принципах, і появу Інтернету речей IoT (Internet of Things).

Задачі, пов'язані з виробленням керуючих впливів на об'єкти управління у вигляді рішень, що приймаються відповідальними особами, виникають в таких галузях як авіація, сільське господарство, оборона, річні та морські перевезення, транспортна логістика, аерокосмічне знімання місцевості (в тому числі за допомогою БПЛА – безпілотних літальних апаратів), охорона території та об'єктів особливої важливості тощо. Постійне збільшення обсягів інформації посилює навантаження на суб'єктів, котрі приймають рішення, і ставить задачу переносу проблеми прийняття рішення з людини на обчислювальну машину.

Найпростіша модель прийняття рішення включає чотири основних, циклічно повторюваних етапи: 1) збір, аналіз, фільтрація і трансформація даних, 2) отримання варіантів рішень з урахуванням перетворених даних, 3) розробка критеріїв оцінки рішень, 4) вибір одного з варіантів на основі обраних критеріїв. Зауважимо, що в основі кожного з перерахованих етапів лежать маніпуляції з інформацією, які потребують застосування дієвих алгоритмів її обробки, здатних працювати в режимі реального часу [1, 3].

У багатьох випадках автоматизоване управління різнотипними рухомими об'єктами будується на використанні геоінформації, яка часто служить основою інтеграції інших видів інформації та проектується на картографічну основу цифрових динамічних сцен, що дозволяють відстежувати переміщення і місцезнаходження окремого рухомого об'єкта. За словами одного австралійського геолога: «на карті людина бачить рівно стільки, скільки дозволяє їй розум». Однак чим більш деталізовані та якісні карти використовуються в системі, тим зручніше диспетчерам вести моніторинг і слідкувати за рухом об'єктів. Прогрес комп'ютерних технологій і сучасні тенденції до створення інтелектуальних систем, що базуються на нетрадиційних методах і принципах (відкритість систем, евристичне програмування, структурування знань та ін.), сприяють інтелектуалізації систем управління в цілому та геоінформаційних систем зокрема.

Вирішуючи в тандемі ряд завдань і приймаючи рішення, обом виконавцям – людині та машині – важливо знати одну з найважливіших характеристик рухомого об'єкта – його просторове положення. Просторові дані разом з навігаційними складають основу інформаційного забезпечення системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління як одним, так і групою рухомих об'єктів. Комп'ютерний просторовий аналіз, який виконується за допомогою бібліотеки функцій для аналізу просторових відношень, реалізації оверлейних операцій, розрахунку і побудови буферних зон та ін., дозволяє використовувати електронну карту як один зі стандартних вимірів, на зразок часу, що призводить до якісного й швидкого прийняття рішень за рахунок скорочення часу на пошук і аналіз необхідної інформації.

Авторами пропонується інтегрована інформаційна технологія підтримки прийняття рішень по управлінню рухомими об'єктами різного просторового базування, яка поєднує геоінформаційні, супутникові та Web-технології. На її основі спроектовано інформаційну

систему, структурна схема якої зображена на рис. 1. При цьому процедура прийняття рішень зорієнтована на наступні етапи робіт:

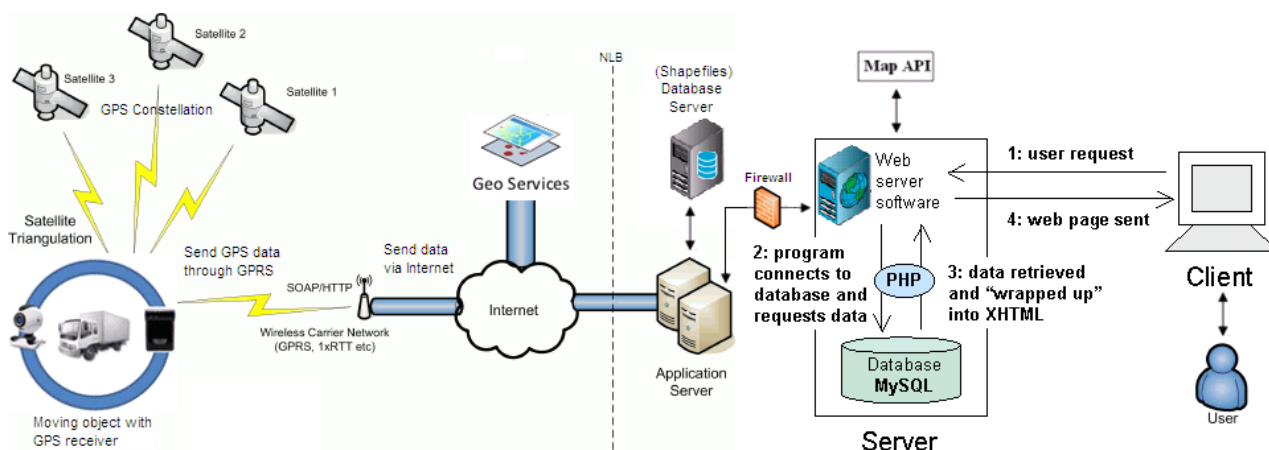


Рис. 1. Інформаційна система, побудована на основі інтегрованої інформаційної технології підтримки прийняття рішень з управління рухомими об'єктами

1. Введення даних – на цьому етапі за допомогою діючих супутникових систем навігації глобального чи регіонального масштабів (ГЛОНАСС/GPS/Galileo/BeiDou/QZSS) здійснюється збір навігаційних даних, що стосуються кожного підконтрольного рухомого об'єкта. Ці дані надходять на виділений сервер від встановлених на рухомих об'єктах GPS-пристроїв, які періодично «відловлюють» сигнали сузір'я GPS-супутників, що утворюють триангуляційну мережу. Безпроводна передача GPS-даних від приймачів на сервер може відбуватися в одному з підтримуваних режимів (GPRS, 1xRTT) з подальшою трансляцією Internet-каналом. Одночасно відповідна геоінформація може запитуватися із зовнішніх веб-сервісів, які надають доступні просторові дані, їх атрибутивний опис з прив'язкою до графічних даних.

2. Управління базою даних – графічні об'єкти, що складаються з растрових і векторних зображень, об'єднуються в шари, з кожним шаром зв'язується таблиця атрибутивних даних. Такі операції виконуються як для картографічних об'єктів, рознесених по різних тематичним шарам, так і для кожного типу рухомих об'єктів, що представляються у динамічних сценах складними символами, по зображенню яких можна судити про належність об'єкта до того чи іншого класу.

3. Обробка і аналіз даних – на розподілених серверах баз даних здійснюється взаємний пошук графічних і атрибутивних даних, необхідних для формування динамічних сцен, і виведення результатів на боці клієнта. Для полігональних картографічних об'єктів при необхідності проводяться додаткові обчислення – підрахунок площ і периметрів меж ділянок.

4. Інтерпретація і прийняття рішення – аналіз геоданих, вибір оптимальних маршрутів і т.д. реалізуються під час взаємодії користувача з системою через веб-інтерфейс.

5. Відображення і передача інформації – графічні дані відображаються на екрані у вікні веб-браузера, який інтерпретує згенерований веб-сервером html-опис веб-сторінки, та можуть бути виведені в файл для зберігання або передані на екран колективного користування.

Застосовуючи візуалізацію в поєднанні з функцією моделювання процесів, можливо складати об'єктивні прогнози, що базуються на реальних передумовах. Задача вибору оптимального рішення відноситься до класу задач математичного програмування, в основі яких лежить пошук безумовного і умовного екстремуму. Так, задачі максимізації та мінімізації ряду показників при управлінні рухомими об'єктами, наприклад, вибору найкоротшого маршруту при мінімізації транспортних витрат, в кінцевому підсумку зводяться до максимізації (або мінімізації) цільових функцій за умови заданих обмежень. Підтримка прийняття рішень в запропонованій системі забезпечується на основі онтологій предметних областей, що включають онтології об'єктів і процесів, а також через онтології задач.

## Література

1. Палагін О.В., Васюхін М.І., Касім А.М. Моделі, методи та засоби представлення в реальному часі об'єктів, які рухаються в навколоремному просторі // Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки: тези доповідей на міжвідомчій науково-технічній конференції (Київ, 17-20 грудня 2012). – К: ЦНДІ ОБТ, 2012. – С.164–165.
2. Писаренко В.Г., Касім А.М. Критерий оптимизации новых разработок управления эффективностью и безопасностью воздушного движения, включая усовершенствование навигационно-управляющего комплекса аэропорта // Свідомство про реєстрацію авторського права на твір № 51854, Україна, Державна служба інтелектуальної власності України, 22.10.2013.
3. Касім А.М. Метод организации движения сложного символа на экране геоинформационных аэронавигационных комплексов реального времени / А.М. Касім // Інженерія програмного забезпечення '2005: матеріали конф. аспірантів і студентів. – К.: НАУ, 2005. – С. 193–197.
4. Касім А.М. Стратегії організації клієнт-серверної взаємодії у web-орієнтованих геоінформаційних системах / А.М. Касім, М.М. Касім // Глушковські читання: зб. матеріалів IV наук.-практ. конф. (НТУУ «КПІ», Київ, 02 грудня 2015). – К.: Вид-во «Політехніка», 2015. – С.73–75.
5. Касім М.М. Алгоритмічні методи підвищення точності визначення просторово-часових координат мобільних агрегатів в системах цифрового землеробства / М.М. Касім, А.М. Касім // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні '2016: збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 23-24 червня 2016). – Немішаєве: НМЦ «Немішаєве», 2016. – С. 58–60.
6. Касім А.М. Web-додаток для 2D-візуалізації результатів імітаційного моделювання руху аерокосмічних та наземних об'єктів з геоприв'язкою до електронної карти / А.М. Касім, М.М. Касім // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2016: тези доповідей Одинадцятої Міжнародної науково-практичної конференції (Жукин, 27 червня – 1 липня 2016). – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – С. 42–47.



## ОПИС ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МОЖЛИВИХ НАПРЯМКІВ ЗОЙТЕНДЕЙКА

Активне розростання сучасних міст за межі виробничо-промислових зон підприємств, що стали центрами постійного перебування великої кількості населення, підвищило актуальність досліджень та опису можливого і дійсного розповсюдження техногенного забруднення з метою забезпечення підтримки прийняття і оптимізації рішень для забезпечення безпеки громадян і раціонального природокористування. Такий опис повинен дозволити швидко визначити зону розповсюдження забруднення будь-якої за площею території, врахувати той фактор що досліджувана територія є пересіченою місцевістю з різним рівнем осідання забруднюючих речовин, оперувати даними, що важливі для дослідників.

Деякі зі способів досліджень оточуючого середовища реалізовані в інструментах моделювання геоінформаційних систем (GRASS GIS, ArcGIS, Quantum GIS та інш.), що дозволяють поєднувати зображення територій з табличною інформацією про стан території.

Серед розробок за означеною тематикою певний інтерес представляє спосіб індикації та оцінки екологічного стану забрудненої важкими металами системи ґрунт-рослина за біохімічними показниками [1], підхід до визначення ділянок забруднення оточуючого середовища [2] та спосіб відбору проб ґрунту для контролю якості [3] та екологічної безпеки ґрунту і ґрунтового покриву з рослинним покривом.

Слід зазначити, що жодний з розглянутих способів дослідження екологічного стану території не дозволяє досліднику самостійно обирати мінімально необхідні межі ділянки для дослідження, що є актуальним в густо забудованих місцях, а також будувати власний шлях дослідження, який більш підходить для реалізації поставлених задач для прийняття ефективного рішення.

Метою роботи є представлення способу опису екологічного стану території та його програмної реалізації «Випадкова точка».

В основу способу опису території покладено метод можливих напрямків Дж. Зойтендейка [4] – підхід, за яким базисна точка може бути невідомою і взятою довільно. З цієї базисної точки визначаються напрями з довжиною кроку за умов підвищення або пониження ступеню, будуються вектори за напрямками з врахуванням умови невід'ємного невідомого, вирішується задача пошуку полюсних точок за напрямом для визначеної дослідником безперервної обмеженої функції, яка описує територію, що у підсумку дозволяє отримати полюсні точки, в кожній з яких відбираються проби для забезпечення статистичної достовірності отриманих результатів та побудови контуру забрудненої території.

Задача з реалізації способу дослідження екологічного стану території при техногенному забрудненні вирішується за допомогою наступних кроків:

– 1-й крок: умовно обмежується деяка обрана територія  $X$ , прямокутником з координатною сіткою, де розміри кожної фіксованої зони комірки (клітини) дослідження визначаються дослідником. Для зручного орієнтування на місцевості використовується карта або схема;

– 2-й крок: обирається довільно базисна точка  $x_k$ , визначаються об'єкти для досліджень (рослини, ґрунт, роса, тала вода снігового покриву і т. інш.);

– 3-й крок: проводяться виміри концентрації небезпечної речовини, що потрапила в оточуюче середовище в результаті викиду з небезпечного підприємства, без врахування того, перевищена чи ні гранично припустима концентрація речовини;

– 4-й крок: обираються від точки  $x_k$  напрями від 1 до  $n$  та здійснюється довільно будь-який малий крок  $\alpha_k > 0$  для отримання полюсної точки, яка стане центром відбору нової

партії проб. Щоб комірки ділянок досліджень не дублювалися, обирається напрям за методом генерації випадкових чисел;

– 5-й крок: за отриманими напрямками та в полюсних точках збираються проби з базового об'єкта для досліджень, отримуються виміри небезпечної речовини, дані заносяться до таблиці вимірів, на основі яких буде побудований контур забруднення;

– 6-й крок: обирається точка, за якою отримане найбільше значення концентрації небезпечної речовини, вона стає базисною точкою, за якою повторюються перелічені кроки.

Дослідження триває покроково за напрямом, де отримується найбільше значення вимірів. Це необов'язково має бути перевищення концентрації речовини, а просто поступове збільшення результатів. Виміри за наведеним способом проводяться до тих пір, поки базисна точка перестане належати ділянці, що досліджується ( $x_k \notin X$ ), або всі отримані результати вимірів будуть від'ємними. Для достовірності досліджень можна також обирати базисною точкою будь-яку іншу точку або високе значення вимірів за полюсними точками на кінцях променів при реалізації кроку 5. Описана покрокова методика дозволяє реалізувати спосіб опису забрудненої території за напрямом на проміжку  $[a, b]$  деякої заданої безперервної обмеженої функції  $f(x)$ . В процесі реалізації способу знаходиться функція  $P(x) \in C_1(a, b)$ , яка найкращим чином наближує  $f(x)$  за підходом Чебишева, що представлено у [5-6].

Наведений спосіб реалізовано у вигляді комп'ютерної програми «Випадкова точка» та перевірено на практиці для уточнення зон забруднень території радіоізотопом водню тритієм. Програма може бути застосована в екологічній експертизі, агроекології, при оцінці радіаційної обстановки та прогнозуванні токсичної дії забруднювачів, а також визначення якості рекреаційних зон. Подані заявки на отримання патенту на корисну модель та авторського права на програмний продукт.

## Література

1. Патент України № 92476 «Спосіб індикації та оцінки екологічного стану забрудненої важкими металами системи ґрунт-рослина за біохімічними показниками» / Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Якушко В.І., Журавльова І.М. – заявл. 06.07.2007; опубл. 10.11.2010. – Бюл. № 21, 2010 р.
2. Патент РФ № 2264636. МПК G01V9/00 (2006.01). Способ определения участков загрязнения окружающей среды / Колотов Б.А., Демидов В.В., Кашина Л.И., Миначева Л.И.; заявитель и патентообладатель Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ); заявл. 12.04.2002; опубл. 20.11.2005.
3. Патент РФ № 2485499. МПК G 01 N 33 / 24 (2006.01). Способ отбора проб для анализа почвы / Мазуркин П.М., Михайлова С.И., Тойшева Н.П.; заявитель и патентообладатель Поволжский гос. технолог. ун-т. - №2010132816/15; заявл. 04.08.2010; опубл. 20.06.2013. Бюл. № 17.
4. Зойтендейк Г. Методы возможных направлений. – М.: Издательство Иностранной литературы, 1963. – 178 с.
5. Кряжич О.О. Апроксимація складних функцій для опису розвитку локальної надзвичайної ситуації / О.О. Кряжич // Математичні машини і системи. – 2016. – № 1. – С. 148 – 157.
6. Коваленко О.В. Моделювання події радіоактивного забруднення тритієм / О.В. Коваленко // Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (1). – С. 199-205.

## ОБРОБКА МОДАЛЬНОСТЕЙ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

Особливістю прийняття рішень у системах ситуаційного управління (ССУ) є необхідність врахування модальностей ситуацій [1]. Семантика модальностей ситуацій може бути представлена моделлю знань, наприклад, у вигляді онтології. Таким чином, опис ситуації представляється твердженням, що включає модальності, які характеризують зміст (семантику) ситуації. За визначенням Barwise та Perry [2] «ситуації є чітко усвідомленими (хоча й не точно індивідуалізованими) в загальному розумінні і звичайною мовою частинами світу, що складаються з пов'язаних між собою об'єктів, які мають певні властивості. Події та епізоди є ситуаціями в часі, сцени є візуально розрізненими ситуаціями, зміни є послідовностями ситуацій, а факти є ситуаціями збагаченими (або спотвореними) засобами мови». Такому визначенню ситуації відповідає суть ситуаційного управління як «набору концепцій, моделей, доступних технологій для розпізнавання, пояснення, впливу і передбачення ситуацій, які виникли або можуть виникнути у динамічних системах на протязі попередньо визначеного часу роботи» [3].

Формалізація процесів ситуаційного управління може бути проведена на основі ситуаційної теорії [4, 5]. Ситуаційна теорія використовує апарат ситуаційного числення для представлення та інтерпретації (пояснення поведінки) динамічних доменів. Основними елементами ситуаційної теорії є дії, флуенти та ситуації. Дії можуть бути виконані в середовищі і оцінені кількісно. Флуенти описують стан середовища. Ситуації представляють історію розвитку динамічного середовища, як наслідків різних дій, виконуваних у цьому середовищі, тобто реалізацію певних сценаріїв. Ситуаційне числення представляє змінні сценарії як множину формул логік другого порядку (ЛДП), які можуть бути розширені засобами теорії типів. Динамічні домени представляються в ЛДП та її розширеннях трьома типами формул: на основі аксіом передумов дій та аксіом результатів (наслідків) дій, на основі аксіом послідовних станів (одним з яких є флуент), на основі основоположних аксіом ситуаційного числення. Формальний опис ситуації базується на концепції інфону, що являє собою фрагмент інформації про ситуацію і представляється у формі:  $\langle\langle R, A, Pol \rangle\rangle$  де  $R$  –  $n$ -місне відношення,  $A = \langle a_1, \dots, a_n \rangle$  – кортеж відповідних об'єктів для відношення  $R$ , і значення  $Pol = \{0 \text{ or } 1\}$  представляє полярність, яка вказує на актуальність (існування) відношення  $R$  між елементами кортежу  $A$ .

Для вказування на те, що інфон  $\sigma$  стає актуальним внаслідок ситуації  $s$ , ми пишемо  $s \models \sigma$  і говоримо, що  $s$  підтримує  $\sigma$ .

Об'єкти, що входять до складу інфону, вважаються аспектами (або відповідають певним аспектам) пізнання агентом (суб'єктом) світу. Тобто агент має схему специфікації, на основі якої він поділяє світ на керовані частини. Цей "поділ" може прийняти форму когнітивної специфікації або просто поведінкової дискримінації. Когнітивна специфікація здійснюється на основі виділення типів об'єктів і відношень між ними.

Об'єкти можуть представляти собою індивіди, відношення, просторові локалізації, часові локалізації, ситуації, типи і параметри. Введення модальностей для характеристики відношень між об'єктами розширює виразні можливості опису ситуацій. Власне опис ситуацій можна здійснювати на основі класифікації ситуацій та їх модальностей, представлених у вигляді онтології. Поєднання модальностей у визначенні ситуацій обумовлене семантикою конкретного світу (семантикою Кріпке) та визначає обмеження інтерпретації та контекст ситуації. Онтологічна модель знань ситуаційного управління була реалізована у редакторі онтологій Protégé. Фрагмент онтології концепту «ситуація» розширеного модальностями представлено на рис.1.

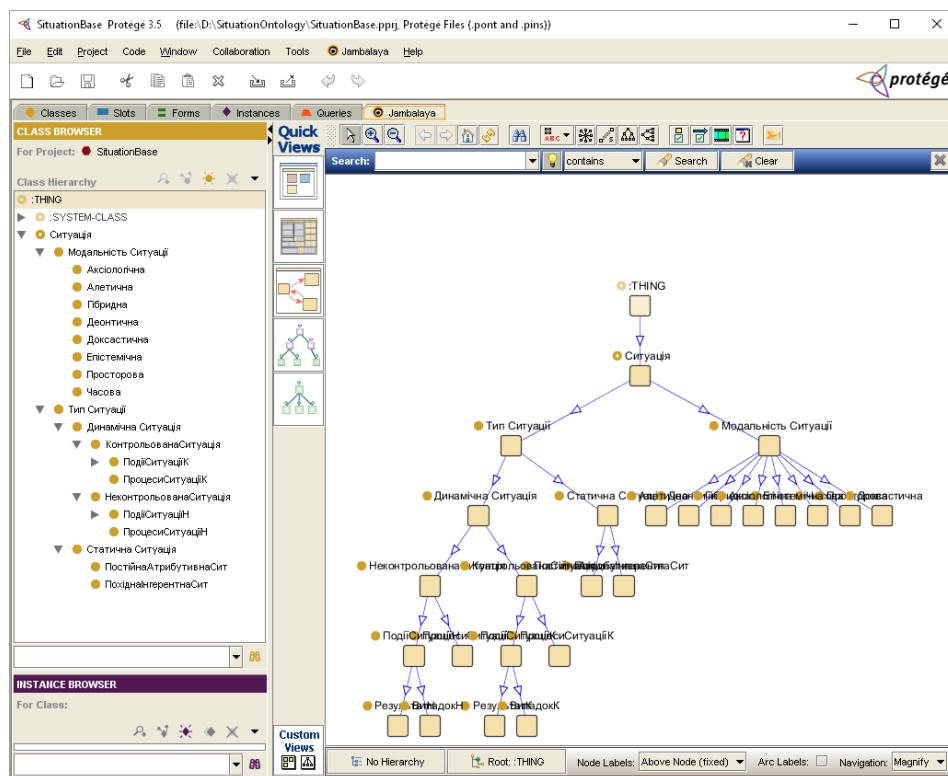


Рис.1. Фрагмент онтології концепту «Ситуація»

На основі базового концепту «ситуація» можлива реалізація моделей ситуаційного управління у відповідності зі схемою функціонування ССУ.

Таким чином введення у модель опису ситуацій модальностей різних типів або їх комбінацій розширює виразні можливості формалізації ситуаційного управління з використанням ситуаційної теорії. Зокрема, поєднання алетичної, деонтичної, аксіологічної, епістемічної, темпоральної та просторової модальностей дозволяє охарактеризувати ситуацію з позиції її можливості, обов'язковості, корисності, інформативності відносно часу та місця їх виникнення, тобто актуальність будь-якої або декількох модальностей в описі ситуації враховується шляхом конкретизації їх значень у відповідному інфоні.

### Література

1. Коваленко О. Є. Застосування модальної логіки при прийнятті рішень на моделях знань // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб. наук. праць / Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2012. – Вип. 6. – С.106-112.
2. Barwise, J. and Perry, J. The Situation Underground, in Stanford Working Papers in Semantics, Vol. 1, eds. J. Barwise and I. Sag, Stanford Cognitive Science Group 1980, Section D, pp.1–55.
3. Jakobson, Gabriel; Buford, John; Lewis, Lundy. (2007). Situation Management: Basic Concepts and Approaches. In: Popovich, Vasily V.; Schrenk, Manfred; Korolenko, Kyrill V. (eds.) Information Fusion and Geographic Information Systems 2007. LNG&C, vol. XIV, (18-33). Springer, Heidelberg.
4. Devlin, K. Situation theory and situation semantics. Handbook of the History of Logic, 7, 2006. – 601-664. URL: [http://web.stanford.edu/~kdevlin/Papers/HHL\\_SituationTheory.pdf](http://web.stanford.edu/~kdevlin/Papers/HHL_SituationTheory.pdf).
5. Seligman, J., & Moss, L. S. 4 Situation Theory. Handbook of logic and language, 2010. – 253. URL: <http://fenrong.net/teaching/situationtheory.pdf>

## МОДЕЛЮВАННЯ КВАЗІ ПРОЦЕСУ ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА В ПРОСТОРАХ $C([0, T])$ ТА $L_p([0, T])$

В роботі вводиться поняття квазі процесу Орнштейна-Уленбека, будуються моделі, які наближають цей процес, який є центрованим стаціонарним гаусівським процесом з кореляційною функцією  $R(\tau) = \sigma^2 \cdot \exp\{-a|\tau|^2\}$  із заданою надійністю  $1-\alpha, 0 < \alpha < 1$  і точністю  $\beta > 0$  в просторах  $C([0, T])$  та  $L_p([0, T])$ ,  $p \geq 1$ .

Квазі процеси Орнштейна-Уленбека відрізняються від процесів Орнштейна-Уленбека, тим, що вони мають більш гладкі траєкторії в той час як вони використовуються в тих же областях науки і техніки як і процеси Орнштейна-Уленбека.

Означення. Стаціонарний випадковий процес  $X = \{X(t), t \in \mathbb{R}\}$  називається квазі процесом Орнштейна-Уленбека, якщо  $EX(t) = 0$  та  $E(X(t+h)\overline{X(t)}) = \sigma^2 \cdot \exp\{-ah^2\}$ , де  $\sigma^2 > 0$ ,  $a > 0$  - деякі константи.

Означення. Нехай  $X(t) = \{X(t), t \in [0, T]\}$  гаусівський квазі Орнштейна-Уленбека процес, представлений у вигляді збіжних у середньому квадратичному рядів. Процес

$$X_N(t) = \sum_{k=1}^N a_{k1}(t) \cdot \xi_k + \sum_{k=1}^N a_{k2}(t) \cdot \eta_k \text{ називається моделлю процесу } X(t).$$

Теорема. Модель  $X_N(t)$  наближує сепарабельний гаусівський випадковий квазі Орнштейна-Уленбека процес  $X(t)$  з заданною надійністю  $1-\alpha$ ,  $0 < \alpha < 1$  та точністю  $\beta > 0$  в просторі  $C(\mathbb{T})$ , де  $\mathbb{T} = [0, T]$ ,  $T > 0$ , якщо  $N > 0$ ,  $N \in \mathbb{N}$  та виконується  $Z_N(\beta) \leq \alpha$ .

Теорема. Нехай  $X(t) = \{X(t), t \in [0, T]\}$  вимірний гаусівський квазі процес Орнштейна-Уленбека. Модель  $X_N(t)$  наближає процес  $X(t)$  в  $L_p([0, T])$  з заданною точністю  $\beta$  та надійністю  $1-\alpha$ ,  $0 < \alpha < 1$ , якщо  $N > 0$  така, що  $L_N \leq \frac{\beta^2}{p}$ ,  $L_N \leq \frac{\beta^2}{\left(2\left(-\ln \frac{1}{2}\right)\right)}$ ,

де  $L_N$  визначено у роботі.

### Література

1. Козаченко Ю.В. Квазібанахові простори випадкових величин / Ю.В. Козаченко, Ю.Ю. Млавець, О.М. Моклярчук. – Ужгород: Карпати, 2015. – 212 с.
2. Buldygin V.V., Metric characterization of random variables and random processes / V.V. Buldygin, Yu.V. Kozachenko. – American Mathematical Society, Providence, Rhode, 2000. – 257p.
3. Kozachenko Y.V., On expansion of random process in series / Yu.V. Kozachenko, I.V. Rozora, Ye.V. Turchyn // Random Operators and Stochastic Equations. – 2007. – Vol.15, no 1. – pp. 15-35.
4. Бондарев Б.В. Новый метод построения доверительного интервала для параметра процесса Орнштейна-Уленбека / Б.В. Бондарев, М.Ю. Петранова // Прикладна статистика. Актурна та фінансова математика. – 2014. - №1. – с.58-63.
5. J. Kampe de Fariet. Fonctions de la Physique Mathematique. Paris: Paris Editions du CNRS, (1957).

## ВЛИЯНИЕ НАЛОГА НА ПОВЕДЕНИЕ ИГРОКОВ В МАТРИЧНЫХ ИГРАХ

Рассматривается матричная игра  $\Sigma_0$  двух игроков с нулевой суммой, в которой первый игрок имеет  $n$  стратегий, а второй  $m$  стратегий. Такая игра задается матрицей выигрышей первого игрока  $A = \{a_{ij}\}_{i=1}^n \{j=1}^m$ . В этой матрице каждый элемент  $a_{ij}$  является выигрышем первого игрока, при условии реализации игроками пары стратегий  $(i, j)$ . Матрица выигрышей второго игрока будет иметь соответственно вид  $-A^T$ .

Предположим теперь наличие налога на выигрыш. Будем рассматривать три вида налога: фиксированный налог, когда в случае выигрыша, каждый игрок выплачивает фиксированную сумму, равную величине  $s > 0$ ; пропорциональный налог, когда сумма выплачиваемая игроком налога в случае выигрыша составляет величину, пропорциональную выигрышу с коэффициентом пропорциональности  $k$ ; ограниченный налог, при котором величина налога равна величине выигрыша, если он не превосходит заданной величины  $s$  и равна  $s$  в противном случае.

С учетом налога игра перестает быть игрой с нулевой суммой и превращается в биматричную игру  $\Sigma_1$  с ненулевой суммой с матрицами выигрышей игроков  $B_1 = (b_{ij}^1)_{i=1}^n \{j=1}^m$ , и  $B_2 = (b_{ji}^2)_{j=1}^m \{i=1}^n$  соответственно. Например, при ограниченном налоге элементы матриц определяются соотношениями

$$b_{ij}^1 = \begin{cases} a_{ij} - s, & \text{при } a_{ij} > 0 \\ a_{ij}, & \text{при } a_{ij} \leq 0 \end{cases}, \quad b_{ji}^2 = \begin{cases} -a_{ji}, & \text{при } a_{ji} \leq 0 \\ -a_{ji} - s, & \text{при } a_{ji} > 0 \end{cases}$$

Доказаны следующие теоремы.

**Теорема 1.** При наличии седловой точки в матричной игре  $\Sigma_0$ , чистые оптимальные стратегии игроков в этой игре являются оптимальными стратегиями игроков и в биматричной игре  $\Sigma_1$  при любом виде налога.

**Теорема 2.** Если первоначальная игра  $\Sigma_0$  не имела седловой точки, то решение биматричной игры  $\Sigma_1$  с налогом в смешанных стратегиях, вообще говоря, отличается от решения исходной матричной игры  $\Sigma_0$  с нулевой суммой при любом виде налога.

Таким образом, показано, что за счет налога на выигрыш можно изменить оптимальные стратегии игроков в матричных играх. Однако такое изменение возможно лишь в том случае, когда исходная игра с нулевой суммой не имела решения в чистых стратегиях.

## Литература

1. Нейман Дж. фон Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн. - М. : Наука, 1970. - 708 с.
2. Оуэн Г. Теория игр / Г. Оуэн. - М. : Мир, 1971. - 229 с.

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ФРАГМЕНТАРНОЙ МОДЕЛИ

Важной для сельскохозяйственного производства является задача землепользования [1, 2]. Пусть некоторое хозяйство обладает пахотными угодьями, разбитыми на отдельные участки. Направлением деятельности хозяйства является выращивание растениеводческой продукции. Возникает задача распределения культур по участкам хозяйства (считается все участки одного размера). Однако такое распределение должно меняться из года в год, так как экономический эффект выращивания определенной культуры зависит от культур – предшественников. Экономический эффект определяется векторным критерием, частные критерии которого могут иметь разный смысл в зависимости от конкретной постановки прикладной задачи [3].

Математическая модель многокритериальной задачи землепользования может быть представлена на двудольном графе, в котором вершины первой доли соответствуют культурам, а вершины второй доли – участкам хозяйства. Возможность выращивания культуры на данном участке отображается наличием ребра соединяющего соответствующие вершины графа. Каждому ребру графа приписан вес, который отображает экономический эффект выращивания культуры на участке.

Таким образом, задача землепользования сводится к задаче о реберном покрытии типовыми подграфами, в которой носителем выступает двудольный граф  $G = (V, E)$ ,  $V = V_1 \cup V_2$ ,  $V_1 \cap V_2 = \emptyset$ ,  $|V_1| \leq |V_2|$ , типовыми подграфами выступают любые звезды (или, иногда, ребра). Каждая вершина из множества вершин  $V_1$  соответствует типу сельскохозяйственной культуры, а каждая вершина из множества вершин  $V_2$  – участку. Множество допустимых решений  $X = \{x \mid x = (V_x, E_x), E_x \subseteq E\}$  – все возможные покрытия графа типовыми подграфами.

Для многокритериальной задачи, качество допустимого решения  $x \in X$  оценивается векторной целевой функцией  $F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_N(x))$ , где  $N_1$  критерий принадлежит классу аддитивных критериев вида MINSUM

$$F_v(x) = \sum_{e \in E_x} w_v(e) \rightarrow \min \quad v = 1, 2, \dots, N_1, \quad N_1 \leq N, \quad (1)$$

а остальные классу MINMAX:

$$F_v(x) = \max w_v(e) \rightarrow \min \quad v = N_1 + 1, \dots, N. \quad (2)$$

Теорема. Пара  $(E, \Omega)$ , где  $E$  – множество ребер полного двудольного графа  $G$ , а  $\Omega$  – множество допустимых решений задачи землепользования образует матроид. Каждый максимальный по включению элемент множества  $\Omega$  является базой матроида.

В случае, когда число аддитивных критериев не более единицы, задача является эффективно разрешимой [3].

Если количество аддитивных критериев (1) больше или равно двум, то соответствующая задача является труднорешаемой. Даже с одним критерием класса (1) задача становится труднорешаемой, если добавить условие, что число лучей всех звезд покрытия не превосходит (равно) заданной величины.

Одним из эвристических подходов отыскания решений дискретных оптимизационных задач является подход, основанный на использовании фрагментарной модели и фрагментарных алгоритмов [4]. Применение этого подхода целесообразно для решения некоторых трудноформализуемых задач оптимизации, где качество принимаемого решения оценивается субъективно лицом, принимающим решение (ЛПР).

Опишем механизм работы фрагментарного алгоритма для отыскания максимального фрагмента на конечной фрагментарной структуре. Сначала элементарные фрагменты нумеруются и упорядочиваются в определенном порядке. В качестве решения на начальном шаге выбирается пустое множество. На каждом шаге алгоритма все еще не выбранные элементарные фрагменты перебираются в заданном порядке. Если объединение уже построенного фрагмента с очередным элементарным фрагментом удовлетворяет условию присоединения, то элементарный фрагмент добавляется к текущему фрагменту. Условием остановки алгоритма является то, что на текущем шаге не удалось найти подходящий элементарный фрагмент. Отметим особо, что результат работы фрагментарного алгоритма фактически определяется выбором порядка следования (нумерацией) элементарных фрагментов. Таким образом, в рамках фрагментарной модели задача о землепользовании сводится к задаче поиска оптимальной перестановки фрагментов.

Многие дискретные задачи оптимизации и распознавания можно представить как задачи на фрагментарной структуре. При этом решением задачи является максимальный по включению фрагмент.

Показано, что задачу землепользования можно рассматривать как задачу на фрагментарной структуре. Здесь каждый элементарный фрагмент представляется ребром двудольного графа, первый конец которого принадлежит первой доле (типы культур), а второй конец второй доле (участки) графа модели. Условие присоединения – второй конец выбранного ребра не совпадает ни с одним из вторых концов уже выбранных ребер.

Далее, для поиска оптимальных по Парето решений можно применить эволюционный алгоритм на перестановках [4]. Базовым множеством модели выступает множество всех перестановок элементарных фрагментов. Опишем теперь оператор кроссовера. Пусть  $u = (u_1, u_2, \dots, u_N)$  и  $v = (v_1, v_2, \dots, v_N)$  – две произвольные перестановки. Перестановка – потомок строится следующим образом: последовательности  $u$  и  $v$  просматриваются сначала. На  $m$ -м шаге выбирается наименьший из первых элементов последовательностей и добавляется в новую перестановку – потомок. Затем этот элемент удаляется из двух последовательностей-родителей. Например,

$$K((4,6,3,2,1,5,8,7), (2,6,1,4,3,8,5,7)) = (2,4,6,1,3,4,5,8,7)$$

Оператор мутации  $M$  выполняет случайную транспозицию (замену местами двух элементов) в перестановке.

Для многокритериальной задачи землепользования удалось построить эффективную модель поиска оптимального решения, которая позволяет, с одной стороны, практически полностью автоматизировать поиск оптимальных по Парето решений задачи землепользования, с другой, оставляет широкие возможности руководителю в определении степени важности критериев качества, оценки риска, окончательного выбора решения.

## Литература

1. Перепелица В.А. Исследование одного класса целочисленных многокритериальных задач / Перепелица В.А., Сергиенко И.В. // Журнал вычисл. матем. и матем. физики, - 1988, - Т.28, № 3.- С. 400-419.
2. Сергиенко И.В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации / И.В. Сергиенко. - К. : Наукова думка, 1988.- 472 с.
3. Максишко Н. К. Моделі та методи розв'язання прикладних задач покриття на графах та гіперграфах /Н. К. Максишко, Т. В. Заховалко// - Запорожье Полиграф, 2009–244 с.
4. Козин И. В. Фрагментарные структуры и эволюционные алгоритмы / И. В. Козин // Питання прикладної математики і математичного моделювання : Зб. наук. праць / [ред. кол.: О. М. Кисельова (головний редактор) та ін.]. – 2008.–С. 138-146.



## АЛГОРИТМИ ОБЧИСЛЕННЯ ОЦІНОК ВЗАЄМНО КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ

Для побудови ефективних за швидкістю алгоритмів обчислення оцінок авто- та взаємно кореляційних функцій застосовують теорему про дискретну згортку.

Оцінка взаємно кореляційних функцій випадкових послідовностей  $x(n)$  і  $h(n)$ ,  $n = \overline{0, N-1}$ , має вигляд [1]

$$R(l) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-l-1} h(m)x(m+l), \quad l = \overline{0, L-1}. \quad (1)$$

Швидкі алгоритми обчислення (1) можна віднести до двох основних груп: «непрямого» алгоритму та алгоритмів секціонування з різними способами вибору секцій, в залежності від значень  $N$  та  $L$ . В даній роботі продовжуються дослідження, пов'язані з побудовою ефективних за швидкістю алгоритмів обчислення (1). Для їх побудови використовуються результати представлені в роботах [1–3] і у випадку, коли послідовності  $x(n)$ ,  $n = \overline{0, N_1-1}$  та  $h(m)$ ,  $m = \overline{0, N_2-1}$ , різної довжини  $N_1$  та  $N_2$  відповідно, причому  $N_1 \gg N_2$ , тобто, коли одна з них суттєво довша за іншу. В цьому випадку  $R(l)$ ,  $l = \overline{0, L-1}$ , має довжину  $L = N_1 + N_2$  відліків і оцінка взаємно кореляційної функції має вигляд

$$R(l) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-l-1} h(m)x(m+l), \quad (2)$$

де  $M \geq N_1 + N_2$ ,  $M = 2^\gamma$ ,  $\gamma > 0$  – ціле,  $l = \overline{0, L-1}$ . Нехай  $N_1 \gg N_2$ . Розроблено ряд ефективних за швидкістю алгоритмів обчислення (2).

«Непрямий» алгоритм базується на використанні теореми про дискретну згортку двох послідовностей  $h'(n)$  та  $x'(n)$ ,  $n = \overline{0, N_1 + N_2 - 1}$ , які містять по  $(N_1 + N_2)$  відліків, що досягається доповненням кожної з двох послідовностей відповідним числом нульових відліків. Після цього можна знайти  $(N_1 + N_2)$  – точкові дискретні перетворення Фур'є (ДПФ) доповнених послідовностей, перемножити їх та виконати обернене ДПФ (ОДПФ) добутку. В результаті отримаємо шукану оцінку взаємно кореляційної функції  $R(l)$ ,  $l = \overline{0, M-1}$  вигляду (2).

Використання непрямого алгоритму не завжди ефективне, наприклад, при великих обсягах вхідної інформації, особливо, коли одна з послідовностей значно довша за іншу. В такому випадку доцільно використовувати алгоритми секціонування. Запропоновані «швидкі» алгоритми секціонування ґрунтуються на розбитті довгої послідовності  $x(n)$ ,  $n = \overline{0, N_1-1}$ , на невеликі секції довжини  $N_3$  та обчисленні часткових оцінок взаємно кореляційних функцій, з яких потім формується шукана оцінка  $R(l)$ ,  $l = \overline{0, M-1}$ . Вони базуються на використанні теореми про дискретну згортку та відрізняються способом розбиття довгої послідовності на секції, а також способом формування шуканої вихідної оцінки взаємно кореляційної функції із часткових взаємно кореляційних функцій.

Основна ідея першого алгоритму полягає в тому, що з довгої послідовності  $x(n)$ ,  $n = \overline{0, N_1-1}$ , формуються короткі суміжні секції, які не перекриваються. Ці секції формуються таким чином, що часткові оцінки кореляційних функцій цих секцій мають певні ділянки перекриття і тому відліки на цих ділянках потрібно додати.

Основна ідея *другого алгоритму*, на відміну від першого, полягає в тому, що в даному випадку перекриваються вхідні, а не вихідні секції, а помилкові відліки часткових оцінок кореляційних функцій, пов'язані з усуненням міжперіодної інтерференції, відкидаються. Решта відліків накопичуються і з них формується кінцевий результат.

Отримано оцінку евклідової норми похибки заокруглення обчислення  $R(l)$ ,  $l = \overline{0, M-1}$ , «непрямим» алгоритмом з використанням ШПФ та похибку заокруглення запропонованих в роботі «швидких» алгоритмів секціонування 1 та 2 обчислення оцінок взаємно кореляційних функцій з урахуванням особливостей задання інформаційного оператора  $\varphi = \varphi(N_1, N_2, L)$ , параметрів алгоритмів (наприклад, значень  $M, N_3$ ) та запропонованих способів формування коротких секцій та обчислення  $R(l)$ ,  $l = \overline{0, M-1}$  з часткових оцінок  $R_k(l)$ ,  $k = \overline{0, p-1}$ , при виконанні умови  $N \cdot 2^{-\tau} < 0,1$ .

Для оцінки складності трьох наведених алгоритмів має місце наступна теорема. Наведемо її без доведення.

Теорема. Загальний обсяг обчислювальних витрат, необхідний для реалізації запропонованих алгоритмів обчислення  $R(l)$ ,  $l = \overline{0, M-1}$ , як функцію довжини секції  $S$ , можна оцінити виразом

$$Q(S) = (1+2p)(3\tau_1 + 2\tau_2)S \log_2 S + 2pS(\tau_1 + 2\tau_2) + t(p_1S),$$

де  $\tau_1, \tau_2$  – час виконання на ПК операції додавання та множення відповідно,

$$S = \begin{cases} M, & \text{для непрямого алгоритму,} \\ N, & \text{для алгоритмів секціонування,} \end{cases}$$

$$p = \begin{cases} 1, & \text{для непрямого алгоритму,} \\ \left\lceil \frac{M}{N} \right\rceil, & \text{для алгоритмів секціонування,} \end{cases}$$

$$t_{p,s} = \begin{cases} 0, & \text{для непрямого алгоритму,} \\ N_3\tau_1, & \text{для алгоритму 1,} \\ 0, & \text{для алгоритму 2.} \end{cases}$$

Побудовані й обґрунтовані ефективні за швидкодією алгоритми обчислення оцінок взаємно кореляційних функцій стаціонарних ергодичних випадкових процесів, які базуються на використанні алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) та розроблено покроковий опис трьох алгоритмів: «непрямого» та двох алгоритмів секціонування, кожний з яких має свою область ефективного застосування, в залежності від постановки задачі та особливостей задання сіткового інформаційного оператора.

## Література

1. Задирака В.К. Теория вычисления преобразования Фурье. – Киев: Наук. думка, 1983. – 216 с.
2. Задирака В.К., Мельникова С.С. Цифровая обработка сигналов. – Киев: Наук. думка, 1993. – 294 с.
3. Сергієнко І.В., Задирака В.К., Литвин О.М., Мельникова С.С., Нечуйвітер О.П. Оптимальні алгоритми обчислення інтегралів від швидкоосцилюючих функцій та їх застосування. Т. 1., Алгоритми. – Киев: Наукова думка, 2011. – 447 с., Т. 2., Застосування. – Киев: Наукова думка, 2011. – 346 с.
4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

### ДЕЯКІ МІРИ СХОЖОСТІ ОБ'ЄКТІВ

Мета кластерного аналізу – виявити групи об'єктів (індивідів), що мають максимальну кількість спільних рис (схожих) між собою і в той же час мінімальну схожість з іншими групами. Оскільки техніки кластерного аналізу дозволяють визначати схожість і відмінність, вони дуже корисні в сенсі виявлення в сукупності даних деяких базових взірців (представників кластерів). Внаслідок цього вони часто використовуються при попередньому аналізі даних.

Мірою подібності, при кластеризації даних, як правило виступає відстань між об'єктами, на основі якої і побудовані різні види метрик. Але існує багато класів практичних задач, із фізичного змісту яких слідує, що потрібно виявити схожість об'єктів  $O_i, i = \overline{1, m}$  за їх векторами ознак  $\overline{c_i}, i = \overline{1, m}$  використавши інші (альтернативні) міри подібності, зокрема кутову та довжину [1]. Крім того, в багатьох задачах кластерного аналізу групування об'єктів необхідно проводити тільки в групах однотипних векторних ознак.

З метою здійснення попереднього аналізу вхідних об'єктів, для виявлення їх однотипних груп, пропонується використати функції-фільтри, які, в певному сенсі, визначають міру знакової однотипності об'єктів. Для їх математичної формалізації використано математичний апарат теорії нечітких бінарних відношень.

Нечітке бінарне відношення  $R^{RS}$  із функцією належності  $\varphi_{R^{RS}} : \{\overline{c_i} | i = \overline{1, m}\}^2 \rightarrow [0, 1]$ :

$$\varphi_{R^{RS}}(\overline{c_i}, \overline{c_j}) = \frac{2n - \left| \sum_{k=1}^n \text{sign}(c_i^k) - \sum_{l=1}^n \text{sign}(c_j^l) \right|}{2n}$$

буде визначати відносну відсоткову однотипність (Relative Similarity) об'єктів. Тобто, чим більше вектори ознак  $\overline{c_i}$  та  $\overline{c_j}$  двох об'єктів  $O_i$  і  $O_j$  будуть мати подібну сумарну знакову структуру часткових ознак, тим ближче  $\varphi_{R^{RS}}$  буде ближче до одиниці. І навпаки. Крім того, числове значення  $\varphi_{R^{RS}}$  буде відповідати відсотку їх схожості.

Нечітке бінарне відношення  $R^{AS}$  із функцією належності  $\varphi_{R^{AS}} : \{\overline{c_i} | i = \overline{1, m}\}^2 \rightarrow [0, 1]$ :

$$\varphi_{R^{AS}}(\overline{c_i}, \overline{c_j}) = \frac{2n - \sum_{k=1}^n |\text{sign}(c_i^k) - \text{sign}(c_j^k)|}{2n}$$

буде визначати відносну відсоткову однотипність (Absolute Similarity) об'єктів. Чим більша буде знакова схожість відповідних часткових ознак векторів  $\overline{c_i}$  та  $\overline{c_j}$  двох об'єктів  $O_i$  і  $O_j$ , тим ближче  $\varphi_{R^{AS}}$  буде ближче до одиниці. Як і в попередньому випадку, числове значення  $\varphi_{R^{AS}}$  буде відповідати відсотку їх схожості.

### Література

1. Кондрук, Н. Е. Деякі методи автоматичного групування об'єктів / Н. Е. Кондрук // Південно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 2(4). – С.20–24.
2. Кондрук, Н. Е. Застосування багатокритеріальних моделей для задач збалансованого харчування / Н. Е. Кондрук, М. М. Маляр // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: технічні науки. 2010. – №1. – Вип. 1. – С.3–7.

## ДО РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ КОМУНІКАЦІЇ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕННЯМИ

Сучасний розвиток засобів обчислювальної техніки та інформаційних технологій з однієї сторони та існування у суспільстві груп людей з обмеженими можливостями для спілкування спонукає до досліджень альтернативних засобів комунікації для таких людей. Одним із засобів такої комунікації є рухи тіла: жести руками, конфігурації кисті, рухи очима та головою тощо. Пропонується інформаційна технологія, яка допомогла б реалізації цих альтернативних підходів до спілкування. Основна ідея технології полягає у створенні комплексного підходу до реалізації такої комунікації. Апаратно-програмна реалізація технології повинна забезпечити комунікацію вказаними способами.

Розпізнавання жестів полягає у ідентифікації жестів людини з використанням певних технологій. На сьогоднішній день, у цій області, були проведені дослідження з найбільш перспективними технологіями: технології рукавичок, давачів п'ястку, 2D та 3D камери та платформи Kinect[1]. Платформа Microsoft Kinect призначена для розпізнавання руху. Декілька дослідницьких проектів розглядали застосування Kinect для розпізнавання жестових мов, та прийшли до висновків, що система може розпізнавати жести з великими амплітудами, але не спроможна розпізнавати мілкі жести[2]. Для поставленої мети варто дослідити контролер Leap Motion[3], який дає можливості для нового способу взаємодії руки людини з обчислювальними пристроями. Контролер Leap Motion є давачем, за допомогою якого перетворюються рухи рук у комп'ютерні команди. До переваг контролера Leap Motion можна віднести точний рівень деталізації API Leap Motion. API забезпечує доступ до даних які відтворюються на руках та пальцях. Дані, отримані від API є детермінованими, клієнтське застосування не потребує інтерпретації отриманих даних. API розпізнає одну руку з п'ятьма пальцями. Це контрастує з іншими доступними 3D пристроями сенсорного введення, таких як Microsoft Kinect - де рівень сенсорних даних потрібно очищати та інтерпретувати. До недоліків варто віднести складності в підтримці точності розпізнавання, коли рука не у прямій видимості контролера.

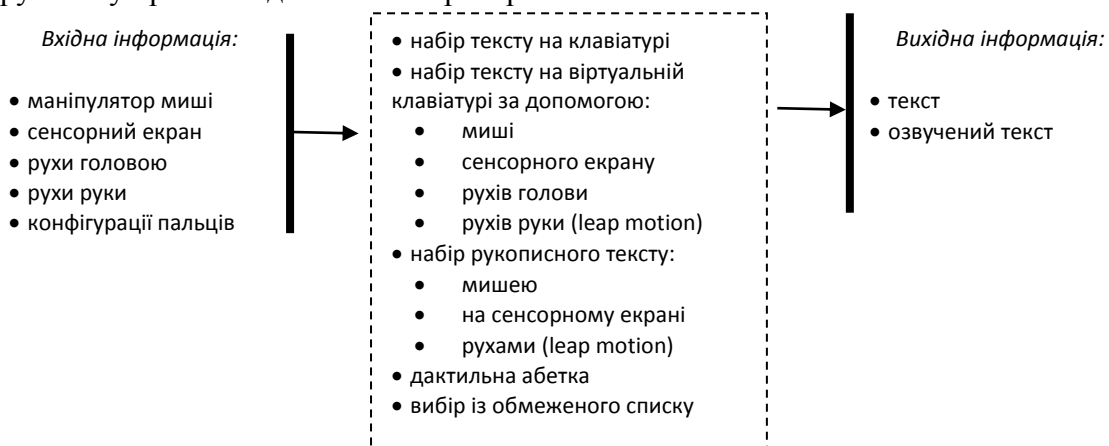


Рис.1. Інформаційна технологія альтернативної комунікації

Іншим засобом, який можна використовувати для альтернативної комунікації є рухи голови. Ці рухи можна досить стало розпізнавати за допомогою веб-камери[4]. Рухи очей також можна використовувати для комунікації, але для їх фіксації потрібно відповідний давач[5]. Для досягнення означеної мети також можна використати стандартні можливості сучасної обчислювальної техніки – маніпулятор миші або сенсорний екран.

За допомогою перерахованих засобів управління можна реалізувати комунікацію у вигляді введення (з подальшим озвученням зс допомогою синтезатора тексту у звук): 1) рукописного тексту; 2) тексту набраного на клавіатурі чи віртуальній клавіатурі; 3) показу слів за допомогою дактильної абетки жестової мови глухих; 4) показу (вибору) слів із словників за допомогою відповідних жестів (конфігураційних чи рухових).

Для досягнення поставленої мети запропонована інформаційна технологія (рис. 1). Так, використовуючи для пристрій Leap Motion, за допомогою якого можна керувати курсором рухами руки, реалізована технологія (рис. 2), яка містить наступні області: 1) поле для відображення введеного різними способами тексту; 2) кнопка для озвучення введеної інформації; 3) область для відображення списку слів чи виразів, що часто використовуються; 4) область, що може містити віртуальну клавіатуру або місце для введення рукописного тексту.

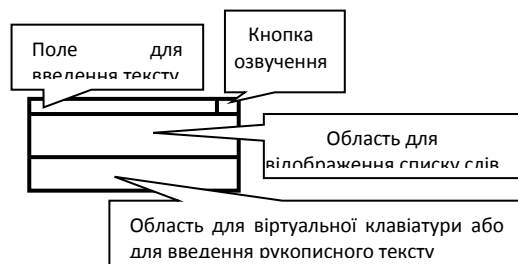


Рис. 2. Проектування застосування для комунікації

В доповіді розглянуто методи введення тексту за допомогою віртуальної клавіатури. Управління курсором, при цьому, можливе: маніпулятором миші, сенсорним екраном або рукою (через пристрій Leap Motion). На рис. 3. показано процес введення рукописного тексту – за допомогою миші, сенсорного екрану чи рукою через пристрій Leap Motion. Подібно можна вводити текст за допомогою дактильної абетки (дактильні символи ідентифікуються за допомогою інформації з Leap Motion, або управляти курсором за допомогою нахилів голови

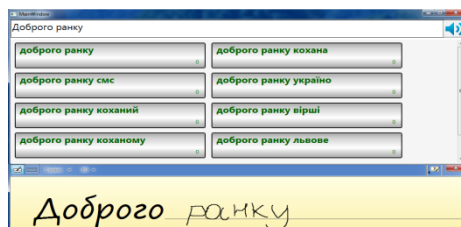


Рис. 3. Введення рукописного тексту

Подальші дослідження направлені на вдосконалення запропонованих підходів та інформаційних технологій.

### Література

1. Wang R.Y. Real-Time Hand-Tracking with a Color Glove / R.Y. Wang, J. Popovic // ACM Transaction on Graphics (SIGGRAPH 2009). – 28(3), August 2009. – P.63.
2. Yang H.-D. Sign Language Recognition with the Kinect Sensor Based on Conditional Random Fields./ H.-D.Yang // Sensors 2015. – №15. – P.135-147.
3. <https://www.leapmotion.com/> Leap Motion | Mac & PC Motion Controller for Games, Design, & More
4. <http://eviacam.sourceforge.net/> Enable Viacam. Free webcam based mouse emulator.
5. <https://theeyetribe.com/> Eye tracking, or gaze tracking, is a technology that consists in calculating the eye gaze point of a user as he or she looks around

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ МІМІЧНИХ ПРОЯВІВ В СИСТЕМАХ ІНТЕРАКТИВНОГО ВИВЧЕННЯ ЖЕСТОВОЇ МОВИ**

В доповіді розглянуто основні елементи інформаційної технології аналізу мімічних проявів для використання в системах інтерактивного вивчення жестової мови. Описано основні компоненти інформаційної технології, її експериментальна реалізація. Проведено аналіз впливу кількості ознак, обсягу навчальної вибірки і типу класифікатора на кількість помилок 1 і 2 роду. Удосконалено існуючі алгоритми ідентифікації мімічних проявів шляхом вибору оптимального набору конструктивів мультикласифікаторів.

Для створення інформаційної технології для аналізу процесів, що містять мімічні прояви (рис. 1) визначені усі складові такого процесу – об'єкти, властивості і стани об'єктів, взаємозв'язки і залежності на різних етапах обробки даних. В якості вхідних об'єктів виступають відео-зразки мімічних проявів (відеопотік), які містять послідовність станів мімічного прояву (мімічного жесту або мімічної морфеми) на протязі інтервалу м'язової активності (скорочення – розслаблення одного мімічного м'яза або групи м'язів).

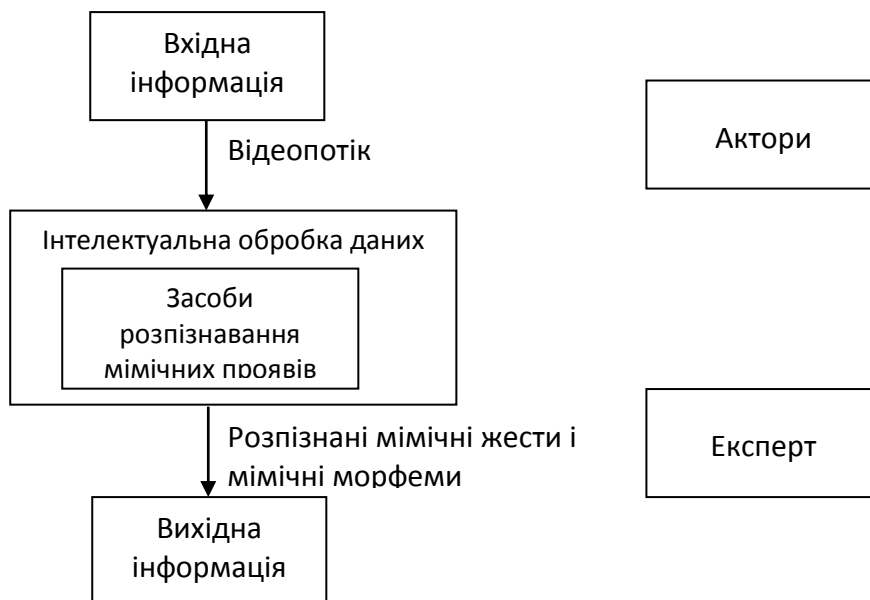


Рис. 1. Узагальнена структурна схема інформаційної технології

В якості атрибутів такого сигналу виступають основні інформаційні характеристики – частота дискретизації сигналу, кількість інформаційних відліків сигналу, порядковий номер (ідентифікатор) сигналу, ідентифікатор користувача тощо. Між елементами вхідних даних виникають зв'язки ієрархії: кожен відлік сигналу є частиною множини відліків із певним порядковим номером, що визначають черговість появи конкретного відліку у відеопотоці.

Процес обробки вхідних даних оперує потоком кадрів відеозображення: за допомогою алгоритмів ідентифікації і відслідковування об'єктів на відеопослідовностях отримуються координати ключових точок на кожному кадрі і формується потік даних координат ключових точок на відеозображенні.

На даному етапі необхідна наявність обмежень до вхідних даних, що описуються такими термінами: кут орієнтації обличчя відносно камери, швидкість показу мімічних проявів, тип відеокompresії, освітленість сцени, а також обмежень до алгоритму відслідковування об'єктів, що залежать від типу і налаштувань алгоритмів.

Для аналізу мімічних провів розроблені алгоритми отримання певних ключових точок і дослідження траєкторій їх руху, розмітки та нормалізації даних, налаштування функціонального перетворювача між вхідними даними та деякими лінгвістичними змінними, що описують приналежність вхідних даних (відеозразків мімічних проявів) до деякого класу. Оскільки, для вхідних даних є можливість встановлення апріорного класу (заздалегідь відомого значення лінгвістичної змінної), можна побудувати деякий функціональний перетворювач, що оперує даними траєкторій руху ключових точок на обличчі.

В якості вихідних даних виступає потік значень лінгвістичних змінних, що відповідають деяким відлікам вхідної відеопослідовності або усьому інтервалу відліків. Для таких даних встановлюється деякий атрибут, що описує точність встановлення функціональної залежності (ідентифікації) для деякого конкретного випадку (мімічний вираз або мімічна морфема) шляхом багаторазового виконання ітераційної процедури налаштування функціонального перетворювача для декількох реалізацій даних, що сформовані із усієї множини відеозразків мімічних проявів.

Інформаційна технологія розроблена у середовищі IntelliJ IDEA на мові Scala із залученням бібліотек Java. Для реалізації бази даних було використано систему керування базами даних PostgreSQL та відповідний драйвер бази даних для Oracle JVM (Java Virtual Machine), що підключається до виконавчих файлів програмної реалізації.

Випробування інформаційної технології було проведено на наборі з 300 мімічних проявів, знятих з обличчя 5 різних акторів, з яких було відібрано набори, які включали в себе (для різних експериментів) від 2 до 14 представників базових мімічних проявів. Крім того, для ряду експериментів досліджувався не весь часовий інтервал активності мімічного прояву, а лише той, що охоплював мімічний прояв в стані насичення (приблизно 40% усього інтервалу активності).

У результаті проведених експериментів було отримано декілька різних структур мультикласифікаторів із комбінацією найбільш ефективних методів виділення ознак і класифікації мімічних проявів, що дало можливість реалізувати ефективну систему ідентифікації мімічних проявів. Було проведено аналіз впливу кількості ознак, обсягу навчальної вибірки і типу класифікатора на кількість помилок 1 і 2 роду, що дозволило запропонувати декілька нових конструктів мультикласифікаторів.

Зокрема, запропонований алгоритм ідентифікації часових змін компонент мікровиразів дозволив реально виділяти такі зміни незалежно від акторів. В процесі дослідження алгоритмів було виявлено та запропоновано структуру мультикласифікатора, який суттєво використовує ефективну ознаку на основі порівняння внутрішньої DTW-кореляції зміни координат ключових точок на обличчі в часі і не залежить від тривалості мімічного прояву.

## Література

1. Кривонос Ю.Г., Крак Ю.В., Тернов А.С., Лісняк М.П. Розробка архітектури програмного забезпечення для інтерактивного навчання жестовій мові // Проблеми програмування – 2014. – №2-3 – С.295-302.
2. Крак Ю.В., Кузнецов В.А., Тернов А.С. Анализ мимических проявлений на лице человека // Штучний інтелект. – 2015. - №3(61). – С.154-170.

## МЕТОД ТА СПЕЦПРОЦЕСОРИ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЙ ХЕММІНГОВОГО ПРОСТОРУ У ЗАДАЧАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Вступ. Сучасні досягнення в області мікроелектроніки, мікропроцесорної техніки та розвитку фундаментальних досліджень в теорії та розробці алгоритмів опрацювання інформаційних потоків у різних теоретико-числових базисах (ТЧБ) створюють сприятливі умови для відповідного вдосконалення та покращення системних характеристик високопродуктивних процесорів. Актуальною задачею є систематизація методів опрацювання інформаційних потоків на основі аналітики різних теоретико-числових базисів, розроблення структури та компонентів високопродуктивних спеціалізованих процесорів для розпізнавання образів.

При побудові високопродуктивних багаторозрядних спецпроцесорів, особливо в задачах цифрової обробки сигналів та зображень, а також прийняття рішень на основі визначення Хеммінгової віддалі, широко використовується операція піднесення до квадрату. Одним з компонентів таких процесорів є числоімпульсний множильний пристрій (ЧМП) [1].

Важливим компонентом методів та інформаційних технологій розпізнавання образів є попередня їх обробка та перетворення. Формалізація відомих методів розпізнавання одномірних образів описується наступними функціоналами (таблиця 1) [2].

Таблиця 1.

№	Формула	2	$d_{ij} = \left( \sum_{k=1}^z  x_{ik} - x_{jk} ^p \right)^{\frac{1}{p}}$	4	$d_{ij} = (X_i - X_j)^T S^{-1} (X_i - X_j)$
1	$d_{ij} = \left( \sum_{k=1}^z (x_{ik} - x_{jk})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$	3	$d_{ij} = \left( \sum_{k=1}^z  x_{ik} - x_{jk} ^\infty \right)^{\frac{1}{\infty}}$	5	$d_{ij} = \sum_{k=1}^z  x_{ik} - x_{jk} $

В таблиці 1:  $d_{ij}$  – значення Евклідової відстані між  $i$ -тим і  $j$ -тим об'єктами;  $x_{ik}$  – чисельне значення  $k$ -тої ознаки для  $i$ -того об'єкту;  $x_{jk}$  – чисельне значення  $k$ -тої ознаки для  $j$ -того об'єкту;  $z$  – кількість ознак, якими описуються об'єкти.

Найчастіше, на практиці, використовують квадрат  $d_{ij}^2$  Евклідової відстані. Крім того, у ряді випадків використовується «зважена» Евклідова відстань, при обчисленні якої для окремих доданків використовуються вагові коефіцієнти.

Ефективним вирішенням реалізації унітарного перемножувального пристрою є застосування алгоритму піднесення до квадрату шляхом сумування непарних чисел:

$$x \cdot x = \sum_{i=1}^x (2i-1). \text{ Наприклад: } x=11; x \cdot x = 1+3+5+7+9+11+13+15+17+19+21=121.$$

На рис. 1 показано структуру перемножувача шляхом піднесення до квадрату унітарних кодів, де  $L$ ,  $\Sigma$  – відповідно лічильник та суматор у базисі Радемахера.

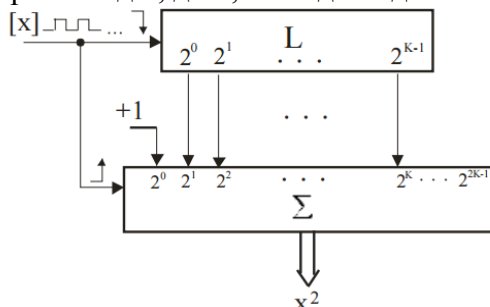


Рис.1. Структура перемножувача шляхом піднесення до квадрату унітарних кодів

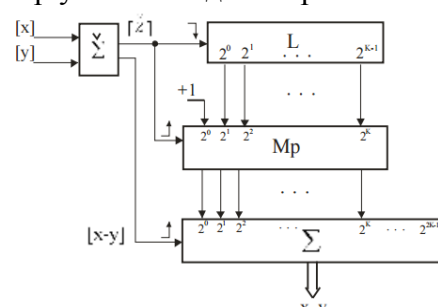


Рис. 2. Структура перемножувального пристрою унітарних кодів



Алгоритм множення полягає в тому, що в унітарному коді  $y$  ( $y \geq x$ ) додатково кожний  $i$ -й елемент ( $i = x + 1, x + 2, \dots, y$ ) поданий кодом числа  $x$  у базисі Радемахера, який  $|y - x|$  разів сумується з раніше накопиченою сумою перетворених згідно виразу  $i - x$  елементів, в результаті цього сумування рівний добутку  $(x \cdot y)$ . Алгоритм такого виконання операції множення над унітарними кодами  $x$  та  $y$  має аналітично описується з виразами:

$$[x] \cdot [y] = [x^2] + \lfloor |y - x| \cdot x \rfloor, \quad x \cdot y = \sum_{i=1}^{\tilde{Z}} (2i - 1) + \sum_{i=\tilde{Z}+1}^{\tilde{Z}} \tilde{Z}, \quad x \leq y; \quad \tilde{Z} = \begin{cases} x, & x \leq y \\ y, & x > y \end{cases}; \quad \hat{Z} = \begin{cases} x, & x > y \\ y, & y \geq x \end{cases}.$$

Структурна реалізація алгоритму множення з використанням ортогональної функції формування унітарних кодів представлена на рис.2.

Вдосконалення ЧМП шляхом додаткового введення модульних лічильників ТЧБ Хаара-Крестенсона, входи яких з'єднані з вхідними шинами додатково введених матричних модульних перемножувачів та цифрового шифратора, дозволяє отримати підвищення на 1-2 порядки швидкодії, а також більш високу регулярність структури за рахунок реалізації модульних лічильників на регістрах зсуву та матричних модульних перемножувачів на елементах І-НЕ. На рис.3 показана структурна схема пристрою [1].

Принцип роботи пристрою полягає у тому, що в ЧМП унітарні коди паралельно записуються у модульні лічильники системи залишкових класів ТЧБ Хаара-Крестенсона, паралельно перемножуються у матричних модульних перемножувачах, а результати дешифруються з системи залишкових класів в двійкову систему числення. При цьому модульний лічильник базису Хаара-Крестенсона реалізується на основі регістра зсуву на Д-тригерах зі зворотнім зв'язком  $T_{p-1} - T_0$ . Таким чином швидкодія ЧМП визначається затримкою сигналів внаслідок переключення елементів матричного модульного лічильника ( $\tau_d$ ), модульного матричного перемножувача ( $\tau_n$ ) та шифратора ( $\tau_o$ )  $\tau = \tau_d + \tau_n + \tau_o = 2\nu + 2\nu + 2\nu = 6\nu$ .

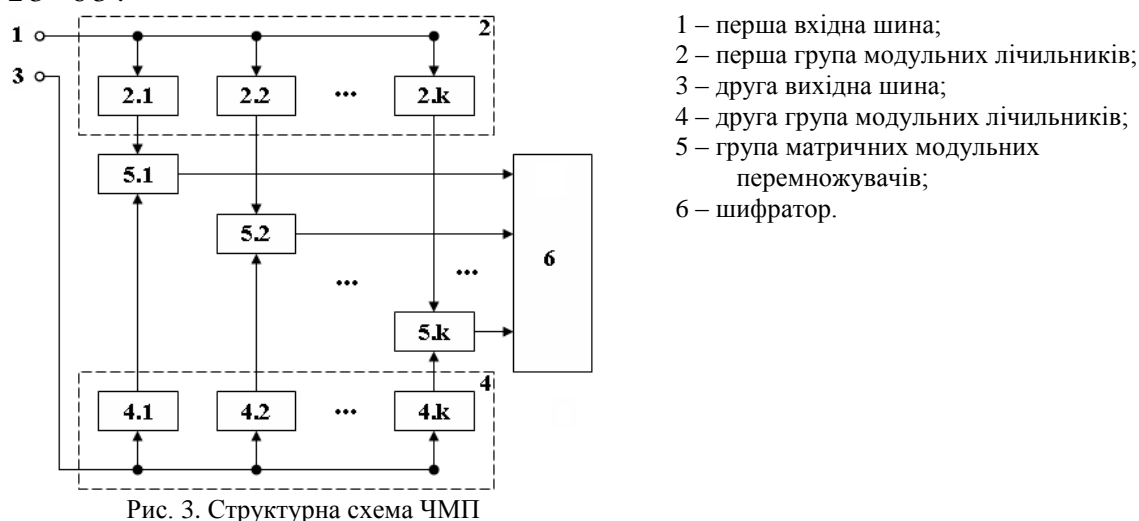


Рис. 3. Структурна схема ЧМП

**Висновок.** Розроблені структури спец процесорів на основі різних теоретико-числових базисів можуть бути ефективно використані в якості компонентів високопродуктивних спецпроцесорів, які реалізують алгоритми розпізнавання образів та прийняття рішень.

### Література

1. Давлетова А.Я., Круліковський Б.Б., Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Пат.107811 Україна МПК G06B 7/38 (2006.01) / Числоімпульсний множильний пристрій / №u201512080; заявл.07.12.2015; опубл.24.06.2016, Бюл. №12.
2. Круліковський Б.Б. Теоретичні основи розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі. / Б.Б. Круліковський, А.І. Сидор, Я.М. Николайчук, О.М. Заставний / Вісник НЛТУ України Вип..26.3.- Львів, 2016.- с.361-367.

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ВИКОНАННЯ РОБІТ В БАГАТОСТАДІЙНИХ ЗАДАЧАХ

Розглядається задача планування розкладів виконання робіт в багатостадійній системі приладів (виконавців). Множина робіт  $N$  одночасно поступає на виконання в систему приладів конвеєрного типу. Тобто кожна робота складається з  $m$  операцій, які повинні виконуватися у фіксованій послідовності. Обслуговуюча система має  $m$  ділянок, кожна  $j$  з яких містить  $L_j \geq 1, j = 1, 2, \dots, m$  паралельних ідентичних приладів для виконання відповідних  $j$ -х операцій робіт множини  $N$ . Для кожної з робіт  $i \in N$  задані тривалість виконання всіх операцій роботи  $t_{ij}$ . При виконанні робіт в будь-який момент часу кожен прилад може виконувати не більше однієї роботи і кожна операція роботи може виконуватись не більше ніж одним приладом. Переривання у виконанні роботи допускається тільки між операціями. Робота  $i \in N$  вважається повністю виконаною після завершення виконання всіх операцій роботи. Довжиною розкладу є момент завершення виконання всіх робіт на останній ділянці конвеєра. Необхідно побудувати розклад мінімальної довжини.

У класичній постановці задачі вважається, що структура конвеєра (кількість приладів на кожній ділянці) фіксована і оптимізація здійснюється за рахунок упорядкування робіт та їх розподілу між приладами. При чому найбільш вивченими є задачі, в яких  $L_j = 1, j = 1, 2, \dots, m$  [1, 2]. В цьому випадку оптимізація здійснюється тільки за рахунок упорядкування робіт кожним виконавцем, а необхідність розподілу операцій між виконавцями відпадає. На практиці досить часто зустрічаються ситуації, коли виконавці є досить універсальні і (або) мобільні, що дає змогу в залежності від плану виконання робіт збільшувати або зменшувати кількість виконавців на тій чи іншій ділянці або перерозподіляти виконавців між ділянками конвеєра. В таких задачах вводяться обмеження на кількість виконавців кожної ділянки конвеєра

$$L_j \leq \bar{L}_j, j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

і при необхідності загальної їх кількості

$$L = \sum_{j=1}^m L_j \leq \bar{L}. \quad (2)$$

При оптимізації структури системи виконавців природно враховувати затрати  $C_j, j = 1, 2, \dots, m$  на одного виконавця ділянки  $j$ , та сумарні витрати  $C = \sum_{j=1}^m L_j * C_j$ .

Розглядається модель задачі:

- кількість виконавців кожної ділянки обмежена (1);
- загальна кількість виконавців обмежена (2);
- для кожного з виконавців  $k = 1, 2, \dots, \bar{L}$  визначається множина операцій

$N^k \subset \{1, 2, \dots, m\}$ , які він може виконувати;

- структура конвеєра фіксується після розподілу виконавців по ділянках конвеєра і не змінюється протягом всього часу виконання робіт;
- оптимізація здійснюється по довжині розкладу при обмежених сумарних витратах  $C$ , або по сумарних витратах при обмеженій довжині розкладу.

Пропонується алгоритм пошуку оптимальних рішень для сформульованої задачі.

### Література

1. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы, М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1989. – 328 с.
2. Шкурба В.В. Задача трех станков.-М.: Наука. – 1976. – 96 с.

## ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ АРИФМЕТИКИ ПРИ УЗАГАЛЬНЕННІ ЗАДАЧ РОЗПОДІЛУ

Потреба раціонального розподілу ресурсів виникає в різних сферах діяльності людини [1]. Тому математичне моделювання та дослідження процесів розподілу ресурсів є актуальною задачею сьогодення [2].

Нехай  $N = \{1, \dots, n\}$  множина агентів,  $|N| = n \geq 2$ . Кожен агент  $i \in N$  подає заявку  $b_i \in R_+$  на деякий ресурс  $c \in R_+$ , причому  $\sum_{i=1}^n b_i > c$ . Задачею розподілу називається задача пошуку вектора  $x \in R^n$  для заданої пари  $(b, c) \in R_+^n \times R_+$ , який задовольняє таким умовам: невід'ємності ( $x_i \geq 0, \forall i \in N$ ), обмеженості ( $x_i \leq b_i, \forall i \in N$ ), збалансованості ( $\sum_{i=1}^n x_i = c$ ).

Вектор  $x \in R^n$  при цьому називається вектором розподілу. Метод (правило) розподілу визначається співвідношенням, що ставить у відповідність кожній множині агентів  $N$  і кожній парі  $(b, c)$  єдиний вектор винагород, який позначатимемо  $r(N, c, b)$ .

Одним із підходів до узагальнення класичних методів розподілу є представлення заявок агентів та величини  $c$  у вигляді нечітких чисел та застосування відповідних арифметичних операцій [3]. Недоліком даного підходу є важкість побудови аксіоматичної характеристики (тобто системи необхідних та достатніх умов, що характеризують певний метод розподілу [4]) отриманих узагальнень. З огляду на це пропонується використати нові арифметичні операції над нечіткими числами трикутного вигляду, запропоновані в [5].

Нехай заявки агентів визначаються нечіткими числами трикутного вигляду  $B_i = (b_i^L; b_i^C; b_i^R)$ , а величина ресурсу нечітким трикутним числом  $C_i = (c^L; c^C; c^R)$ . Припустимо, що виконуються умови, необхідні для застосування відповідних операцій. Тоді можемо отримати аналітичний вираз для відшукування «пропорційного податку» - одного з найбільш поширених методів розподілу [1]:

$$PR_i = \left( \frac{b_i^L}{\sum_{i=1}^n b_i^L} c^L; \frac{b_i^C}{\sum_{i=1}^n b_i^C} c^C; \frac{b_i^R}{\sum_{i=1}^n b_i^R} c^R \right),$$

де  $PR_i$  величина пропорційного податку для  $i$ -го агента. Інші методи розподілу [1] узагальнюються аналогічно.

### Література

1. Волошин О.Ф., Машенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень : Навчальний посібник. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. – 336с.
2. Moulin H. Axiomatic cost and surplus sharing / Herve Moulin // Handbook of Social Choice and Welfare, ed.1, vol.1 / Herve Moulin. – Amsterdam: Elsevier, 2002. – С. 289–357.
3. Лавер В.О. Нечіткі узагальнення класичних методів розподілу / В. О. Лавер. // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Серія: Фізико-математичні науки. – 2015. – №3. – С. 94–99.
4. Thomson W. Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: an update / William Thomson. // Working Papers, University of Rochester. – 2013. – №578. – С. 157–182.
5. Gani A. N. A New Operation on Triangular Fuzzy Number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem / A. N. Gani, S. N. Assarudeen. // Applied Mathematical Sciences. – 2012. – №6 (11). – С. 525–532.

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПО ПЕРЕМЕННЫМ И ТОЧНЫЕ ШТРАФНЫЕ ФУНКЦИИ

Схемы декомпозиции широко применяются при решении оптимизационных задач, обладающих специальной структурой (см., например, [1]). Существенные проблемы при использовании схем декомпозиции по переменным возникают в случае, когда множество допустимых точек подзадач становится пустым при некоторых значениях связывающих переменных. Для преодоления этих проблем используются точные штрафные функции. В работе рассматриваются подходы, позволяющие определять значения штрафов без решения сложных вспомогательных задач. Это существенно для применения точных штрафных функций в схемах декомпозиции. Представленный материал основан на результатах, изложенных в [3].

Рассмотрим задачу

$$f^* = \min \{f_0(x) : x \in C\}, \quad (1)$$

где  $C = \{x : f_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m, x \in R^n\}$ ,  $f_i : R^n \rightarrow R, i = 0, \dots, m$  – выпуклые функции.

Положим  $\Phi_\beta(x) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m \beta_i f_i^+(x)$ ,  $F_\lambda(x) = f_0(x) + \lambda h^+(x)$ , где  $h(x) = \max \{f_i(x), i = 1, \dots, m\}$ ,

$$f^+(x) = \max \{0, f(x)\},$$

$$\Phi_\beta^* = \min \{\Phi_\beta(x) : x \in R^n\}, \quad (2)$$

$$F_\lambda^* = \min \{F_\lambda(x) : x \in R^n\}. \quad (3)$$

$\Phi_\beta(x)$  ( $F_\lambda(x)$ ) называется точной штрафной функцией, если решения задач (1) и (2) (соответственно (3)) совпадают. Для определения значений штрафных коэффициентов на каждой итерации оптимизационных алгоритмов решаются некоторые вспомогательные задачи (например, линеаризация исходной задачи). Однако в схемах декомпозиции решений отдельных подзадач для этого недостаточно.

**Лемма 1.** Пусть множество  $C$  компактно и замкнуто, значения штрафных коэффициентов фиксированы, заданы число  $\varepsilon > 0$  и последовательность точек  $x_k, k = 1, 2, \dots$ , сходящаяся к решению  $\tilde{x}$  задачи (2) (или решению задачи (3)). Пусть каждой  $x_k$  по некоторому правилу  $P$  поставлена в соответствие точка  $z_k = P(x_k), z_k \in C, k = 1, 2, \dots$ , и выполняются неравенства

$$\varphi(x_k) \geq f_0(z_k) + \varepsilon \|z_k - x_k\|, \text{ если } x_k \notin C, k = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

где  $\varphi(x) = \Phi_\beta(x)$  (соответственно  $\varphi(x) = F_\lambda(x)$ ). Тогда  $\tilde{x} \in C$ .

Использование функции  $F_\lambda$ . Для  $x \notin C$  и правила  $P : R^n \rightarrow C$  обозначим

$$\lambda_P(x, \varepsilon) = \max \left( 0, \frac{f_0(z) + \varepsilon \|z - x\| - f_0(x)}{h^+(x)} \right), \text{ где } z = P(x), \quad (5)$$

$$\lambda_P(\varepsilon) = \sup \{\lambda_P(x, \varepsilon) : x \notin C\} \quad (6)$$

Пусть для решения задачи (3) применяется некоторый сходящийся алгоритм  $A$ . Значения штрафных коэффициентов уточняются (увеличиваются) по ходу работы алгоритма. Обозначим  $\lambda_k$  значение коэффициента  $\lambda$  на итерации  $k$ . Для  $k=1$  значение  $\lambda_1 > 0$  считается заданным. При построении алгоритмом  $A$  точки  $x_k$  на итерации  $k$  используется значение  $\lambda_k$ . Если в точке  $x_k$  неравенство (4) выполняется при  $\lambda = \lambda_k$ , полагаем  $\lambda_{k+1} = \lambda_k$ , в противном случае  $\lambda_{k+1} = \lambda_P(x_k, \varepsilon) + R$ , где  $R > 0$  – заданный параметр. Соотношения (4) выполняются, если  $\lambda > \lambda_P(\varepsilon)$ , число уточнений коэффициентов  $\lambda_k$  конечно, если  $\lambda_P(\varepsilon) < \infty$ .

Использование штрафных функций с существенно завышенными значениями штрафных коэффициентов приводит к проблемам, связанным с ошибками округления, ухудшением сходимости оптимизационных алгоритмов. Поэтому важной характеристикой правила  $P$  является величина  $\lambda_P(\varepsilon)$ , которая существенно зависит от правила  $P$ . Для того, чтобы минимизировать  $\lambda_P(\varepsilon)$ , нужно использовать в качестве правила  $P$  для каждой точки  $x_k$  решение вспомогательной задачи (построение оптимального правила  $P$ )

$$z_k = P(x_k) = \arg \min_z \{f_0(z) + \varepsilon \|z - x_k\| : z \in C\}. \quad (7)$$

Для приближенного решения этой задачи используются эвристические алгоритмы.

Пусть  $x \notin C$ ,  $y_0 \in C$ ,  $\pi_C(x, y_0)$  – точка пересечения отрезка  $[x, y_0]$  с границей множества  $C$ . Процедура поиска точки  $\pi_C(x, y_0)$  может быть реализована достаточно эффективно.

Теорема 1. Пусть множество  $C$  ограничено, функция  $f_0$  липшицева на  $C$ , задана точка  $y_0 \in C$ ,  $h(y_0) < 0$ ,  $P(x) = \pi_C(x, y_0)$ , для  $x \notin C$ . Тогда  $\lambda_P(\varepsilon) < \infty$ .

Правило  $P(x) = \pi_C(x, y_0)$  позволяет строить достаточно эффективные процедуры уточнения штрафного коэффициента.

В докладе рассматриваются подходы, позволяющие улучшить качество рассмотренного правила  $P$ , применение этого правила при использовании функции  $\Phi_\beta$  и в схемах декомпозиции по переменным.

Полученные результаты будут полезны при разработке алгоритмов декомпозиции выпуклых блочных задач оптимизации со связывающими переменными большой размерности.

## Литература

1. Shor N.Z. Nondifferentiable Optimization and Polynomial Problems. – London: Kluwer Academic Publishers, 1998. – 381 p.
2. Лаптин Ю.П. Вопросы построения точных штрафных функций // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10: Прикладная математика. 2013. Вып. 4. – С. 21–31.
3. Лаптин Ю.П. Точные штрафные функции и выпуклые продолжения функций в схемах декомпозиции по переменным // Кибернетика и системный анализ. – 2016, – № 1.- С. 96 – 108.

## УМОВИ ОПТИМАЛЬНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ У ВЕКТОРНИХ ЗАДАЧАХ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Дослідження властивостей розв'язків векторних дискретних задач, одержання необхідних і достатніх умов їх оптимальності та стійкості є актуальною проблемою, оскільки знання таких умов дає основу для розробки способів перевірки оптимальності та якості того чи іншого обраного розв'язку та побудови ефективних методів знаходження множин оптимальних розв'язків, які мають деякі наперед задані властивості інваріантності при можливих збуреннях вхідних даних задачі [1].

В доповіді сформульовано умови оптимальності розв'язків векторної задачі дискретної оптимізації на допустимій множині, яка описується псевдоопуклими функціями обмежень [2]. На основі інформації про структуру опуклої оболонки допустимих розв'язків задачі отримано достатні умови оптимальності різних видів розв'язків задачі та її стійкості. Досліджено топологічні властивості деяких підмножин простору вхідних даних задачі, на яких зберігається оптимальність її розв'язків.

*Постановка задачі. Основні означення.* Розглянемо векторну задачу дискретної оптимізації такого вигляду:  $Z_P(F, X): \max \{F(x) | x \in X\}$ , де  $F(x) = (f_1(x), \dots, f_l(x))$  – векторний критерій;  $f_i: R^n \rightarrow R^1$ ,  $i \in N_\ell = 1, \dots, \ell$ ,  $X$  – непорожня множина в  $R^n$ ,  $X \subset Z^n$ ,  $G = \{x \in R^n | g_i(x) \leq 0, i \in N_m\}$ ,  $g_i: R^n \rightarrow R^1, i \in N_m$ . Під розв'язанням задачі  $Z_P F, X$  будемо розуміти знаходження елементів множини  $P F, X$  – Парето-оптимальних (ефективних) розв'язків. Розглядатимемо також множини:  $Sl F, X$  – оптимальних за Слейтером (слабо ефективних) розв'язків,  $Sm F, X$  – оптимальних за Смейлом (строго ефективних) розв'язків. Згідно [1-6] для будь-якого  $x \in X$  істинні такі твердження

$$x \in Sl F, X \Leftrightarrow \sigma y, F, X = \{y \in X | F y > F x\} = \emptyset, \quad (1)$$

$$x \in P F, X \Leftrightarrow \pi y, F, X = \{y \in X | F y \geq F x, F y \neq F x\} = \emptyset, \quad (2)$$

$$x \in Sm F, X \Leftrightarrow \eta y, F, X = \{y \in X | y \neq x, F y \geq F x\} = \emptyset, \quad (3)$$

$$Sm F, X \subset P F, X \subset Sl F, X. \quad (4)$$

*Умови оптимальності та стійкості розв'язків задачі  $Z_P F, X$ .* Нехай функції  $f_i(x)$ ,  $i \in N_\ell$ , часткових критеріїв є псевдоугнутими функціями, а  $g_i$ ,  $i \in N_m$ , – псевдоопуклі функції. Введемо до розгляду неперервну векторну задачу, що відповідає задачі  $Z_P F, X$ .

$Z_P(F, G): \max \{F(x) | x \in G\}$ . Позначимо  $\text{Fr } B$  – сукупність усіх граничних точок деякої множини  $B$ ,  $\text{int } B = B \setminus \text{Fr } B$ . Для будь-якого розв'язку  $y \in \text{Fr } G$  визначимо такі множини:  $N(y) = \{i \in N_m | g_i(y) = 0\}$ ,  $H(y) = \{x \in R^n | \langle \nabla g_i(y), x - y \rangle \leq 0, i \in N(y)\}$ ,  $G(y) = \{x \in R^n | g_i(x) \leq 0, i \in N(y)\}$ ,  $K(y) = \{x \in R^n | \langle \nabla f_i(y), x - y \rangle \geq 0, i \in N_\ell\}$ ,  $K_0(y) = \{x \in R^n | \langle \nabla f_i(y), x - y \rangle = 0, i \in N_\ell\}$ , де  $\nabla f_i(y)$  – градієнт функції  $f_i(x)$  у точці  $y$ .

Враховуючи висловлювання (1)–(4), справедливі при  $X = G$ , та очевидні включення  $X \subset G \subset G(y) \subset H(y)$ ,  $\sigma(y, F, G) \subset \text{int } K(y)$ ,  $\sigma(y, F, G) \subset \pi(y, F, G) \subset \eta(y, F, G) \subset K(y)$ ,  $\pi(y, F, G) \subset K(y) \setminus K_0(y)$  приходимо до висновку про справедливість наступної теореми.

*Теорема 1.* Нехай  $y \in \text{Fr}G \cap Z^n$ . Якщо  $g_i(x), i \in N(y)$ ,  $i - f_i(x), i \in N_\ell$ , – псевдоопуклі функції, то умови

$$\text{int } K(y) \cap G(y) = \emptyset, \quad (5)$$

$$(K(y) \setminus K_0(y)) \cap (G(y)) = \emptyset, \quad (6)$$

$$K(y) \cap G(y) = \{0\} \quad (7)$$

є достатніми для належностей  $y \in Sl(F, X)$ ,  $y \in P(F, X)$ ,  $y \in Sm(F, X)$  відповідно. Якщо  $\{\nabla f_i(y) \mid i \in N_\ell\}$  і  $\{\nabla g_i(y) \mid i \in N(y)\}$  – системи лінійно незалежних векторів, то співвідношення (5) є необхідною умовою для  $y \in Sl(F, G)$ .

Нехай  $u = (u_1, u_2)$  – набір вхідних даних задачі  $Z(F, X)$ , який є елементом деякого простору  $U$  вхідних даних задачі. Простір  $U$  можна представити як декартовий добуток  $U = U_1 \times U_2$  простору  $U_1$  вхідних даних для опису векторного критерія  $F$  і простору  $U_2$  вхідних даних для опису допустимої множини  $X$ . Зокрема, якщо векторний критерій представлений квадратичними функціями  $f_i(x) = \langle x, D_i x \rangle + \langle c_i, x \rangle, i \in N_\ell$ , де  $D_i \in R^{n \times n}$ ,  $c_i = (c_{i1}, \dots, c_{in}) \in R^n$ , то покладемо  $u_1 = (D, C) \in U_1 = R^{n \times n \times \ell} \times R^{\ell \times n}$ , де  $D = (D_1, \dots, D_\ell) \in R^{n \times n \times \ell}$ ,  $C = [c_{ij}] \in R^{\ell \times n}$ . Якщо  $\forall i \in N_\ell: g_i(x) = \langle x, Q_i x \rangle + \langle p_i, x \rangle + h_i$ ,  $p_i \in R^n$ ,  $h_i \in R$ ,  $Q_i \in R^{n \times n}$  – симетрична невід'ємно визначена матриця,  $i \in N_m$ , то покладемо  $u_2 = (Q, p, h) \in U_2 = R^{n \times n \times m} \times R^{m \times n} \times R^m$ , де  $Q = (Q_1, \dots, Q_m)$ ,  $p = (p_1, \dots, p_m) \in R^{m \times n}$ ,  $h = (h_1, \dots, h_m) \in R^m$ .

Згідно [3-6] наведемо означення п'яти типів стійкості векторної задачі  $Z_P(F, X)$ , позначивши  $F_{u_1(\delta)}$  і  $X_{u_2(\delta)}$  відповідно векторний критерій і допустиму область задачі при збуреннях вхідних даних  $u(\delta) = (u_1(\delta), u_2(\delta)) \in O_\delta(u)$ .

Задача  $Z_P(F, X)$   $T_1$ -стійка, якщо  $\exists \delta > 0$ , таке, що  $\forall (u_1(\delta), u_2(\delta)) \in O_\delta(u)$  справедливе співвідношення  $P(F, X) \cap P(F_{u_1(\delta)}, X_{u_2(\delta)}) \neq \emptyset$ .

Задача  $Z_P(F, X)$   $T_2$ -стійка, якщо  $\exists \delta > 0$  і  $\exists x \in P(F, X)$ , такі, що  $\forall (u_1(\delta), u_2(\delta)) \in O_\delta(u)$  виконується належність  $x \in P(F_{u_1(\delta)}, X_{u_2(\delta)})$ .

Задача  $Z_P(F, X)$   $T_3$ -стійка, якщо  $\exists \delta > 0$ , таке, що  $\forall (u_1(\delta), u_2(\delta)) \in O_\delta(u)$  виконується включення  $P(F_{u_1(\delta)}, X_{u_2(\delta)}) \subset P(F, X)$ .

Задача  $Z_P(F, X)$   $T_4$ -стійка, якщо  $\exists \delta > 0$ , таке, що  $\forall (u_1(\delta), u_2(\delta)) \in O_\delta(u)$  виконується включення  $P(F, X) \subset P(F_{u_1(\delta)}, X_{u_2(\delta)})$ .

Задача  $Z_P(F, X)$   $T_5$ -стійка, якщо  $\exists \delta > 0$ , таке, що  $\forall (u_1(\delta), u_2(\delta)) \in O_\delta(u)$  справедливе співвідношення  $P(F, X) = P(F_{u_1(\delta)}, X_{u_2(\delta)})$ .

Отримані результати стосуються стійкості щодо збурень всіх вхідних даних задачі, так і щодо збурень вхідних даних, що представляють її векторний критерій або обмеження. Виходячи з теореми 1, приходимо до низки тверджень.

*Твердження 1.* Якщо існує точка  $y \in FrG \cap Z^n$ , для якої виконується умова (7), то задача  $Z_P(F, X)$   $T_2$ -стійка за векторним критерієм.

*Твердження 2.* Якщо існує точка  $y \in FrG \cap Z^n$ , яка задовольняє умові (6) і не є строго ефективним розв'язком задачі  $Z_P(F, X)$ , то ця задача не є  $T_4$ - і  $T_5$ -стійкою.

*Твердження 3.* Якщо існує точка  $y \in FrG \cap Z^n$ , яка задовольняє умові (5) і не є Парето-оптимальним розв'язком задачі  $Z_P(F, X)$ , то ця задача не є  $T_3$ - і  $T_5$ -стійкою.

Встановлено топологічні властивості ряду підмножин простору вхідних даних задачі  $Z(F, X)$ , при яких зберігається оптимальність її розв'язків.

*Теорема 2.* Для будь-якого розв'язку  $x \in Sm(F_{u_1}, X)$  підмножина  $U_{Sm}^1(x) = \{u_1 \in U_1 \mid x \in Sm(F_{u_1}, X)\}$  простору  $U_1$  вхідних даних задачі  $Z_P(F, X)$  є відкритим конусом.

*Теорема 3.* Для будь-якого розв'язку  $x \in Sl(F_{u_1}, X)$  підмножина  $U_{Sl}^1(x) = \{u_1 \in U_1 \mid x \in Sl(F_{u_1}, X)\}$  простору  $U_1$  початкових даних задачі є замкненим конусом.

*Теорема 4.* Для будь-якого розв'язку  $x \in \text{int } X_{u_2}$  множини

$U_{Sm}^2(x) = \{u_2 \in U_2 \mid x \in Sm(F, X_{u_2})\}$ ,  $U_{Sl}^2(x) = \{u_2 \in U_2 \mid x \in Sl(F, X_{u_2})\}$   
 $U_P^2(x) = \{u_2 \in U_2 \mid x \in P(F, X_{u_2})\}$ ,  $U_{Sm}(x) = \{u = (u_1, u_2) \in U \mid x \in Sm(F_{u_1}, X_{u_2})\}$  є відкритими конусами.

## Література

1. Сергиенко И.В., Козерацкая Л.Н., Лебедева Т.Т. Исследование устойчивости и параметрический анализ дискретных оптимизационных задач. – Киев: Наук. думка, 1995. – 170 с.
2. Семенова Н.В. Умови ефективності та стійкості розв'язків у векторних задачах дискретної оптимізації // Теорія оптимальних рішень. – 2015, – С. 160–164.
3. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
4. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергиенко Т.И. Умови оптимальності та розв'язуваності в задачах лінійної векторної оптимізації з опуклою допустимою множиною // Доповіді НАН України. – 2003. – № 10. – С. 80 – 85
5. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергиенко Т.И. Устойчивость векторных задач целочисленной оптимизации: взаимосвязь с устойчивостью множеств оптимальных и неоптимальных решений // Кибернетика и систем. анализ. – 2005. – № 4. – С. 90–100.
6. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергиенко Т.И. Качественные характеристики устойчивости векторных задач дискретной оптимизации с различными принципами оптимальности // Кибернетика и систем. анализ. – 2014, т. 50. – № 2. – С.75–82.



## **СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ВИБОРУ СТІЛЬЦЯ ДЛЯ УЧАСТІ У ПРОВІДНИХ ЗМАГАННЯХ**

Концепції розвитку інформаційних технологій у сучасному світі свідчать про їх активне та всебічне застосування у всіх галузях інформаційного суспільства. Тенденції такого розвитку характеризуються динамічним зростанням засобів та пристроїв, які забезпечують інформативність процесів, що відбуваються або спостерігаються [1, 2]. Сьогодні важко уявити функціонування будь-якого процесу або явища без підтримки інформаційних технологій, а особливо інтелектуальних. Дослідженню інтелектуальних технологій присвячено ряд робіт таких видатних вітчизняних та закордонних вчених як Глушкова В.М., Ротштейна О.П., Тарасова В.О., Герасимова Б.М., Амосова М.М., Поспелова Д.О., Сааті Т.Л., Зайченка Ю.П. та інші [1, 3-6]. Роботи цих вчених можуть складати базис при вивченні будь-якої складної системи. Оскільки на результатах функціонування таких систем необхідно приймати рішення, то розробка інформаційних технологій супроводжується розробкою систем підтримки прийняття рішень. Одною з таких слабкоструктурованих систем є кульова стрільба [3].

В історії створення та практичного використання комп'ютерних ІТ спортивної орієнтації, перш за все, звертає на себе увагу відсутність не тільки аналітичного огляду досягнень в цій галузі, але й самої інформації опису та оцінки можливостей створених технічних і програмних засобів при їх використанні спортивними фахівцями в практичній діяльності. Цих питань в переважній більшості випадків торкаються лише у спеціальній технічній літературі при розгляді окремих практичних питань конкретної спрямованості. Що стосується системного підходу до вирішення цього завдання, то така інформація розкривається тільки при описі систем супроводу престижних спортивних змагань, таких, наприклад, як чемпіонати світу та Олімпійські ігри.

Актуальність розгляду даних питань полягає у наступному: спортивна діяльність значною мірою сприяє органічному розвитку особистості, її організованості і цілеспрямованості; в міру розвитку суспільства соціальна роль спорту і ступінь його впливу на суспільство зростають, розширюються функції, ускладнюється вся система спорту в цілому і кожного з його окремих рівнів, до одного з яких і відноситься функціональна підсистема ефективної підготовки спортсменів високої кваліфікації; швидкий доступ до об'єктивної інформації для спортивних фахівців служить передумовою для вироблення найбільш оптимальних рішень, що забезпечують досягнення спортсменами ще більш високих результатів; впровадження прогресивних технологій в спортивну діяльність супроводжувалося в світі з 70-х років, у той час як в Україні використання їх починає потроху зростати з 2000 року. Тому на сучасному етапі досить актуальна практична діяльність при дослідженні цілеспрямованої системи і, особливо, проблемно-орієнтованих ІТ, що забезпечують підтримку прийняття ефективних рішень в цій сфері суспільства.

При дослідженні системи підтримки прийняття рішень вибору стрільця при відборі до провідних змагань та описанні математичної моделі необхідно враховувати велику кількість вхідних параметрів. Складність при описанні моделі полягає у наявності крім кількісних характеристик ще якісних або таких, які складно формалізувати. Для вирішення цієї проблеми необхідно скористатись теорією нечітких множин. Застосування такого апарату дозволяє формально описувати математичну модель та отримувати результати близькі до фактичних.

При виборі спортсмена для участі у змаганнях найвищого рівня враховується багато критеріїв, серед яких можна виділити декілька основних [3]:

$C_1$  – досягнутий спортсменом середньостатистичний результат за аналізований проміжок часу;

$C_2$  – показник перспективності спортсмена, що характеризується максимальним результатом, показаним на останніх змаганнях високого рангу;

$C_3$  – оцінка потенційних можливостей стрільця;

$C_4$  – техніко-тактична підготовленість спортсмена.

Кожен з цих критеріїв має свої властивості та агрегується з врахуванням кількісних та якісних показників. Якщо деякі критерії можна одразу визначати, то визначенню інших присвячуються окремі дослідження. Наприклад, для знаходження техніко-тактичної підготовленості спортсмену потрібно врахувати:

- коефіцієнт центральності розташування пробойн;
- величина F площі багатокутника, утвореного сукупністю пробойн
- точність прицілювання, мм;
- швидкість руху точки прицілювання, мм/сек;
- час прицілювання в циклі пострілу, сек;
- стійкість точки прицілювання в габариті 10.0, %;
- коефіцієнт ступеня координації мікро рухів стрільця;
- латентний час зорово-рухової реакції, мс;
- коефіцієнт еліпсності траєкторії прицілювання;
- результат позначки пострілу, очок та інші.

Тоді з врахуванням всіх показників математичну модель можна представити:

$$d = f_d(y, z, \alpha, \beta, \gamma, \dots),$$

де  $y = f_y(x_1, x_2, \dots, x_k)$ ,  $z = f_z(x_{k+1}, \dots, x_l)$ ,  $\alpha = f_\alpha(x_{l+1}, \dots, x_m)$ ,  $\beta = f_\beta(x_{m+1}, \dots, x_p)$ ,

$\gamma = f_\gamma(x_{p+1}, \dots, x_n)$  - залежності, що характеризуються вхідними параметрами.

Для досліджуваної моделі використовуватиметься понад 100 вхідних кількісних та лінгвістичних змінних.

При відборі українських стрільців для участі у провідних змаганнях використовується система підтримки прийняття рішень Субіспарт, що була розроблена Богіно В.І., Петровою О.Г. та Левчуком О.М. Впровадження цієї системи підтверджено відповідними актами.

#### Література

1. Rotshtein, A., Katel'nikov, D. Fuzzy Algorithmic Simulation of Reliability: Control and Correction Resource Optimization. Journal of Computer and System Sciences International, 2010, 49(6), 967-971.
2. Левчук О.М. Прогнозування очікуваних результатів на основі інтелектуальної технології ідентифікації / О.М.Левчук // Науково-технічна інформація. – 2010 – №1(43). – С.72-77.
3. Гриценко В.И. Корпоративная система поддержки принятия решений в спорте высших достижений: [препринт] / В.И.Гриненко, В.И.Богіно, А.Н.Левчук, Е.Г.Петрова ; НАН Украины, Междунар. науч.-учеб. центр информ. технологий и систем. - К.: 2008. - 31 с.
4. Shtovba S.D. Ensuring Accuracy and Transparency of Mamdani Fuzzy Model in Learning by Experimental Data / S. D.Shtovba // Journal of Automation and Information Sciences. – 2007. – Т. 39 № 8. – Р. 39-52.
5. Rotshtein, A.P. Cause and effect analysis by fuzzy relational equations and a genetic algorithm / A.P.Rotshtein, M.Posner, H.B.Rakutyanska // J. Reliability Engineering & System Safety. 2006, 91 (9), 1095–1101
6. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети // Винница: Універсум – 1999 – 320 с.
7. Левчук О.М. Проблемно-орієнтована інформаційна технологія визначення стану електронного пристрою по вихідних імпульсних і аналогових сигналах / О.М.Левчук // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2015. – № 46 (1155). – С. 84-89.

## МОДЕЛЮВАННЯ ГЕННОЇ РЕГУЛЯТОРНОЇ МЕРЕЖІ З ГІБРИДНОГО АЛГОРИТМУ КЛОНАЛЬНОГО ВІДБОРУ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ

Генна регуляторна мережа являє собою множину опосередковано взаємопов'язаних між собою модульних елементів ДНК (генів), які приймають множинні вхідні сигнали у вигляді РНК і білків, обробляють ці сигнали і обумовлюють темп, при якому гени мережі транскрибуються в РНК і транслуються в білки.

Генні регуляторні мережі з іншого боку можна розглядати як підхід, заснованим на мережевому уявленні взаємодії між генами. ДНК-мікрочіпи є найбільш широко використовуваної технологією для вилучення одночасних відносин між тисячами генів.

Експресія визначеного гена залежить від біологічних умов і інших генів. Хоч існує цілий ряд спроб вже проведених різними досліджень, отримані рішення все ще не є задовільними.

Тому існує необхідність подальших досліджень з цієї теми для досягнення задовільних рішень з поліпшеними характеристиками. У пропонованому методі використана S-система, яка є широко визнаним моделлю для реконструкції генних регуляторних мереж. Оскільки проблема має кілька рішень, концептуально задача полягає в знаходженні найбільш оптимального рішення. Для вирішення даного завдання був використаний гібридний алгоритм клонального відбору і програмування експресії генів.

Одним з варіантів математичного опису генетичної мережі є S - система [1], що представляє собою систему диференціальних рівнянь виду :

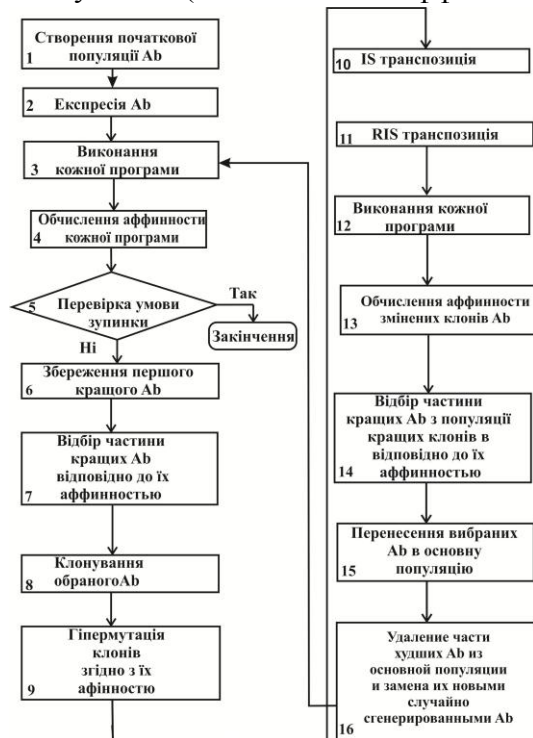
$$\frac{dX_i}{dt} = \alpha_i \prod_{j=1}^n X_j^{g_{ij}} - \beta_i \prod_{j=1}^n X_j^{h_{ij}} \quad (1)$$

де  $n$  – кількість станів змінних, що характеризують досліджуваний об'єкт або кількість реагентів ( $X_i$ ), не негативні параметри  $\alpha_i, \beta_i$  – постійні швидкості зміни параметрів вузлів мережі в процесі її налаштування,  $g_{ij}$  і  $h_{ij}$  – дійсні значення, що відображають динаміку розвитку відповідного вузла мережі, індекси  $i, j$  задовольняють умові  $1 < i, j < n$ . Параметри  $g_{ij}$  і  $h_{ij}$  являють собою інтерактивні ефективності вузла  $X_j$  для відповідного вузла  $X_i$ . Значення  $g_{ij}$  і  $h_{ij}$  відображають динаміку розвитку відповідного вузла і представляються у вигляді динамічної послідовності дійсних чисел. Перший терм в рівнянні (1) визначає впливу, що призводить до збільшення стану вузла  $X_i$ . Другий терм являє собою впливу, що зменшують стан даного вузла.

У даній роботі для розв'язання задачі реконструкції генної мережі, авторами запропоновано комбінований алгоритм клонального відбору спільно з окремими операторами алгоритму експресії генів [2]. Блок-діаграма розробленого гібридного алгоритму клонального відбору представлена на Рис. 1. Формально клональний алгоритм можна представити в такий спосіб:

$$CLONALG = (Ab^0, Ag, L, N, n, \beta, d, \epsilon) \quad (2)$$

де  $Ab^0$  – початкова популяція антитіл;  $Ag$  – популяція антигенів;  $N$  – кількість антитіл в популяції;  $L$  – довжина рецептора антитіла;  $n$  – кількість антитіл, що відбираються для клонування (з найвищою афінністю);  $\beta$  – розмножувальний фактор, який регулює



кількість клонів відібраних антитіл;  $d$  – кількість антитіл, які підлягають заміні новими (тобто мають найнижчу афінність);  $\varepsilon$  – критерій зупинки.

Рис. 1. Блок - діаграма гібридного алгоритму клонального відбору і програмування експресії генів

У запропонованому методі є дві основні складові: антитіла і деревоподібна подання цього закодованого антитіла. Процес декодування антитіла в їх деревовидні уявлення (експресії) називається трансляцією. Даний вид діаграмного уявлення насправді є фенотип антитіла (хромосоми). Даний вид фенотипу легко уявити у вигляді генотипу:

$$\sin \sqrt{-*/abcd} \\ 012345678$$

Даний вираз читається зліва направо. Антитіла при даному виді кодування складаються з голови і хвоста. Голова містить символи, які представляють і символи які можуть бути

представлені як функціями так і терміналами. Для кожної задачі вибирається довжина голови  $h$ , в той час як довжина хвоста  $t$  - це функція  $h$  і ряд аргументів функції з великим числом аргументів  $n$  (які називаються ще максимальною кількістю аргументів або числом аргументів) яка обчислюється за формулою:

$$t = h(n-1) + 1 \quad (3)$$

Функція придатності. В якості функції придатності використані параметри S-системи, які розраховувалися в такий спосіб. нехай  $X_{i,cal;t}$  – рівень експресії гена  $X_{i-20}$  гена в момент часу  $t$  розраховується чисельно за допомогою рішення системи диференціальних рівнянь (1) для передбачуваного безлічі параметрів а  $X_{i,exp;t}$  становить експериментально спостережуваний рівень експресії гена  $X_i$  в момент часу  $t$ . Сума відносної квадратичної похибки  $X_{i,cal;t}$  и  $X_{i,exp;t}$  беруться як відносна стандартна похибка  $f$  для оцінки придатності [3]

$$f = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left\{ \left( \frac{X_{i,cal,t} - X_{i,exp,t}}{X_{i,exp,t}} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

Висновок. У даній роботі нами запропонована методика застосування алгоритму клонального відбору для реконструкції оптимальної генної мережі. Підхід апробований на реальних даних: SOS E Coli - даних генної експресії ДНК. Проведені обчислювальні експерименти показали, що запропонований алгоритм має більш швидку збіжність і дає кращі результати, ніж існуючі еволюційні алгоритми.

1. Savageau M.A. Biochemical systems analysis: A study of function and design in molecular biology. Addison-Wesley, 1976.
2. Ferreira C. Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence (Studies in Computational Intelligence). Inc., New York, Springer-Verlag, 2006.
3. Tominaga D., Koga N., Okamoto M. Efficient numerical optimization algorithm based on genetic algorithm for inverse problem, Proc. Genetic and Evolutionary Computation Conference, 251–258, 2000.

Лізунов П.П.<sup>1</sup>, Білощицький А.О.<sup>2</sup>, Чала Л.Е.<sup>3</sup>, Кучанський О.Ю.<sup>4</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури<sup>1,4</sup>

Київський національний університет ім. Т. Шевченка<sup>2</sup>

Харківський національний університет радіоелектроніки<sup>3</sup>

*lizunov@knuba.edu.ua*

## ЗНАХОДЖЕННЯ НЕПОВНИХ ДУБЛІКАТІВ МАТЕМАТИЧНИХ ФОРМУЛ

Майже всі наукові тексти, зокрема дисертаційні роботи та наукові статті, містять математичні формули. Складність аналізу і розпізнавання математичних формул полягає в тому, що для знаходження неповних дублікатів необхідно аналізувати не просто графічне зображення, проводячи фільтрацію, виділення контурів і застосовуючи специфічні методи порівняння, а й текстову інтерпретацію формули, щоб мати змогу ідентифікувати неповні дублікати, за умови, що в формулі було змінено позначення літер, символи математичних операцій, форми дужок тощо. Тому для знаходження неповних дублікатів математичних формул пропонуються гібридні методи.

Якщо формули збережені як об'єкт MathType, то доцільно застосовувати порівняння за шаблоном. Таким чином, з'явиться можливість спочатку порівнювати шаблони, а потім – іменування змінних. До прикладу, потрібно порівняти формули:

$$W_1 \xleftarrow{F(w_1, L_1)} L_1 \xleftarrow{F(w_2, L_1)} W_2 \quad \text{та} \quad Q_1 \xleftarrow{F(q_1, P_1)} P_1 \xleftarrow{F(q_2, P_1)} Q_2$$

Відповідний шаблон для їх порівняння наведено на рис. 1.

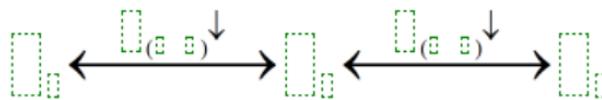


Рис. 1. Шаблон для порівняння формул

Треба мати на увазі, що деякі математичні та фізичні величини мають стійкі загальновживані позначення, тому варто зважати на контекст, у якому згадується формула. Зазвичай, пояснення до формул надаються у абзацах до або після формули. Тому для різних галузей необхідно створити словники з означенням величин та їх позначень. Наприклад, сила струму позначається, як  $I$ , ймовірність –  $P$  тощо.

Перспективним напрямком автоматизованого аналізу математичних формул є створення конверторів з різних форматів (TeX, Equation, MathType) до канонічного формату XML/MathML. Такі конвертори мають формуватися у вигляді online сервісів, що є доступними як для користувачів, так і для систем, де використовуються математичні формули.

Наявність різних стандартів представлення математичних та природничо-наукових текстів додає суттєві складності до вирішення проблеми порівняння математичних формул в документах. Використання декількох стандартів в дисертаційних роботах, періодичних виданнях, матеріалах конференцій, наукових монографіях призводить до того, що інформаційне середовище заповнюється документами, які представлені у важко сумісних форматах. Це викликає погіршення цілісності інформаційного середовища та виникнення проблем з використанням текстів у різних представленнях. Перспективним підходом до роботи з природничо-науковими текстами є розробка та застосування спеціальних діалектів (словників) XML. Умовним стандартом побудови математичних формул у Web-середовищі з 1998 року вважається мова математичних символів MathML, що базується на XML.

Цільова аудиторія – спеціалісти з інтелектуального аналізу тексту (Text and Data Mining) та розпізнавання образів.

## **РОЗРОБКА ПЕРЕТВОРЕНЬ З ВЛАСТИВОСТЯМИ ФІЛЬТРАЦІЇ**

Як відомо, ортогональні перетворення широко застосовуються для стиску даних з втратами, оскільки перехід в спектральну область надає можливість збільшити інформаційну насиченість даних – кожен коефіцієнт перетворень несе в собі інформацію про декілька відліків початкових даних (в залежності від розмірності перетворення).

Відповідно, коли залишають найбільш вагомні коефіцієнти перетворень, відкидаючи менш значущі, спостерігаються наступні зміни: по-перше, виникає певне спотворення початкових даних (тим більше, чим менше коефіцієнтів перетворення залишають); по-друге, попутно зникає різноманітний шум, властивий початковим даним, оскільки шум має значну хаотичну складову, а коефіцієнти перетворень акумулюють в собі найбільш характерні упорядковані властивості первинних даних.

Таким чином, будь-які ортогональні перетворення мають певні властивості фільтрації початкових даних від хаотичних шумів. Відповідно, представляє певну цікавість прикладна задача посилити властивості фільтрації ортогональних перетворень, оскільки це дозволить при незначних початкових шумах в даних відмовитись від застосування спеціальних фільтрів, які потребують додаткових обчислювальних ресурсів.

Розв'язання цієї задачі логічно впливає з аналізу структури ортогональних перетворень. Наприклад, дискретне косинусне перетворення розмірності 8 складається з 8 базисних функцій, кожна косинусна функція апроксимується 8 значеннями. Аналогічно, цілочисельне косинусне перетворення розмірності 16 представляє собою матрицю 16x16, елементи якої є цілочисельною апроксимацією 16 базисних косинусних функцій, з 16 значеннями кожна. Це загальновідомі дані, але їх достатньо, щоб висловити наступну гіпотезу: змінюючи ваговий коефіцієнт кожної функції, можна підсилювати чи послаблювати відповідні характеристики початкових даних, з якими корелюють базисні функції. З іншого боку, такі варіації будуть вносити відповідні похибки (назвемо такі похибки додатними), і виникають наступні задачі:

1. оцінки додатних похибок;
2. порівняння додатних похибок з неусувними похибками квантування й відсічення коефіцієнтів;
3. візуальна оцінка відновлених даних з використанням додатних похибок та без.

Відповідно, для перевірки гіпотези були проведені експериментальні тестування на реальних зображеннях з використанням відомих ортогональних перетворень та їх модифікацій з додатковими похибками.

Результати тестувань, як за загальноприйнятими характеристиками оцінки точності відновлення (PSNR та mse), так і візуальна оцінка порівняння відновлених зображень, надають підстави вважати висловлену гіпотезу вірною, а застосування ортогональних перетворень з посиленними функціями фільтрації – доцільними.

Оскільки для тестування були взяті найбільш прості варіації додатних похибок, доцільним є проведення подальших досліджень, з метою оцінки різноманітних варіацій базисних функцій та можливостей їх застосування для фільтрації первинних даних та інших можливих областей застосування (виділення ключової інформації для задач розпізнавання структур та об'єктів, наприклад).

### **Література**

1. Луц В.К. Просте цілочисельне косинусне перетворення порядку 16 для кодування сигналів і зображень. Науково-теоретичний журнал «Штучний інтелект» 2014 р., № 4, ст. 31-43.
2. A. Fuldseth, G. Bjøntegaard (Cisco Systems), M. Budagavi, V. Sze (Texas Instruments). CE10: Core transform design for HEVC // Doc. JCTVC-G495, Geneva, CH, November, 2011.

## ВИКОРИСТАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОЛУМ'Я У ВІДЕОПОТОЦІ

Протягом останніх років в усьому світі спостерігається тенденція до використання різноманітних інтелектуальних систем. Так, в галузі відеоспостереження уже відомі системи розпізнавання автомобільних номерів, виявлення людей та детектування облич, які демонструють високі показники ефективності роботи. Актуальною задачею є реалізація інтелектуальної системи розпізнавання полум'я у відеопотоці. Проте, незважаючи на існуючі напрацювання [1], можемо стверджувати, що на сьогоднішній день якісного та універсального підходу для вирішення даної проблеми не існує. Одним із можливих способів покращення ефективності роботи детектора полум'я у відеопотоці є використання сучасних нейронних мереж, які протягом останніх років демонструють одні з кращих результатів при використанні в системах комп'ютерного зору.

Проведений аналітичний аналіз у роботі [1] дозволив стверджувати, що переважна більшість методів, використовуваних для детектування полум'я, є шаблонними, тобто використовуються якісь загальні ознаки шуканого об'єкту (в даному випадку – колір, рух, перепади яскравості тощо). Такий підхід дозволяє досягти високої якості розпізнавання за ідеальних умов відеозйомки. Проте, незважаючи на зазначену ефективність роботи таких систем, існує проблема так званої візуальної схожості об'єктів та використання камер з низькою роздільною здатністю. Так, в результаті використання цих методів, такі об'єкти як світло від фар машини, гірлянди, яскравий одяг нерідко помилково розпізнається як полум'я.

Вирішенням цієї проблеми може стати використання згорткових нейронних мереж, які являють собою тип штучної нейронної мережі прямого поширення, окремі нейрони якої впорядковано таким чином, що вони реагують на області, які покривають зорове поле частково перекриваючись [2]. Незважаючи на їх широке використання в галузях детектування об'єктів на зображеннях та відео, вони мають декілька недоліків: складність навчання мережі та низька продуктивність. Вирішення другої проблеми можливо за допомогою підходу запропонованого у [3], що передбачає використання локальних або глобальних слоїв субдескриптізації (subsampling, pooling слої), які комбінують декілька кластерів нейронів. За умов правильного підбору параметрів таких слоїв можна в значній мірі підвищити продуктивність мережі, не зменшуючи при цьому показник ефективності її роботи.

Для вирішення задачі розпізнавання полум'я були спроектовані декілька згорткових мереж з різними параметрами за допомогою використання фреймворка Caffe. Структура мережі була побудована у відповідності з типовою структурою згорткової нейронної мережі (рис. 1).

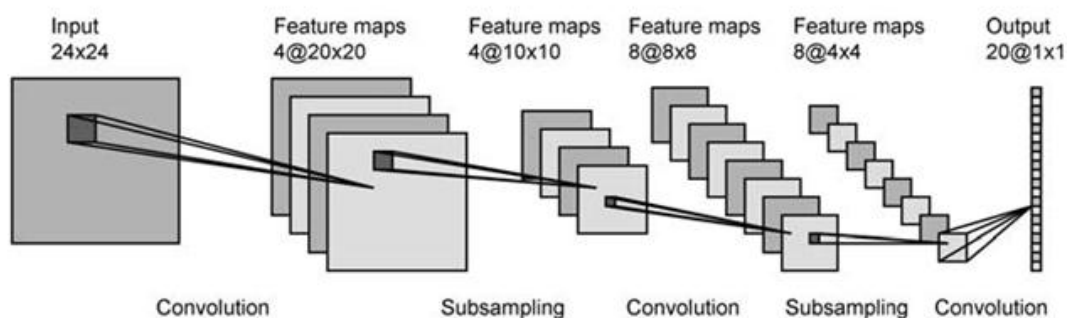


Рис. 1. Типова структура згорткової нейронної мережі [4]

Для навчання мережі був використаний метод зворотного розповсюдження помилки, який являє собою метод градієнтної мінімізації функції помилки мережі в просторі, утвореному параметрами нейронів мережі. Це дозволило проводити навчання мережі у вигляді ітеративного процесу багаторазового обчислення поправок до параметрів нейронів, що складають мережу та перерахунку параметрів нейронів використовуючи знайдені поправки.

Для порівняння ефективності роботи запропонованого підходу було обрано ряд шаблонних методів: 1) колірна сегментація; 2) гістограма направлених градієнтів (HOG); 3) локальні бінарні шаблони (LBP). Тестова вибірка на якій проводилось дослідження складала 250 зображень на яких міститься полум'я та 500 зображень на яких воно відсутнє.

Ефективність роботи досліджуваних методів

Таблиця 1.

	Колірна сегментація	Гістограма направлених градієнтів	Локальні бінарні шаблони	Згорткова нейронна мережа
Помилка на тестовій вибірці	0.042531	0.03344	0.08236	0.00433
Точність на тестовій вибірці	73 %	79 %	67 %	83 %

Отже, в результаті проведеного дослідження було відзначено позитивні та негативні сторони використання згорткових нейронних мереж для вирішення задачі детектування полум'я на зображенні в порівнянні з традиційними методами. Показники ефективності роботи, які були отримані внаслідок проведення експериментальних досліджень, дозволяють стверджувати, що використання мереж даного типу дозволяє покращити показник ефективності розпізнавання вогню. Проте, часові затрати згорткових мереж дещо перевищують час роботи традиційних методів, що зумовлює подальші дослідження направлені на оптимізацію їх роботи.

### Література

1. Максимів О. П. Аналітичний огляд методів детектування вогню за допомогою засобів комп'ютерного зору / О. П. Максимів, Т. Є. Рак, Д. Д. Пелешко. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – №27.
2. Convolutional Neural Networks (LeNet) – DeepLearning 0.1 documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://deeplearning.net/tutorial/lenet.html>.
3. Зейлер М.Д., Фєргус Р. Stochastic Pooling for Regularization of Deep Convolutional Neural Networks – 2013.
4. Face Recognition (Video Processing) (Video Search Engines) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://what-when-how.com/video-search-engines/face-recognition-video-processing-video-search-engines/>.



## **ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ ТЕРМОПРУЖНОСТІ ТОНКОСТІННИХ ТІЛ, ПОДАТЛИВИХ ДО ЗСУВІВ ТА СТИСНЕННЯ**

Аналіз термопружних процесів в тонкостінних будівельних конструкціях, у складових приладів радіо- та мікроелектроніки є одним із важливих напрямків математичного моделювання для різноманітних застосувань в таких галузях, як медицина, машинобудування, безпека життєдіяльності тощо.

Відтворення поведінки тонкостінних тіл, які працюють в умовах силових, температурних та електромагнітних навантажень залишається актуальним завданням. Побудова адекватних математичних моделей, здатних враховувати обтиски та зсуви нормального елемента тонкостінного тіла, поряд із застосуванням методів обчислювальної математики та комп'ютерного моделювання вимагає доповнення класичних моделей, скажімо, теорії оболонок, та розробки належного програмного забезпечення.

На основі тривимірних рівнянь термопружності гнучких тіл із врахуванням геометрично нелінійної теорії пружності та за допущення про відсутність взаємовпливу деформацій та градієнта температури сформульовано початково-крайову задачу. Шляхом часткової дискретизації варіаційних задач теплопровідності та термопружності тонкостінних гнучких тіл, здатних відтворювати ефекти зсуву та стиснення. Задачі формуються в термінах усереднених характеристик температури, вектора зміщень і повного вектора поворотів нормалей його серединної поверхні. Встановлено умови коректності побудованих частково дискретизованих варіаційних задач шляхом доведення існування, єдності та неперервної залежності розв'язку від даних задачі.

Побудовано чисельні схеми сформульованих варіаційних задач з використання МСЕ для дискретизації задач за просторовими змінними та однокрокових рекурентних схем інтегрування в часі. Встановлено достатні умови стійкості та оцінки швидкості збіжності побудованих чисельних схем.

Здійснено програмну реалізацію побудованого алгоритму для розрахунку гнучких оболонкових конструкцій та тестування запропонованої моделі, чисельних схем та програмного забезпечення шляхом розв'язування модельних задач та аналізу збіжності отриманих розв'язків.

### **Література**

1. Малець Р.Б. Побудова та аналіз однокрокової схеми інтегрування в часі задачі термопружності оболонок, податливих до зсувів та стиснення / Р.Б. Малець, Г.А. Шинкаренко // Прикладная радиоэлектроника. – 2015. – Т. 14, № 2, С. 176-184.
2. Malets R. Modeling Thermo-Elastic Thin Shells, Compliant to Shear and Compression / R. Malets, H. Shynkarenko // The XIIIth International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Polyana Svalyava (Zakarpattya) UKRAINE 24 - 27 February 2015.– pp. 445-447.

## **ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ СППР «NEWSCAPE»**

Информационно аналитическая система (ИАС) «NEWSCAPE» ориентирована на использование как в автономном режиме, так и в качестве интеллектуальной компоненты системы поддержки принятия решений (СППР) в трудноформализуемых и конфликтных ситуациях. Разработанная система, развитие которой продолжается, обеспечивает процесс выработки эффективных решений различного уровня: от задач оперативного функционирования ситуационного центра до проблем стратегического планирования. ИАС также может быть эффективно использована и в современной информационной войне – как для контроля и планирования действий «своих», так и для выявления действий «чужих».

Реализованные программно-алгоритмические средства ИАС позволяют:

- обеспечить непрерывный автоматизированный мониторинг медиапространства, включающего в себя около тысячи наиболее рейтинговых сайтов, основные государственные и региональные интернет-источники, ведущие печатные СМИ и телевизионные каналы (видеомониторинг);
- аккумулировать разнообразные разрозненные базы данных в единую информационную систему;
- накапливать в структурированном виде результаты мониторинга для последующего анализа;
- использовать современные методы количественного и качественного анализа информации;
- обеспечить эффективную коллективную работу операторов и аналитиков разного уровня.

Процесс анализа медиапространства с использованием рассматриваемой ИАС основан на анализе категорий, которые формируются пользователями и характеризуют исследуемые структурные единицы – объекты, персоны, процессы, события и т.п.

Архитектура и функциональное наполнение ИАС создавалось с целью достижения таких целей, как обеспечение возможности:

- оперативно получать необходимую и достоверную информацию;
- отслеживать основные тенденции медиапространства;
- проводить многофакторный анализ объектов, персон, событий, тенденций, трендов;
- совершенствовать управление масштабными системами и подсистемами;
- моделировать и исследовать сложные процессы;
- прогнозировать возможные сценарии развития процессов.

Предлагаемая технология создания ИАС базируется на основе использования современных веб-приложений, что обеспечивает оперативность и доступность ИАС в любых точках, имеющих подключение к интернету, с возможностью использования терминальных устройств различного типа – компьютеры, планшеты, смартфоны.

ИАС «NEWSCAPE» может быть эффективно использована в органах государственной власти (Верховная Рада и ее комитеты, Администрация Президента, Кабинет Министров Украины), в крупных компаниях, организациях, учреждениях, политических партиях, как система анализа и поддержки принятия решений на основе экономической и социально-политической информации. Системы подобного класса востребованы в различных медиа-холдингах, крупных корпорациях и объединениях, активно продвигающих свои товары или услуги, что находит свое отражение в информационном пространстве.

Созданная ИАС базируется на современных научно-технических разработках сотрудников Института кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины в сфере математического моделирования и ИТ, развитых и реализованных усилиями объединенного коллектива высококвалифицированных специалистов, и представляет собой современный

программно-аппаратный комплекс, реализующий основные функции мониторинга и многофакторного анализа медиапространства. Часть идей, методов и алгоритмов, используемых в ИАС, являются оригинальными авторскими разработками для описываемой системы [1].

На основе разработанных оригинальных математических методов и алгоритмов анализа пользователям доступен развитый инструментарий для анализа информации, обеспечивающий:

- анализ характеристик объектов в информационном пространстве, в частности, таких, как количество упоминаний, индекс цитирования, индекс медиаактивности, индекс информационной активности, рейтинг информационной динамики, региональное распределение, распределение по СМИ, оценка уровня агрессивности текстов, выявление манипуляторных признаков в тексте;
- контент-анализ – количественный, частотный, разностный, а также анализ соседних слов и частей речи в предложениях;
- категорийный анализ, объектами которого могут выступать политики, политологи, политические партии, области Украины, страны мира, столицы государств, международные организации, промышленность, продукты питания и др.;
- морфологический анализ, оперирующий со существительными, местоимениями, прилагательными и наречиями, глагольными формами, не словарными объектами, другими частями речи;
- анализ количественных характеристик текстов – предложений, слов, существительных, уникальных существительных, лемм, словоформ с возможностью расчета ряда важнейших статистических показателей.

В настоящее время накоплен огромный объем информации, а также разрабатывается и реализуется ряд специализированных программных инструментов для работы с ней. В то же время важно отметить, что на сегодняшний день в Украине отсутствуют прикладные системы, охватывающие такой широкий круг проблем анализа медиапространства и имеющие такой развитый программно-алгоритмический инструментарий, как в ИАС «NEWSCAPE».

Начиная с 2010 г., в системе накоплено более 24 млн. информационных блоков, более 100 тыс. статей печатных СМИ и тысячи новостийных видеосюжетов. Также в системе доступна структурированная по областям и районам Украины экономическая, социальная и политическая информация. Используются в системе и агрегированные данные по юридическим объектам, предприятиям и физическим персонам [2].

В дальнейшем планируется развитие системы в следующих направлениях: агрегирование все большего количества данных из разнотипных источников информации (мнения экспертов, телевидение, радио, социальные сети, реклама), стандартизация и подключение дополнительных баз данных и знаний, совершенствование существующего и разработка нового математического аппарата, аналитического инструментария и информационных технологий анализа больших данных. Это позволит использовать сложные математические модели и методы для повышения степени адекватности формируемых оценок и прогнозов, а также для формирования оперативных и качественных аналитических отчетов для лиц, принимающих ответственные решения.

#### **Литература**

1. Гуляницкий Л.Ф., Сергиенко И.В., Малышко С.А. О программных средствах поддержки принятия решений в задачах группового выбора //Управляющие машины и системы. – 1993. – №5. – С. 90-97.
2. Малышко С.А. Мониторинг и анализ медиапространства – информационно-аналитическая система NEWSCAPE //Управляющие машины и системы. – 2015. – №2. – С. 88-93.

## **ПІДХІД ЩОДО ОЦІНКИ ВАЖКОСТІ СТАНУ ХВОРИХ З ГОСТРИМ ПАНКРЕАТИТОМ**

На сьогоднішній день актуальною є проблема визначення важкості стану хворих з гострою хірургічною патологією. Гострий панкреатит є однією з найбільш важливих проблем екстреної хірургії. Займає третє місце серед захворювань, які складають гостру хірургічну патологію органів черевної порожнини та спостерігається від 9% до 12,5 % пацієнтів хірургічних стаціонарів. Вражає пацієнтів переважно активного працездатного віку.

Летальність при гострому панкреатиті залишається високою (3,6–32,5%) та складає 87,6% при розвитку ускладнень, а саме при панкреонекрозі, особливо в ранні терміни перебігу захворювання.

Питання хірургічної тактики, термінів та об'єму оперативного втручання, залишаються на сьогоднішній день не вирішеними. Це є причиною високої післяопераційної летальності, яка складає 60-85%. Подальше вдосконалення лікувальної тактики при гострому панкреатиті тісно залежить від ранньої та коректної діагностики важкості стану пацієнта. У вирішенні цього питання може сприяти визначення найкращої моделі оцінки важкості стану хворого з гострим панкреатитом із застосування загальновідомих прогностичних шкал.

В даний час існує багато оцінюючих шкал і номограм, які використовують в медицині. В той же час, вони часто конкурують між собою. Сфера застосування постійно розширюється і на сучасному етапі охоплює проблему постановки діагнозу, прогнозу, лікування та спостереження при багатьох захворюваннях і пошкодженнях.

Шкальна система ґрунтується на числовій оцінці клінічних, фізіологічних, лабораторних і біохімічних параметрів. Наявність клінічних симптомів або відхилення фізіологічного або біохімічного параметра від норми визначається числом, і значення, які виявляють в конкретного пацієнта, підсумовуються в загальну шкалу. Отримане число дає роз'яснення щодо точності діагнозу або певного ступеня тяжкості перебігу хвороби. Такий підхід часто є основою для індивідуалізації хірургічної тактики.

На сьогоднішній день запропоновано велику кількість систем оцінки тяжкості стану хворих (APACHE I, II і III, SAPS, SOFA і ін.). Їх можна класифікувати на кілька видів:

- 1) універсальні (підходять для оцінки великої кількості різних патологічних станів);
- 2) спеціалізовані (розроблені для конкретної однієї патології);
- 3) застосовуються для первинної доопераційної оцінки хворого;
- 4) застосовуються щодня в післяопераційному періоді для оцінки динаміки стану хворого.

Безсумнівно, вибір однієї або декількох систем часто ґрунтується на суб'єктивному підході та досвіді лікаря. Однак у випадку розвитку гострого панкреатиту, доцільним було б використання двох найбільш поширених універсальних прогностичних шкал – APACHE та SAPS та спеціалізованої шкали Ranson. Кожна з систем має свої недоліки та переваги.

Оцінка за системою APACHE складається з трьох частин:

1. Екстрена оцінка фізіологічних функцій, яка здійснюється з допомогою 12 показників, отриманих в перші 24 години перебування хворого у стаціонарі. Для кожного фізіологічного параметру використовується найбільш аномальний показник протягом 24 годин перед операцією або проведеної оцінкою. У тих випадках, коли який-небудь параметр не вимірювався протягом 24 годин, то використовується останній доступний вимір цього параметра. Якщо якась ознака не вимірюється взагалі, він передбачається нормальним і оцінюється в 0 балів. Найбільше відхилення від норми кожного показника, виражене в балах і підсумовується для отримання загальної оцінки важкості стану пацієнта. Єдиним суб'єктивним показником цієї системи є шкала Глазго (оцінка неврологічних функцій).

2. Значення віку оцінюють за 6-бальною шкалою.

3. Значення супутніх захворювань оцінюють за 5 додатковими критеріями залежно від ураження основних систем організму.

Показник APACHE = (загальний гострий фізіологічний показник) [A] + (бали віку) [B] + (бали хронічних захворювань) [C]:

$$APACHE = [A] + [B] + [C].$$

SAPS (Simplified Acute Physiology Score) була запропонована в 1984 р. J. - R. Le Gall з співавторами і складається з 17 критеріїв: 12 легко вимірюваних клініко-лабораторних параметрів, що упорядковуються від 0 до 4 балів, віку, типу поступлення в стаціонар (планове хірургічне, екстрене хірургічне, терапевтичне), трьох попередніх хронічних захворювань з якими пацієнт звертався в лікувальний заклад (СНІД, метастатичний рак, злоякісне захворювання крові). Оцінка проводиться при поступленні та протягом перших 24 годин перебування в стаціонарі.

Недоліком універсальних систем визначення важкості стану є відсутність можливості оцінки специфічних показників при певні патології, зокрема, при гострому панкреатиті.

Перша спеціалізована система для оцінки ступеня важкості гострого панкреатиту і його ускладнень, була запропонована J. Ranson та співавторами в 1974 році. Вона передбачала 11 клінічних і аналітичних об'єктивних критеріїв, визначених при поступленні та через 48 годин від початку захворювання. Кожен критерій оцінюється в 1 бал, якщо його значення відповідає приведеному у розробленій таблиці. Недоліком даної шкали є неможливість оцінити стан хворого протягом перших 48 годин після поступлення.

Тому пропонується динамічний підхід у використанні оцінок по універсальних шкалах APACHE та SAPS з використанням показників спеціалізованої шкали Ranson, у хворих з гострим панкреатитом, що дозволить об'єктивно оцінити ефективність інтенсивної терапії і своєчасно вносити зміни в алгоритм лікування, удосконалив можливість визначення доцільності проведення оперативного втручання та його об'ємів.

### Література

1. Вашетко Р.В. Острый панкреатит и травмы поджелудочной железы /Вашетко Р.В., Толстой А.Д., Курыгин А.А. и др. – СПб.: Питер, 2000. – 309 с.
2. Картавенко В.И. Современные подходы к классификации сочетанных повреждений и определению тяжести состояния пострадавших /Картавенко В.И., Бармина А.А. – М., 1997. – 21 с.
3. Le Gall J.R. A new Simplified Acute Physiology Score (SAPS II) based on a European/North American multicenter study /Le Gall J.R., Lemeshow S., Saulnier F. // JAMA. – 1993. – P.2957-2963.
4. Marshall J.C. Multiple organ dysfunction score: a reliable descriptor of a complex clinical outcome /Marshall J.C., Cook D.J., Christou N.V., Bernard G.R., Sprung C.L., Sibbald W.J. // Crit. Care Med. – 1995. – V.23. – P.1638-1652.

## КРАЙОВА ЗАДАЧА ГУРСА-ДАРБУ ДЛЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ВИЩОГО ПОРЯДКУ В ОБЛАСТІ ЗІ СКЛАДНОЮ СТРУКТУРОЮ КРАЮ

Досліджується крайова задача: в просторі функцій  $C^*(\bar{D}) := C^{(2,1)}(D) \cap C^{(1,0)}(\bar{D})$ ,

$$D = D_1 \cup D_2 \cup D_3,$$

$$D_1 = \{(x, y) \mid x \in (x_0, x_1], y \in (y_0, y_1]\}, D_2 = \{(x, y) \mid x \in [x_0, x_1], y \in (y_1, g_1(x))\},$$

$$x_0 < x_1 < x_2, y_0 < y_1 < y_2,$$

$$D_3 = \{(x, y) \mid x \in (x_1, x_2], y \in (g_2(x), y_1]\},$$

$y = g_i(x) \Leftrightarrow x = k_i(y), i = 1, 2$  - «вільні» криві,  $g_i'(x) > 0, g_1(x_{i-1}) = y_i, g_2(x_i) = y_{i-1}$ ,

$$L_{(2,1)}f(x, y, U(x, y), D^{(1,0)}U(x, y)) := f[U(x, y)], \quad (1)$$

де диференціальний оператор  $L_{(2,1)}$  породжений диференціальним виразом

$$l_{(2,1)}U(x, y) := D^{(2,1)}U(x, y) + a(y)D^{(2,0)}U(x, y)$$

та крайовими умовами

$$U(x_0, y) = \omega_1(y), D^{(1,0)}U(x_0, y) = \omega_2(y), y \in [y_0, y_1], U(x, y_0) = \psi_1(x), x \in [x_0, x_1],$$

$$U(k_1(y), y) = \varphi_1(y), D^{(1,0)}U(k_1(y), y) = \varphi_2(y), y \in [y_1, y_2],$$

$$D^{(1,0)}U(x, g_2(x)) = \psi_2(y), x \in [x_1, x_2].$$

Задані неперервно диференційовні функції  $\varphi_i(y), \omega_i(y), \psi_i(x), i = 1, 2$  задовольняють умови узгодженості

$$\varphi_1(y_1) = \omega_1(y_1), \varphi_2(y_1) = \omega_2(y_1), \omega_1(y_0) = \psi_1(x_0), \omega_2(y_0) = \psi_1'(x_0), \psi_1'(x_1) = \psi_2(x_1).$$

При умовах, що  $a(y) \in C(y_0, g_1(x)), f[U(x, y)] \in C(\bar{B}), f: \bar{B} \rightarrow R, \bar{B} \in R^4$ , будується одна конструктивна модифікація двостороннього методу наближеного розв'язання крайової задачі (1), встановлюються достатні умови існування та єдиності регулярного її розв'язку, його знакосталості, та доводиться теорема про диференціальну нерівність.

### Література

1. V. V. Marynets and K. V. Marynets. On Goursat-Darboux boundary-value problem for systems of non-linear differential equations of hyperbolic type // Miskolc Mathematical Notes. - 2013. - Volume 14, №3. - P.1009-1020.
2. Маринець В. В., Питьовка О. Ю. Один підхід дослідження крайових задач для рівнянь в частинних похідних вищого порядку // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Серія "Фіз.-мат. науки". - Київ. - 2015. - №4. - С.45-50.

## **НАБЛИЖЕНЕ ІНТЕГРУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ МОДИФІКОВАНИМИ ПОСЛІДОВНИМИ НАБЛИЖЕННЯМИ**

Розглядається нелінійна крайова задача для системи нелінійних диференціальних рівнянь

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(t, x(t)), t \in [0, T], x \in R^n,$$

підпорядкованої інтегральним крайовим умовам вигляду:

$$\int_0^T F(x(s))ds = 0,$$

де

$$f : [0, T] \times D \rightarrow R^n, (n \geq 2)$$

задана неперервна функція,  $D$  – замкнена обмежена область.

Вихідна крайова задача зводиться до задачі з лінійними розділеними крайовими умовами шляхом введення підходящого типу параметризації у вигляді:

$$z := x(0) = \text{col}(x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0)) = \text{col}(z_1, z_2, \dots, z_n),$$

$$\lambda := x(T) = \int_0^T F(x(s))ds = \text{col}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n).$$

Тоді інтегральні крайові умови набудуть вигляду лінійних розділених параметризованих крайових умов:

$$x(0) = z,$$

$$x(T) = \lambda.$$

З використанням модифікації чисельно-аналітичної техніки будується наближений розв'язок перетвореної крайової задачі або еквівалентної їй інтегральної задачі, доводиться теорема про збіжність побудованих послідовностей функцій, керуючий параметр та зв'язок граничної функції з розв'язком вихідної задачі.

Одержані теоретичні оцінки підтверджуються модельними прикладами.

### **Література**

1. Ronto M. Further results on the investigation of solutions of integral boundary value problems/ M. Ronto, K.V.Marynets, J. V. Varha // Tatra Mountains Mathematical Publications.- 2015, 63. – P.247-267.
2. Kateryna Marynets. On construction of the approximate solution of the special type integral boundary-value problem / K. Marynets // Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations, QTDE. – 2016. – № 6. – P. 1–14, <http://www.math.u-szeged.hu/ejqtde>.

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ ВИЗНАЧЕНОСТІ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ЗАДАЧ**

При розв'язуванні різноманітних задач в економіці, соціальній сфері, в інформаційних технологіях тощо часто приходиться приймати рішення в умовах визначеності, невизначеності й конфлікту. Для прийняття рішень в таких умовах існує низка методів. Зокрема, в умовах визначеності для прийняття рішення при розв'язуванні багатокритеріальних задач широко використовується методи ідеальної точки, послідовних поступок, введення додаткових обмежень тощо [1-3]. Нами розглядається використання цих методів для розв'язання деяких економічних задач.

### **1. Задача підвищення рентабельності виробництва.**

Для виробництва продукції (товарів) використовуються різні ресурси (сировина, знаряддя, праця тощо). Відомо, скільки одиниць кожного ресурсу використовується для виробництва одиниці кожної продукції, запас кожного ресурсу, затрати (в грошах) на виготовлення кожної продукції. Задача полягає в такому складанні плану виробництва продукції, за якого при використанні наявних ресурсів рентабельність виробництва була б найбільшою.

Для складання математичної моделі задачі введемо такі позначення:  $m$  – кількість ресурсів, що використовуються у виробництві;  $n$  – кількість видів різної продукції, яку можна виготовляти з наявних ресурсів;  $a_{ij}$  – кількість одиниць  $i$ -го ресурсу, що використовується для виробництва одиниці продукції  $j$ -го найменування;  $b_i$  – кількість одиниць  $i$ -го ресурсу, що можна використати у виробництві продукції;  $p_j$  – прибуток від реалізації одиниці продукції  $j$ -ї продукції;  $c_j$  – затрати на виготовлення  $j$ -ї продукції;  $x_j$  – кількість одиниць  $j$ -ї продукції, що планується виготовити (шукані величини); Тоді математична модель задачі матиме вигляд

$$P = \sum_{j=1}^n p_j x_j \rightarrow \max, \quad C = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min$$

за умов

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$
$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Для розв'язання задачі нами використаний метод послідовних поступок.

### **2. Задача планування виробництва.**

Нехай  $n$  – кількість найменувань продукції, що може виготовляти підприємство;  $m$  – кількість різних ресурсів, що використовуються у виробництві продукції;  $a_{ij}$  – кількість одиниць  $i$ -го ресурсу, що використовується для виробництва одиниці продукції  $j$ -го найменування;  $b_i$  – кількість одиниць  $i$ -го ресурсу, що може використовуватись в виробництві;  $p_j$  – прибуток від виробництва одиниці продукції  $j$ -го найменування;  $r_j$  – попит на продукцію  $j$ -го найменування;  $x_j$  – план виробництва продукції  $j$ -го найменування (шукані величини);

Тоді математична модель задачі матиме вигляд

$$P = \sum_{j=1}^n p_j x_j \rightarrow \max, \quad R = \sum_{j=1}^n r_j x_j \rightarrow \max$$



за умов

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$
$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Для розв'язання задачі нами використаний метод ідеальної точки. Тоді скаляризована задача матиме вигляд:

$$\left( \sum_{j=1}^n p_j x_j - a_1 \right)^2 + \left( \sum_{j=1}^n r_j x_j - a_2 \right)^2 \rightarrow \min$$

За умов

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$
$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

де  $a = (a_1, a_2)$  - ідеальна точка, яка визначається так:

$$a_1 = \max \sum_{j=1}^n p_j x_j, \quad a_2 = \max \sum_{j=1}^n r_j x_j$$

на множині, що визначається нерівностями .

Для відшукування  $a_1, a_2$  можна використати симплексний метод [4], оскільки це є задачами лінійного програмування. Для розв'язування скаляризованої задачі можна використати, наприклад, метод множників Лагранжа [5, 6].

### Література

1. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. – К., 2010.
2. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений. – М., 2000.
3. Цегелик Г. Г. Моделі та методи підтримки прийняття рішень в умовах визначеності: текст лекцій. – Львів, 2016.
4. Цегелик Г. Г. Математичне програмування: навч. посіб. – Львів ЛНУ імені Івана Франка, 2011.
5. Бартіш М. Я. Методи оптимізації. Теорія і алгоритми. – Львів ЛНУ імені Івана Франка, 2006.
6. Бертсенас Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа. – М., 1987.

## **РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІДГОТОВКИ ПРОЦЕСІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Завдання ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) належать до першочергових з-поміж заходів забезпечення життєдіяльності. У процесі ліквідації НС перед підрозділами державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України виникає потреба виявлення джерела загрози та рівня його небезпеки, встановлення причин появи НС, потенційних шляхів поширення та тривалості. Немаловажне значення при цьому має визначення сил і засобів для ліквідації НС у найкоротші терміни та з достатньою ефективністю [1, 2]. До найбільш поширених належать пожежі на об'єктах промислового та цивільного призначення, лісові пожежі, тощо. Результативність їх ліквідації залежить від правильності прийняття рішень стосовно ефективного використання матеріальних і людських ресурсів [3].

Після виникнення пожежі необхідно прийняти рішення стосовно виклику оперативно-рятувального підрозділу  $R_i$  для її ліквідації. Система пожежної безпеки побудована таким чином, що в околі виникнення пожежі знаходяться декілька оперативно-рятувальних підрозділів. Безумовно, вони нерівномірно розподілені від осередку пожежі. На результативність їх дії на пожежу впливають такі параметри як кількість спецтехніки, підготовка особового складу, погодні умови, стан та завантаженість автомобільних доріг на шляху слідування до місця пожежі тощо. Побудова математичної моделі передбачає використання основних параметрів, які, зокрема, змінюються в часі.

Використовуючи засоби теорії аналітичних функцій, задачу побудови математичної моделі підтримки прийняття рішень підготовки процесів ліквідації пожежі зручно розв'язувати, якщо в околі виникнення пожежі знаходиться два оперативно-рятувальних підрозділи [4]. Позначимо основні параметри двох оперативно-рятувальних підрозділів, які змінюються в часі  $t$ , через  $x$  та  $y$ . Для випадку функції комплексної змінної вони визначають дійсну  $u$  та уявну  $iv$  складові комплексного параметра  $z$ . Складові  $u$  та  $iv$  комплексної результативності  $w$  залежить від основних параметрів  $x$  та  $y$  оперативно-рятувальних підрозділів і пов'язані функціональною залежністю

$$w = w(z) = u + iv = u(x, y) + iv(x, y). \quad (1)$$

Складові  $z$  подаються інтегральною кривою тривимірного простору  $oxyt$  з проекціями у двовимірних площинах  $oxt$  та  $oyt$ . Проекціюванням у двовимірну площину  $oxy$  одержуємо фазову траєкторію, кожна точка якої визначає значення параметрів  $x_i$  та  $y_i$  в поточний момент часу  $t_i$ . В розширеній комплексній площині аргументу  $z$  функції комплексної змінної  $w$  побудована фазова траєкторія подає жорданову криву, яка відповідно до (1) визначає характер зміни комплексної результативності  $w$ . Графічну залежність  $u = u(y)$  відповідно до (1) визначимо одразу для усіх значень робочого діапазону зміни параметрів  $x$  та  $y$  обох оперативно-рятувальних підрозділів. Зміна характеру кривої у площині  $oxt$  чи  $oyt$  впливає на розташування точок залежностей складових комплексної результативності. Результати дослідження напрямків переміщення точок у площині вказують на переважний вплив того чи іншого параметру  $x$  чи  $y$  на ефективність ліквідації пожежі і виступають одним із чинників прийняття рішення щодо використання одного з розташованих поблизу місця виникнення надзвичайної ситуації (пожежі) оперативно-рятувальних підрозділів.

Найважливішими в практичній діяльності оперативно-рятувальних підрозділів є задачі визначення однієї з складових  $u$  чи  $v$  комплексної результативності  $\omega$  для відомих законів зміни параметрів  $x$  та  $y$ . Таку задачу віднесемо до задачі синтезу параметрів оперативно-рятувальних підрозділів стосовно до реагування на надзвичайні ситуації. При відомому законі зміни одної з складових результативності  $u = u(x, y)$  іншу складову  $v = v(x, y)$  комплексної результативності знайдемо за умови аналітичності функції комплексної змінної (1).

Формуємо умови аналітичності Д'Амбера-Ейлера:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{\partial v}{\partial x}.\end{aligned}\tag{2}$$

Складові аналітичного виразу визначення результативності  $v = v(x, y)$  знайдемо за рівняннями:

$$\begin{aligned}\frac{\partial v}{\partial x} &= -\frac{\partial u}{\partial y} = P(x, y); \\ \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{\partial u}{\partial x} = Q(x, y).\end{aligned}\tag{3}$$

Для відомого діапазону зміни складових аргументу  $z$ , тобто  $x \geq x_0 \geq 0$  та  $y \geq y_0 \geq 0$ , функцію  $v(x, y)$  знайдемо, інтегруючи вираз

$$v(x, y) = \int_{x_0, y_0}^{x, y} P(x, y)dx + Q(x, y)dy.\tag{4}$$

Підставляючи відомі залежності (3) в (4), одержимо закон зміни складової ефективності  $v = v(x, y)$ .

Запропоновані математичні моделі, реалізовані із залученням геометричних інтерпретацій функції комплексної змінної у середовищі математичного процесора, наприклад, *Matlab*, надають можливість варіюванням основних параметрів одержувати дані, корисні при розробленні і прийнятті раціональних рішень в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій, зокрема, пожеж.

## Література

1. Малець І.О. Інформаційні технології і потокові моделі забезпечення оперативної діяльності для формування маршрутів передачі даних у мережах в умовах надзвичайних ситуацій / І.О. Малець // Моделювання та інформаційні технології. – 2008. – Вип. 45. – С. 165-171.
2. Малець І.О. Інформаційний аналіз структурних компонент надзвичайних ситуацій / І.О. Малець, Т.Є. Рак, Ю.І. Грицюк / Матеріали міжн. наук. конф. ISDMCI 2011, 16-20 травня 2011, Євпаторія, Україна.
3. Сікора Л.С. Системологія прийняття рішень на управління в складних технологічних структурах. – Львів: Каменяр, 1998. – 453с.
4. Маркушевич А. И.. Введение в теорию аналитических функций / А.И. Маркушевич, Л.А. Маркушевич. – М: Просвещение. – 1977. – с. 41-44.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ВИДЕО В ЗАДАЧЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА

Стремительный рост количества обрабатываемой мультимедиа информации приводит к необходимости возникновения интеллектуальных систем, направленных на поиск необходимых данных. И если для текстовых данных и даже изображений уже существуют подходы, позволяющие эффективно находить необходимую информацию по ее текстовому описанию в больших базах данных, то контекстный поиск, который иногда называют также поиском «по образцу» в базах видеоданных остается актуальной задачей информационного поиска. Сложность решения этой задачи обусловлена с одной стороны большими объемами информации, которую необходимо обработать, с учетом того, что одна секунда видео содержит как минимум 25 кадров, а с другой стороны ограничениями, связанными с временем необходимым для релевантного ответа при информационном поиске, т.к. большинство таких процессов требует онлайн обработки. В такой ситуации одним из вариантов решения задачи может стать разбиение всего процесса информационного поиска на два подкласса, оффлайн и онлайн процедуры. При этом, методы первого класса должны выполняться до поступления непосредственного запроса на поиск, после которого уже должны выполняться соответствующие методы онлайн обработки и получения релевантного результата. Вполне естественно в такой интерпретации, что оффлайн процедуры должны служить для уменьшения избыточности видеоданных, с тем, чтобы сократить необходимые ресурсы для выполнения онлайн процедур.

Одним из направлений, связанных с уменьшением избыточности, без потери информационной значимости может быть выделение ключевой информации в видеопотоках. Однако надо отметить тот факт, что, учитывая плохую структурированность подобных данных, надо в первую очередь получить множества соответствующих по смыслу последовательностей кадров или иными словами провести сегментацию видеопотока по временной составляющей. При этом для представления модели сегментации видеопотоков можно использовать подход, описанный в [1]. В то же время одним из вариантов получения отдельных сегментов по времени, может быть анализ отдельных кадров видеопоследовательностей, для определения сходства между ними и выделения соответственно границ сегментов. Пример подобного перехода между сегментами показан на рис. 1.

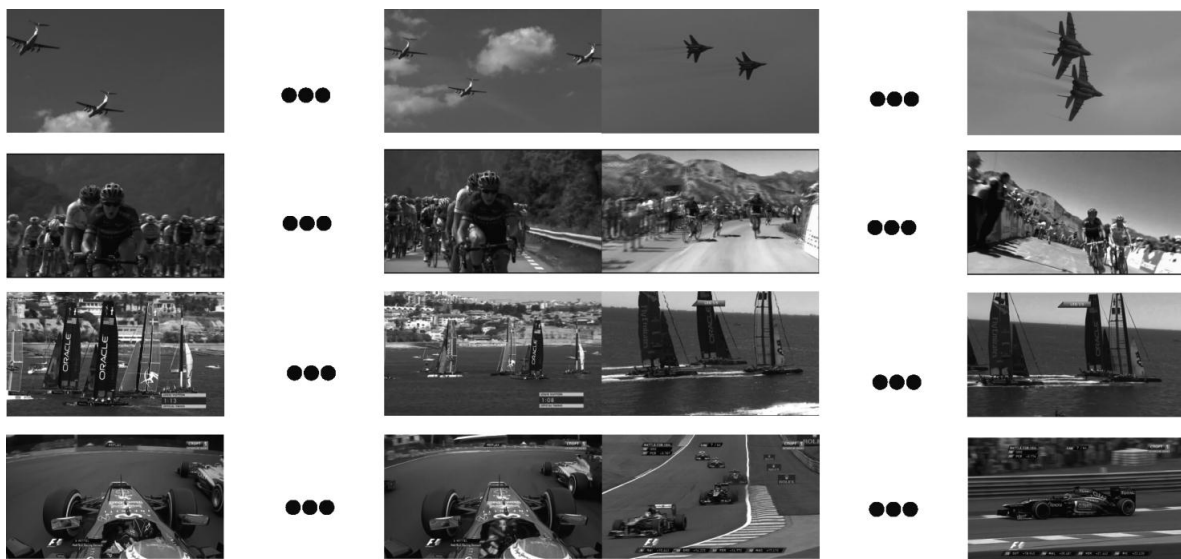


Рис. 1. Примеры переходов между сегментами в видеопоследовательности  
Вполне логичным решением в этом случае выглядит получение пространственной сегментации отдельных кадров с выделением характерных признаков отдельных сегментов.

В качестве пространственной сегментации необходимо использовать метод автоматической сегментации, подобный JSeg или методу водоразделов. При этом выбор метода пространственной сегментации зависит от типа входных данных, но его изменение лишь незначительно влияет на общие результаты пространственно-временной сегментации видеопотока. Значительно большее влияние на результат оказывает выбор параметров самого метода пространственной сегментации, таких как выбор количества сегментов, либо различные пороговые значения, по которым производится разбиение на сегменты. В качестве методов преобразующих полученные сегментации кадров в пространственно-временную сегментацию видео могут использоваться VAR модели, нейронные сети, методы прогнозирования и др. [2-3]. Пример результата сегментации видео представлен на рис. 2.

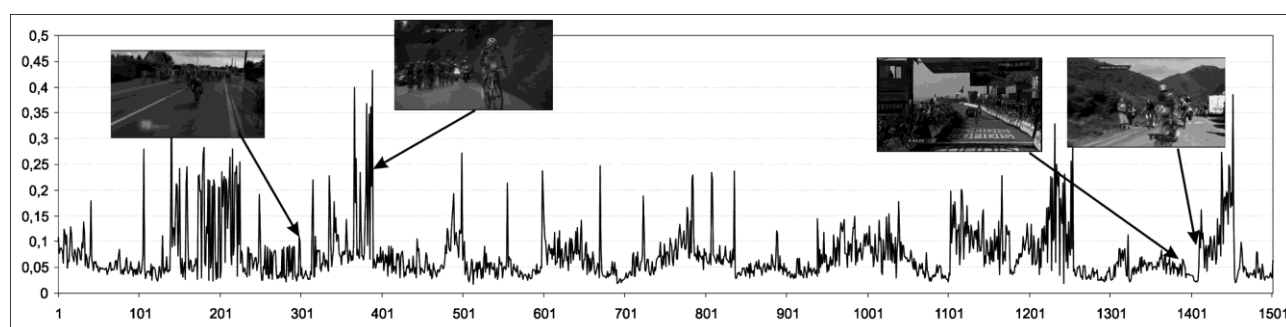


Рис.2. Сегментация видеопоследовательности «Тур де Франс»

В результате проведения пространственно-временной сегментации видеоданных имеется некоторое множество последовательностей кадров, связанных между собой некоторыми общими свойствами. Далее в каждом из сегментов надо выделить один или несколько ключевых кадров. В качестве методов поиска подобной информации могут использоваться такие подходы как разность гистограмм, кластерные алгоритмы, нейронные сети, диаграммы Вороного и многие другие [4-6].

В результате подобных процедур пространственно-временной сегментации видеопотоков, полученных в оффлайн режиме, получаем множество ключевых кадров видеопоследовательностей, что значительно упрощает дальнейшие онлайн процедуры контекстного информационного поиска с запросом «по образцу» как с точки зрения количества информации требующей обработки, так и по количеству требуемого на это времени.

### Литература

1. Kinoshenko, D. Temporal video segmentation via spatial image segmentation / D. Kinoshenko, S. Mashtalir, V. Shlyakhov // International Journal «Information Technologies & Knowledge». – Vol.7, No 3, 2013. – P. 212-219.
2. An improved keyframe extraction method based on HSV colour space / Z. Qu, L. Lin, T. Gao, Y. Wang // Journal of Software. – 2013. – Vol. 8, No. 7. – P. 1751-1758.
3. On-line video segmentation using methods of fault detection in multidimensional time sequences / Ye. Bodyanskiy, D. Kinoshenko, S. Mashtalir, O. Mikhnova // International Journal of Electronic Commerce Studies. – Vol. 3, No 1. – 2012. – P. 1-20.
4. Mantula E.V. Method of Adaptive Forecasting Based On Multidimensional Linear Extrapolation / Mantula E.V., Mashtalir S.V. // International Journal of Research in Engineering and Science / Vol. 1, Issue 4. – 2013. – P. 31-37.
5. Ejaz, N. Efficient visual attention based framework for extracting key frames from videos / N. Ejaz, I. Mehmood, S. W. Baik // Signal Processing: Image Communication. – 2013. – Vol. 28, No. 1. – P. 34-44.
6. Mashtalir S. Key frame extraction from video: framework and advances / S. Mashtalir, O. Mikhnova // International Journal of Computer Vision and Image Processing, 4(2), April-June 2014. – pp.68-79.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ АЛГОРИТМІВ РОЗПІЗНАВАННЯ НА ДЕЯКИХ КЛАСАХ НАВЧАЛЬНИХ ВИБІРОК

В даній роботі пропонується метод розпізнавання дискретних об'єктів, який поєднує алгоритми класифікації та розпізнавання образів. В роботі використовується алгоритми й методи, які описані [1-2].

Початкова навчальна вибірка для заданої кількості класів розширюється за рахунок векторів, які погано розпізнаються побудованим алгоритмом розпізнавання. Досліджується ефективність розпізнавання за рахунок збільшення навчальної вибірки екзаменаційними векторами.

Пропонується інтегральні оцінки якості побудованих алгоритмів.

Надалі використовуватимемо стратегію навчання з вчителем.

Постановка задачі.

Нехай задано множину об'єктів. Необхідно розділити множину  $A$  на навчальну та екзаменаційну вибірки. Навчальну вибірку розбити на  $k$  класів  $A_1, A_2, \dots, A_k$ , таких що задовольняли б наступні умови:

1.  $A = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_k$
2.  $A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k = \emptyset$

Для розв'язку задачі введемо відстань між двома об'єктами  $a = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  та  $b = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ :

$$d(a, b) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2}$$

А також відстань між об'єктом  $a$  та класом  $M$ :

$$D(a, M) = \frac{1}{n_M} \sum_{i=1}^{n_M} d(a, M_i)$$

$n_M$  - кількість об'єктів у класі  $M$ .

В даній роботі використані набори даних для класифікації і розпізнавання [3]. Оскільки дані різнотипні проводимо нормалізацію таким чином, щоб значення компонент лежали в межах від 0 до 1.

$$x_i = \frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i}, i = \overline{1, m}$$

$\min_i$  - найменша  $i$ -а компонента серед усіх  $a_k$ , відповідно  $\max_i$  - найбільша.

Навчання системи.

В кожен  $A_i$  заносимо по-одному вектору-еталону  $k$ -го класу із навчальної вибірки. Клас кожного наступного вектора  $a_j$  визначимо як клас, відстань  $D(a_j, A_i)$  до якого найменша. Якщо клас визначено правильно заносимо вектора  $a_j$  в визначений клас, якщо не правильно — формуємо новий клас  $A_{k+1}$ , в основу якого покладемо вектор  $a_j$ , як вектор-еталон. В результаті отримаємо систему з  $k + l$  класів.

Тестування системи.

Клас кожного вектора  $a_j$  із екзаменаційної вибірки визначимо як клас, відстань  $D(a_j, A_i)$  до якого найменша. Якщо клас визначено неправильно збільшуємо лічильник помилок.

Результати.

В роботі досліджено ефективність запропонованого алгоритму, в залежності від порядку надходження екзаменаційних векторів. Було проведено дослідження на даних “Іриси Фішера” [3]. По вказаному вище алгоритму розпізнавання було прораховано близько ста варіантів поповнення навчальної вибірки. Діапазон ефективності розпізнавання в

кожному експерименті коливався від 75% до 100% в залежності від порядку надходження екзаменаційних векторів. Виявилось, що в деяких випадках збільшення навчальної вибірки погіршує результати розпізнавання. Наприклад збільшення навчальної вибірки з 3 до 9 в одному варіанті погіршувало результати з 90% до 79%. Для того щоб отримати загальну оцінку роботи алгоритму для різних навчальних вибірок використали інтегральні оцінки. Інтегральні оцінки коливались в діапазоні від 87% до 94%.

Інтегральна оцінка дає можливість вибрати кращі варіанти алгоритмів для конкретних типів даних та узагальнює оцінки роботи алгоритму розпізнавання для конкретних випадків.

Інтегральна оцінка може обчислюватись по наступним формулам:

$$v = \frac{\sum v_i}{n}$$
, де  $v_i$  – ефективність  $i$ -го варіанту алгоритму,  $n$  – кількість варіантів.

$$v = \frac{M}{D}$$
, де  $M$  – математичне сподівання, а  $D$  – дисперсія.

Даний алгоритм був протестований на даних “Типи і якість вина” [3]. Дані представляли собою 12 мірні вектори, які поділені за якістю на шість класів. Ознаки мали різні шкали вимірювання і були нормалізовані: зведення до інтервалу [0;1]. Збільшення навчальної вибірки із 6 до 67 погіршило результат від 80% до 58%. Це явище описано як “феномен перенавчання” в [1], і потребує з нашої точки зору додаткових досліджень. Із збільшенням навчальної вибірки із 67 до 1400 ефективність розпізнавання стабілізується в інтервалі 56%-60% і потім при збільшенні від 1400 до 1600 ефективність падає до 52%. В деяких окремих випадках роботи алгоритму навчальна вибірка із шести векторів давала ефективність 80%.

Висновки. В результаті проведених досліджень показано, що ефективність розпізнавання залежить не тільки від якості побудованого алгоритму, а й від алгоритму утворення, поповнення навчальної вибірки. Підтвердження отриманих результатів буде проведено за рахунок збільшення кількості типів алгоритмів розпізнавання, і даних для експериментів.

## Література

1. Peter Flach. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms That Make Sense of Data.
2. Довбиш А.С. Основи теорії розпізнавання образів. Суми 2015. – с.109.
3. Доступно на Machine Learning Repository [Електронний ресурс]. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets>.

## СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА БАЗІ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗА

Сьогодні все гостріше відчувається необхідність проектування «гнучких» систем, в які ще на етапі розробки концепції закладається можливість адаптації до нових вимог, можливість їх розвитку і доопрацювання. Для цього потрібні нові методи, що дозволяють планувати і покращувати структуру системи не порушуючи коректність і ефективність її роботи.

Системне моделювання визнається необхідним при аналізі проектів складних систем і перспективних технологій. Системне моделювання стало основою сучасних підходів до системної інженерії та розробки програмного забезпечення. Проф. Алан Вегманн, розробник методології SEAM (англ. Systemic Enterprise Architecture Methodology) [1], дає таке визначення системного моделювання: системне моделювання – це міждисциплінарний підхід до використання моделей з метою розробки концепції і структури системи в сферах техніки, бізнесу та інформаційних технологій.

Системна модель має бути модульною, з можливістю інтерактивної або навіть автоматичної зміни складу і структури. На першому етапі побудови системної моделі, використовуючи дані описової моделі, будується так званий каркас, з урахуванням апріорі відомих властивостей і аспектів системи, що моделюється. У цей каркас закладаються спеціальні алгоритми, що дозволяють змінювати вихідні передумови у міру отримання нових даних про об'єкт вивчення. Далі проводиться модельний експеримент. Отримані при цьому дані використовуються для коригування каркасу – формулюється модель системи в першому її наближенні. Потім за допомогою вже цієї моделі проводиться експеримент, за результатами якого вона знову коригується – формується модель системи в другому її наближенні і т.д. Завжди це буде якесь наближення до системи-оригіналу, яке потребує уточнення в ході подальших досліджень [2].

Системне моделювання є напрямком, який активно розвивається:

- розроблена мова SysML, яка побудована на базі UML і прийнята як індустріальний стандарт консорціумом OMG (Object Management Group) у 2007 році [3];
- СМ стало основою сучасних підходів до системної інженерії (англ. Model-based systems engineering, MBSE);
- СМ стало основою підходу до розробки програмного забезпечення – Model driven development (MDD);
- розроблена методологія SEAM для моделювання в області «архітектури підприємств»;
- для загального системного моделювання запропонована парадигма триєдиного континууму, її опис та приклади використання наводяться в статті [4].

Моделі, побудовані з використанням цих підходів, за своїм складом, структурою і функціонуванням виявляються близькими об'єктам-оригіналам, відрізняючись від них тим, що можуть бути відтворені у вигляді комп'ютерних алгоритмів і програм, з якими можна здійснювати необмежену кількість модельних експериментів. В цілому, *системне моделювання представляє собою інтерактивне моделювання з вбудованими в модель методами прийняття рішень та оптимізації*.

Загальну схему процесу проектування систем з використанням сучасних підходів та методологій на базі системного моделювання можна представити наступним чином (рис. 1).



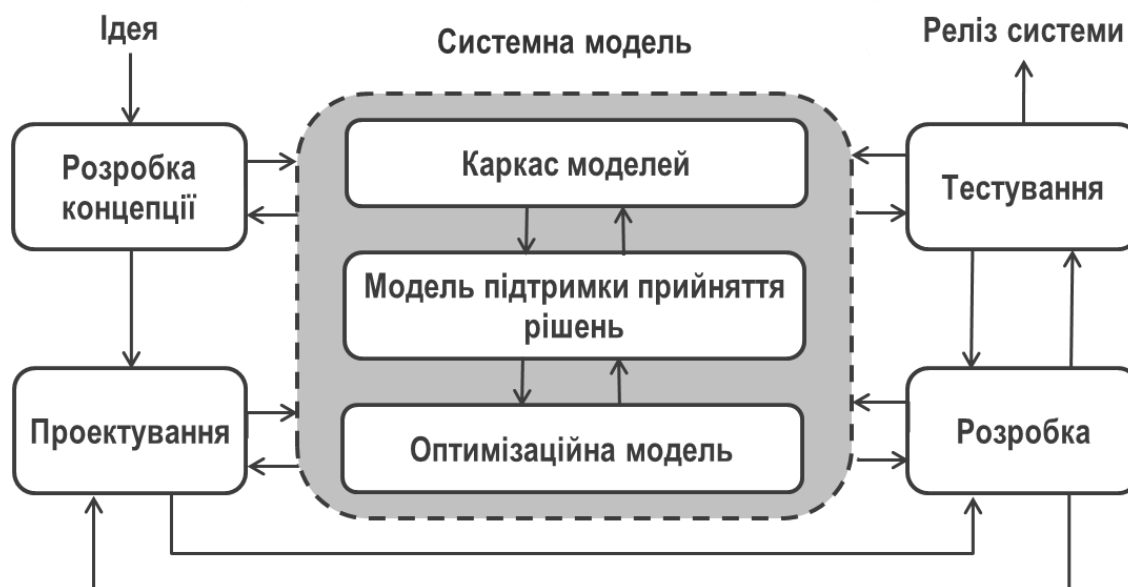


Рис. 1. – Процес проектування системи

При системному моделюванні за наявності невизначеностей доречно використовувати поєднання імітаційного моделювання, пошукової оптимізації та багатокритеріальних методів. Багатокритеріальні методи дозволяють інтегрувати, об'єднувати результати, отримані з використанням інших підходів, що обґрунтовує доцільність використання цих методів при системному моделюванні. Методи багатокритеріального порівняльного аналізу застосовуються для вирішення задач в організаційній, фінансовій, технічній, медичній сфері, а також у сфері навчання. Це, насамперед, завдання багатокритеріального ранжування, оцінювання кредитоспроможності, оцінки ризиків проектів, багатокритеріального вибору кращої альтернативи, розподілу ресурсів, проектування складних систем за кількісними та якісними критеріями, багатокритеріальної оптимізації, медичної і технічної діагностики. У роботі [5] сформульовані цільові стратегії системного моделювання на базу методів багатокритеріального аналізу. Системне моделювання складних об'єктів з використанням методів багатокритеріального аналізу дозволяє враховувати різномірні фактори такі як критерії, варіанти зовнішніх умов.

В свою чергу, інтеграція цих методів [6] дає можливість поєднати переваги та суттєво усунути обмеження класичних методів. СППР, побудована на основі інтегрованих багатокритеріальних методів, постає потужним інструментом системного аналізу проблем проектування, вибору кращих технологій, підтримки організаційних рішень, багатокритеріальної оптимізації. Необхідно відзначити, що для СППР найважливішою перевагою є різноманіття використовуваних методів, оскільки в цьому випадку з'являється можливість підібрати метод під конкретну проблему, тим самим підвищити ефективність процесу підтримки прийняття рішень.

Розроблена система підтримки прийняття рішень NooTron з поповнюваною бібліотекою методів БКА [7, 8]. СППР NooTron реалізована у вигляді веб-додатку і знаходиться у вільному доступі за адресою: <http://nootron.net.ua>. СППР NooTron використовується для вирішення навчальних задач, для складання рейтингів, для вирішення задач вибору в умовах невизначеності, для комп'ютерних експериментів та системного моделювання. Веб-додаток «СППР NooTron» використовується в навчальному процесі на кафедрі інформаційних технологій та систем НМетАУ, на кафедрі інформаційних систем Інституту комп'ютерних систем в Одеському національному політехнічному університеті.

Розроблена системна модель для багатокритеріального аналізу технологій використання енергетичних ресурсів металургійного виробництва, до якої увійшла модель оптимізації розподілу внутрішніх енергетичних ресурсів металургійного комбінату, яка

набула подальшого розвитку на базі об'єднання пошукової оптимізації та інтегрованих методів багатокритеріального аналізу [9, 10].

Згідно розробленої методики системного моделювання проведена багатокритеріальна оптимізація параметрів теплоенергетичної системи металургійного комбінату із застосуванням інтегрованого методу «Метод аналізу ієрархій + метод матриці рішень – узагальнений», що дозволило провести порівняльний аналіз субоптимальних варіантів, отриманих за оптимізаційною моделлю, враховуючи можливі варіанти зовнішніх умов, а також дало можливість обґрунтованого вибору оптимізованого варіанту, кращого за сукупністю критеріїв.

### Література

1. Wegmann A. On the Systemic Enterprise Architecture Methodology (SEAM) / Alain Wegmann // Proceedings of the 5th International Conference on Enterprise Information Systems. – 2003. – P.483 – 490.
2. Микони С.В. Основы системного анализа : [учеб. пособие] / С.В.Микони, В.А.Ходаковский. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. – 143 с.
3. OMG Systems Modeling Language (OMG SysML). – 2010. – 260p.
4. Науменко А.А. Введение в Парадигму Триединого Континуума, парадигму для общего системного моделирования.
5. Evtushenko G. The Strategies of System Model Synthesis: General Approach / G. Evtushenko, A.Mikhalyov, V.Kuznetsov // Computer Science & Information Technologies (CSIT'2014), November 2014, Lviv, Ukraine. – P. 87 – 88.
6. Михалёв А.И. Интеграция методов многокритериального анализа и их применение в системе поддержки принятия решений / А.И. Михалёв, В.И. Кузнецов, Н.Н. Ковалик, Г.Л. Теплякова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (75). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 140 – 152.
7. Теплякова Г.Л. Проектирование системы поддержки принятия решений на базе методов многокритериального анализа / Г.Л.Теплякова, В.И.Кузнецов, И.С.Дмитриева // Проблемы недропользования : сборник научных трудов международного форума-конкурса молодых ученых. Часть II / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб, 2013. – С. 261 – 263.
8. Евтушенко Г.Л. Разработка веб-приложения «Система поддержки принятия решений NooTrop 3.0» / Г.Л.Евтушенко, А.С.Воюев, А.О.Градовский, Н.А.Грачев, В.Г.Макаров, Ю.С.Штефан // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (91).– Днепропетровск, 2014. – С. 136 – 144.
9. Михальов О.І. Системна модель для багатокритеріального аналізу технологій використання енергетичних ресурсів металургійного виробництва / О.І.Михальов, В.І.Кузнецов, Г.Л.Євтушенко // Сучасні проблеми металургії. – №17. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 50 – 65.
10. Кузнецов В.И. Многокритериальный анализ и оптимизация технологических систем на базе методов количественного анализа решений / В.И.Кузнецов, Г.Л.Евтушенко, В.С.Вьюненко, А.А.Ткаченко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (104).– Днепропетровск, 2016. – С. 3 – 13.

## ДЕЯКИЙ КРИТЕРІЙ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗИ ПРО ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА ХЮРСТА

Однією з найбільш вживаних моделей випадкового процесу з неперервним часом і довгостроковою залежністю є дробовий броунівський рух – гауссовий випадковий процес з нульовим середнім значенням та коваріаційною функцією

$$r(t, s) = \frac{1}{2}(|t|^{2\alpha} + |s|^{2\alpha} - |t - s|^{2\alpha}), t, s \in R,$$

де параметр  $\alpha \in (0, 1)$  називається параметром Хюрста.

За спостереженнями дробового броунівського руху  $\{\xi(t), t \in [0, 1]\}$  в точках

$$\left\{ \frac{k}{2^n}, \frac{k+1}{2^n}, 0 \leq k \leq 2^n, n \in N \right\}$$

за допомогою методу бакстерівських сум побудовано критерій перевірки гіпотези про значення параметра Хюрста  $\alpha$ , що входить показником до коваріаційної функції випадкового процесу  $\xi(t)$ .

Висунемо гіпотезу :  $\alpha = \alpha_0$ , де  $\alpha_0 < 1$ . Як альтернативу використаємо гіпотезу  $H_1$ :  $\alpha < \alpha_0$ . Розглянемо наступні послідовності бакстерівських сум [1]:

$$S_n = \sum_{k=0}^{2^n-1} \left( \xi\left(\frac{k+1}{2^n}\right) - \xi\left(\frac{k}{2^n}\right) \right)^2, \hat{S}_n = 2^{n(2\alpha-1)} S_n, n \geq 1.$$

Теорема [2]. Статистика

$$\hat{\alpha}_n = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\ln S_n}{n \ln 2} \right), n \geq 1$$

є сильно конзистентною оцінкою параметра  $\alpha$ .

Критерій. Для фіксованого рівня значущості  $p$  гіпотезу  $H$  приймають, якщо виконується нерівність  $K < x_p$ , де

$$x_p \geq -\frac{1}{2} \frac{\ln(1 - \varphi(p) K_0 \sqrt{D_n(\alpha_0)})}{n \ln 2}, \varphi(p) = \ln \left( 1 + \frac{2}{p} + \sqrt{\left( 1 + \frac{2}{p} \right)^2 + 1} \right),$$

$$K_0 = \inf_{\tau \in (0, \frac{1}{2})} \frac{\sqrt{2e^{-\tau}(1-2\tau)^{-1/2} + 1}}{\sqrt{2}\tau} \approx 3.47,$$

$$D_n(\alpha_0) \leq \frac{6}{2^n} + \frac{4}{2^n} \begin{cases} \zeta(4 - 4\alpha_0), \alpha_0 \in \left(0, \frac{3}{4}\right), \\ 1 + n \ln 2, \alpha_0 = \frac{3}{4}, \\ 1 + \frac{2^{n(4\alpha_0-3)}}{4\alpha_0 - 3}, \alpha_0 \in \left(\frac{3}{4}, 1\right), \end{cases} p \in (0, 1).$$

У протилежному випадку гіпотезу  $H$  відхиляють.

### Література

1. Курченко О.О. Одна сильно конзистентна оцінка параметра Хюрста дробового броунівського руху / О. О. Курченко // Теорія Ймовірностей і Математична Статистика. – 2002. – Вип. 67. – С. 45-54.
2. Синявська О.О. Оцінка параметра Хюрста дробового анізотропного вінерівського поля / О.О. Синявська // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Математика. Механіка. – 2012. – № 28. – С. 32–35.

Мулеса О. Ю.<sup>1</sup>, Миронюк І. С.<sup>2</sup>, Слабкий Г. О.<sup>3</sup>

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»<sup>1</sup>

Закарпатський обласний центр з профілактики та боротьби зі СНІДом<sup>2</sup>

ДУ «Український інститут стратегічних досліджень МОЗ України»<sup>3</sup>

*mulesa.oksana@gmail.com, ivan.mironyuk@gmail.com, g.slabkiy@ukr.net*

## **ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБ В ШВИДКИХ ТЕСТАХ №1 І №2 ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ НА ВІЛ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПЛАНУВАННЯ РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ЗАХВОРЮВАННЯ**

Раннє виявлення ВІЛ-інфекції є одним із пріоритетних завдань служби протидії ВІЛ-інфекції/СНІДу у медичній сфері. Складність визначення необхідної для безперебійної роботи сайтів тестування на ВІЛ кількості швидких тестів для виявлення ВІЛ двох видів зумовлена невизначеністю кількості осіб (пацієнтів), які звернуться для діагностики наявності ВІЛ-інфекції протягом наступного періоду часу. Наразі планування потреб виробів медичного призначення формується один раз в рік на період наступного календарного року. Таким чином, достовірне і своєчасне прогнозування кількості осіб, які звернуться для діагностики наявності ВІЛ-інфекції є інструментом планування потреб в цих виробках.

Задачу прогнозування кількості звернень для діагностики наявності ВІЛ-інфекцій у заданий період часу математично можна представити як задачу прогнозування часових рядів, яка формулюється таким чином:

на основі елементів часового ряду  $y(1), y(2), \dots, y(t), \dots, y(n)$  необхідно визначити значення  $y(n+1), \dots, y(n+T)$ , де  $T$  – крок прогнозу.

При прогнозуванні часового ряду, як правило, потрібно визначити модель прогнозування – функціональну залежність, яка з точністю до випадкової складової  $\varepsilon_t$  запишеться так [1]:

$$y(t) = F(y(t-1), y(t-2), \dots) + \varepsilon_t.$$

Відомо ряд моделей і методів прогнозування часових рядів. Так, в наукових працях було продемонстровано ефективність методу синтезу прогнозуючої схеми на основі базових прогнозуючих моделей [2], в основі якого лежить механізм конкуренції на заданому проміжку часу, а також методів прогнозування часових рядів, компонентом яких є «експертний блок» [3], та які використовують числові експертні оцінки об'єкта з метою забезпечення можливості врахування в прогнозній оцінці зовнішніх факторів, що мають значний вплив на прогнозовану величину, але не мають системного характеру або не піддаються формалізації. Такий підхід є доцільним при розв'язуванні задач прогнозування числових показників, які характеризують епідемію ВІЛ/СНІДу та заходи протидії їй [3].

Отже, для підвищення ефективності процесів прийняття рішень, пов'язаних з плануванням потреб виробів медичного призначення у медичній сфері доцільним є застосування методів прогнозування динамічних рядів, в основі яких лежать базові прогнозуючі моделі, та які, разом з цим, враховують числові експертні оцінки.

### **Література**

1. Chatfield, C. The analysis of time series: an introduction [Текст] / С. Chatfield – CRC press, 2013.–352 р.
2. Гече Ф. Розробка методу синтезу прогнозуючої схеми на основі базових прогнозуючих моделей [Текст] / Ф. Гече, О. Мулеса, С. Гече, М. Вашкеба // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – Т. 3, N 2(23). – С. 36–41. DOI : 10.15587/2312-8372.2015.44932
3. Mulesa, O. Designing fuzzy expert methods of numeric evaluation of an object for the problems of forecasting [Текст] / Oksana Mulesa, Fedir Geche // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3, N 4(81). – Р. 37-43. – Way of Access : DOI : 10.15587/1729-4061.2016.70515.

## НЕЧІТКА ПРОДУКЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ПРОТИДІЇ ЕПІДЕМІЇ ВІЛ/СНІДУ ЯК КОМПОНЕНТ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ В ОХОРОНІ ЗДОРОВ'Я

Система протидії епідемії ВІЛ-інфекції/СНІДу на сьогодні в Україні є міжсекторальною та включає в себе окремі компоненти (профілактика, лікування, догляд і підтримка та організаційні заходи), які реалізується як структурними складовими системи охорони здоров'я, так і іншими партнерськими інституціями та організаціями [1]. Ефективність функціонування кожного із учасників сфери протидії ВІЛ/СНІДу в значній мірі залежить від злагодженої роботи усіх ланок існуючої системи, що на практиці не завжди є можливим. Тому, постійно виникають ситуації необхідності прийняття учасниками системи (в тому числі і лікарями) своєчасних управлінських рішень, направлених на попередження та подолання або мінімізацію негативних наслідків кризової ситуації, яка виникла. Це є компонент ризик-менеджменту в охороні здоров'я [2].

При аналізі факторів впливу на процес прийняття рішень при здійсненні як управлінцями у сфері охорони здоров'я, так і лікарями своїх функцій та можливих варіантів їх дій виникає невизначеність, пов'язана з необхідністю врахування суб'єктивних суджень експертів, думки особи, що приймає рішення тощо. Таким чином, доцільним є представлення інструкцій щодо прийняття рішень попередження виникнення кризових ситуацій у сфері протидії ВІЛ/СНІДу у вигляді нечіткої продукційної моделі, яка в свою чергу, може бути представлена як кортеж [3]:

$$M = \langle L, R, P_f, FI, P_d \rangle, \quad (1)$$

де  $L$  – множина лінгвістичних змінних (вхідних і вихідних);  $R$  – база нечітких продукційних правил;  $P_f$  – процедура фазифікації;  $FI$  – блок нечіткого логічного виводу;  $P_d$  – процедура дефазифікації.

Отже, для побудови нечіткої продукційної моделі прийняття управлінських рішень в форматі ризик-менеджменту у сфері протидії ВІЛ/СНІДу необхідним є послідовне визначення компонент моделі (1), яке полягає у наступних діях.

Побудові множини лінгвістичних змінних передуює процес опису системи інтегральних факторів, які впливають на успішність прийнятого рішення, які утворюють множину  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ , а також вихідного фактору  $K_0$ , який описує результат застосування кожного правила. В цей процес можуть бути залучені експерти та особа, що приймає рішення. Далі, для кожного фактору з множини  $K = \{K_i\}$ ,  $i = \overline{0, m}$ , будується лінгвістична змінна  $L_i$  шляхом формування множин термів та визначення функцій належності відповідних нечітких множин. В результаті кожному фактору буде відповідати п'ятірка виду [4]:

$$L_i = \langle x_i, T_i, U, G, M \rangle, \quad i = \overline{0, m}. \quad (2)$$

На наступному етапі відбувається побудова бази нечітких правил, які в залежності від кількості нечітких висловлювань в передумовах та висновках можуть мати одну із наступних структур [5]:

- SISO-структура: один вхід та один вихід;
- MISO-структура: багато входів та один вихід;
- MIMO-структура: багато входів та багато виходів.

Аналіз задачі прийняття управлінських рішень в форматі ризик-менеджменту у сфері протидії ВІЛ/СНІДу показав, що для неї доцільним є використання MISO-структури.

Таким чином, база нечітких правил матиме вигляд:

$$R_s : \text{якщо } x_1 = A_{1s} \text{ і } x_2 = A_{2s} \text{ і } \dots \text{ і } x_m = A_{ms} \text{ то } x_0 = A_{0s}, \quad j = \overline{1, s} \quad (3)$$

де  $x_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) – значення вхідних лінгвістичних змінних, які відповідають факторам з множини  $K$ ;  $A_{ij}$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, s}$ ) – нечіткі множини, які визначені як терми вхідних лінгвістичних змінних;  $s$  – кількість нечітких правил в базі;  $x_0$  – значення вихідної лінгвістичної змінної;  $A_{0j}$  ( $j = \overline{1, s}$ ) – нечіткі множини, що відповідають термам вихідної лінгвістичної змінної.

Блок нечіткого логічного виводу утворює один з алгоритмів нечіткого логічного виводу, серед яких є такі [5]: алгоритм Мамдані; алгоритм Сугено; алгоритм Цукamoto; алгоритм Ларсена. Кожен з алгоритмів має свої особливості щодо умов застосування, формату бази знань та етапу дефазифікації тощо. Процес дефазифікації полягає у представленні результатів нечіткого логічного виводу у чіткому виді.

Таким чином, в результаті використання нечіткої продукційної моделі, буде отримано одне із значень вхідної змінної, яке буде характеризувати прийняте управлінське рішення.

Розглянемо наступну задачу прийняття рішень: на сайті тестування на ВІЛ (кабінет «Довіра») закінчилися ШТ (швидкі тести на ВІЛ), якими проводилося тестування осіб, що звернулися на сайт. Наступна поставка тестів (централізоване постачання) затримується із-за проблем з процедурою постачання – орієнтовно на місяць. Із даної ситуації (за оцінкою особи, що приймає рішення є низка варіантів виходу:

1. Тимчасово призупинити тестування.
2. Проводити забір матеріалу (сироватки крові) і їх заморожування і депонування до моменту отримання тестів (необхідна наявність холодильника для збереження).
3. Перевести тестування на інший сайт, який знаходиться поруч територіально (необхідні транспорт та кошти) тощо.

Систему факторів, які впливають на успішність прийнятого рішення утворюють такі:

- наявність умов матеріально-технічної бази: холодильник, можливість доставки матеріалу на іншу базу, відстань до сусіднього сайту і наявність транспортного сполучення тощо;
- нормативне забезпечення та інші.

Таким чином, представлення факторів у вигляді лінгвістичних змінних (2) та побудова інструкцій прийняття рішень у формі (3) дозволить забезпечити прийняття ефективних управлінських рішень в форматі ризик-менеджменту у сфері протидії ВІЛ/СНІДу.

### Література

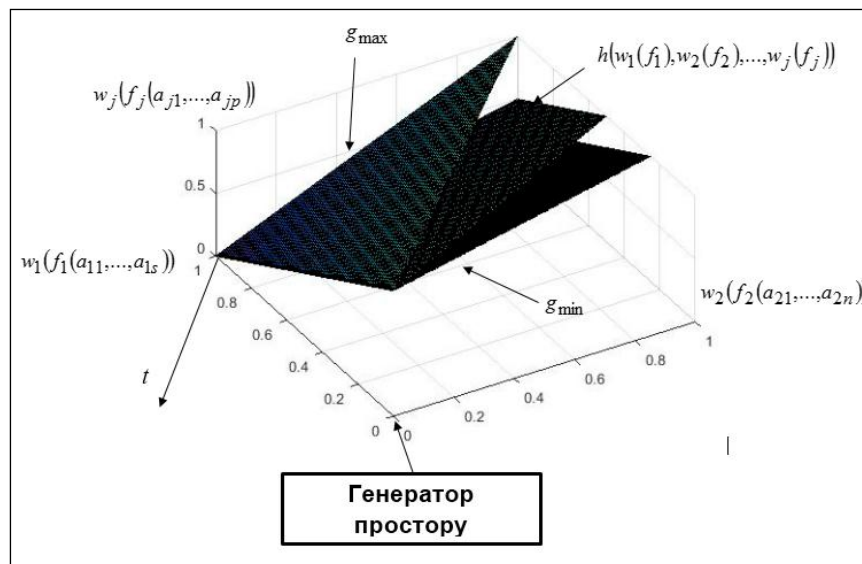
1. Про затвердження Загальнодержавної цільової соціальної програми протидії захворюванню на туберкульоз на 2012-2016 роки: Закон України 16 жовтня 2012 року № 5451-VI.
2. Сыздыкова А. М. Управление рисками в системе здравоохранения / А.М. Сыздыкова, А.К.Турганбаева, Т.С.Карибеков // Клиническая медицина Казахстана. – 2014. - № 3 (33). – С.13 – 16.
3. Ганина Я. О. Нечеткая продукционная модель для оценки профессиональных качеств морских специалистов / Я. О. Ганина, В. В. Лаптев // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016.– № 3. – С. 101 – 108.
4. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. М: Радио и связь, 1982. – 432 с.
5. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / В.В.Борисов, В.В.Круглов, А.С.Федулов. М: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.

Мурга М.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
Навчально-науковий комплекс «Інститут прикладного системного аналізу»

## ПРОСТІР ЗІ ЗМІННИМ БАЗИСОМ ПРИНАЛЕЖНОСТЕЙ ОЗНАКАМ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

У порівнянні з технічними процесами, фінансово-економічні характеризуються значно більшою нестабільністю динаміки. В той час, коли в більшості технічних систем таку нестабільність можна віднести до шумових впливів оточуючого середовища та описати випадковою компонентою моделі процесу з деяким законом розподілу, нестабільність фінансово-економічних систем зумовлюється безперервною появою нових факторів, які впливають на них. Ці фактори можуть бути описані як кількісно, так і якісно. Окрім того, звичайна згортка результатів методів прогнозування не враховує динаміку зміни її ваг, в якій зазвичай присутні стійкі закономірності. З цих причини доцільно доповнювати аналіз фінансово-економічних систем в просторі станів ([1-4]), прогнозуванням просторі приналежностей зі змінним набором базису, схематичне зображення якого можна побачити на Рис. 1.



1.

Рис. 1. Схема простору приналежностей зі змінним набором базису

На рис. 1 використані наступні позначення:  $w_i$  - значення належності процесу стану, який описується показником  $f_i(a_{i1}, \dots, a_{iu})$ , що може мати як кількісну так і якісну природу.  $h(w_1(f_1), w_2(f_2), \dots, w_j(f_j))$  - залежність між значеннями приналежностей показників, яка встановлена на підставі аналізу досліджуваних процесів.

$g_{\min}$  та  $g_{\max}$  - верхня та нижні границі більш загальної залежності  $g(t, w_1, \dots, w_j, f_1, \dots, f_j)$ , яка обмежує коливання приналежностей  $w_i$  показників процесів, між якими встановлена залежність  $h(w_1(f_1), w_2(f_2), \dots, w_j(f_j), t)$ .

Набор  $(f_1, \dots, f_j)$  не є постійним та неперервно змінюється генератором простору на основі аналізу даних процесів та даних зі зовнішніх джерел.

Слід зазначити, що механізм розрахунку  $w_i$  теж повинен змінюватися з часом і визначатися залежністю (1):

$$w_{it}(f_i) = d_i(t, w_{0i}(f_i), \dots, w_{(t-1)i}(f_i), g), \quad (1)$$

де  $t$  - поточний момент часу,  $w_{0i}(f_i)$  - функція належності показнику процесу після його додавання до базису простору генератором,  $w_{\bar{a}i}(f_i)$  - механізм розрахунку значення приналежності показнику процесу  $f_i$  в момент часу  $\tau$ .

Таким чином, до функцій генератору простору можна віднести наступні:

1. Знаходження показників  $f_i$ ;
2. Визначення  $w_{i0}$ ;
3. Визначення  $d_i$ .

Для виконання цих функцій, на даний момент, єдиним шляхом визначення цих елементів уявляється підтримка словників методів.

До елементів словнику визначення  $f_i$  можна віднести:

1. Методи класифікації та кластеризації;
2. Методи встановлення взаємозв'язків між показниками процесів: кореляційний (беручи до уваги, що показники можуть бути не обов'язково визначені чисельно) та дисперсійний аналізи.

До елементів словнику визначення  $w_{i0}$  можна віднести:

1. Гаусівську, трикутну та трапецивидну функції приналежності;
2. S та Z-подібні;
3. Різні метрики відстаней, які можна застосовувати в алгебраїчному просторі.

До елементів словнику визначення  $d_i$  можна віднести:

1. Жорстко задана модель в момент додавання показника до базису.
2. На підставі оцінки часу знаходження показника в базисі (можна вважати частковим випадком першого елемента).
3. Схема адаптації генератором.

Задача прогнозування показників процесу, чи процесів, таким чином зводиться до відтворення поверхні  $h(w_1(f_1), w_2(f_2), \dots, w_j(f_j), t)$  на основі наявних даних, отриманих в попередні проміжки часу та  $g(t, w_1, \dots, w_j, f_1, \dots, f_j)$  - межі, в яких допускаються відхилення реальних значень приналежностей від  $h$ . Часте перетинання границь  $g$  може бути сигналом генератору про необхідність пошуку нового показника, що впливає на процеси або адаптації базису простору.

Для відновлення  $h$  можуть бути використані ті ж методи, які використовуються в просторі станів процесів.

При додаванні елементів до базису простору доцільно використовувати каскадні моделі ([3]) – це відкидає необхідність повторного відновлення вже визначених залежностей разом з урахуванням нових. Окрім того, при видаленні елементів з базису усувається елемент лише одного з каскадів і немає необхідності переналаштування всієї їх системи.

### Література

1. Бідюк П.І., Романенко В.Д., Тимошук О.Л. Аналіз часових рядів (навчальний посібник) - К.: Політехніка, 2010. - 317 с.
2. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси: детерменированное наблюдение и стохастическая фильтрация – пер. с нем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 200 с.
3. Згуровский М.З., Зайченко Ю.П. Основы вычислительного интеллекта. - К.: НВП "Видавництво "Наукова думка" НАН України", 2013. - 408 с.
4. Снитюк В.Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми: Навчальний посібник. – К.: "Маклаут", 2008. – 364 с.



## **СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПЕРЕМЕННЫХ УРАВНЕНИЯ $X^m + Y^m = Z^m$ В МНОЖЕСТВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ**

**1. Введение.** Предметом исследования в данной работе является совместимость уравнения  $X^m + Y^m = Z^m$  (1) в множестве натуральных чисел  $N^+$  при  $m \geq 3$  простое число.

Данная работа продолжает исследования, начатые в работах [1,2,3,4,5], где установлено отсутствие решений уравнения (1), являющегося симметрическим многочленом, при некоторых ограничениях, накладываемых на переменные  $X, Y, Z$ . Полученные результаты структуризации переменных  $X, Y, Z$  с целью установления аналитических соотношений между компонентами переменных, выполнение которых является необходимым условием совместности уравнения (1) приведены ниже.

### **2. Необходимые сведения.**

В работах [1, 2] установлено, что всегда выполнены условия:

$НОД(X, Y) = НОД(X, Z) = НОД(Y, Z) = НОД(X, Y, Z) = 1$  (2) и вследствие этого  $НОД(X, S_1) = НОД(Y, S_1) = 1$  (3), где  $S_1 = X + Y$ , а также имеет место следующая структура переменных  $X, Y, Z$ :  $X = 2mT + t$ ,  $Y = 2mT + t'$ ,  $Z = 2mT + t + t' = X + Y - 2mT$  и в силу условия (2) имеет место

$НОД(X, t') = НОД(Y, t) = НОД(t, t') = 1$  (4), вычислены значения  $X^m$ ,  $Y^m$ ,  $Z^m$ ,  $(2mT)^m$  и как следствие, имеют место сравнения:

$$X^m \equiv 0 \pmod{t} \quad (5) \quad \text{и} \quad Y^m \equiv 0 \pmod{t'} \quad (6) \quad (2mT)^m \equiv 0 \pmod{mtt'} \quad (7).$$

В работах [1,2] установлено принадлежность множества простых делителей числа  $S_1$  множествам простых делителей чисел  $(2mT)$ ,  $(t+t')$ ,  $Z$ , а также имеет место сравнение:  $(2mT)^m \equiv (t+t')^m \equiv Z^m \equiv 0 \pmod{S_1}$  (8) и всегда  $Z^m \not\equiv 0 \pmod{S_1^2}$ . (9)

В работах [1,2,3] показана несовместимость уравнения (1) на множестве положительных натуральных чисел  $N^+$  при  $m \geq 3$  простое число в некоторых конкретных случаях при следующих ограничениях:  $Z$  является простым числом либо произведением конечного числа разных простых множителей, а также при граничном условии  $(2mT) = 2m$ .

В работе [4] определены два возможных множества значений параметров  $t$  и  $(t')$ :  $(t_{\min.}) \geq 2$ ,  $(t'_{\min.}) \geq 1$ , то есть либо оба параметра являются натуральными числами, каждое из которых больше единицы, либо меньшее из чисел  $(t')$  может быть равно единице, и доказано, что  $t \not\equiv t' \pmod{m}$  (10).

В работе (5) доказано что для любого простого  $m \geq 3$ , число  $X$  не делится нацело на число  $t$ , а число  $Y$  не делится нацело на число  $t'$ , если числа  $t$  и  $t'$ , больше единицы, т.е. имеют место выражения:  $X \not\equiv 0 \pmod{t} \forall t > 1$  (11) и  $Y \not\equiv 0 \pmod{t'} \forall (t') > 1$  (12) и доказана следующая лемма.

Если уравнение  $X^m + Y^m = Z^m$  совместно в множестве натуральных чисел  $N^+$  при  $m \geq 3$  – простое число, то имеет место соотношения для наибольших общих делителей переменных  $X, Y$  и их структурных компонент  $(2mT)$ ,  $t$  и  $(t')$ , а именно:  $НОД(X, t) = \alpha$  (13)  $НОД(2mT, t) = \alpha$  (14),  $НОД(2mT, X) = \alpha$  (15), а  $НОД(Y, t') = \beta$  (16)  $НОД(2mT, t') = \beta$  (17) и  $НОД(2mT, Y) = \beta$  (18).

Поэтому из леммы и выражения (7) следует сравнение  $2mT \equiv 0 \pmod{\alpha\beta}$ , то есть имеет место выражение:  $[2mT = d\alpha\beta]$  (19), - где  $d \in N^+$ . Причем числа  $\alpha$  и  $\beta$  в силу

условий (2) и (4) являются взаимно простыми, а также каждый из множества разных простых делителей числа  $(t+t')$  является взаимно простым с каждым из множества разных простых делителей числа  $(tt')$  в силу условия  $\text{НОД}(t,t')=1$ .

Наибольший общий делитель чисел  $(2mT)$  и  $(t+t')$ , равный числу  $r$ , в силу условия (8) всегда больше единицы  $1 < r \leq (t+t')$ , и поэтому  $(t+t') = r\varphi$  (20). В силу условия (4) имеет место  $\text{НОД}(r\varphi; \alpha\beta) = 1$  (21), а также соотношение  $d = \delta r$  и, соответственно,  $(2mT) = \delta r \alpha \beta$  (22) при условии  $\text{НОД}(\varphi; \delta \alpha \beta) = 1$ . (23)

Доказана **Теорема 1**. Необходимыми условиями существования решений уравнения  $X^m + Y^m = Z^m$  в множестве  $N^+$  для всех простых  $m \geq 3$  являются следующие:

- 1)  $\text{НОД}(r, \varphi) = 1$  либо  $\text{НОД}(r, \varphi) = 2$ ;
- 2) если  $\text{НОД}(r, m) = 1$ , то существует единственное условие:  $S_1 = r^m$ ;
- 3) если  $r \equiv 0 \pmod{m}$ , то существует два условия:  $(r)^m = mS_1$ , или же  $r^m = S_1$ .

В данной работе приведен **результат** структуризации параметров переменных  $(t)$  и  $(t')$ , а именно, необходимым условием существования нетривиальных решений уравнения  $X^m + Y^m = Z^m$  в множестве натуральных чисел  $N^+$  при  $m \geq 3$  является сравнимость переменных  $(t)$  и  $(t')$  соответственно по модулям  $(\alpha^m)$  и  $(\beta^m)$ , или следующее аналитическое выражение для данных переменных:  $t = \alpha^m$  и  $t' = \beta^m$ . Как следствие, при значении параметров переменных, когда  $\min(t, t') > 1$  являются следующие аналитические выражения для значения переменных  $X, Y, Z$ :

$X = \delta r \alpha \beta + \alpha^m$ ;  $Y = \delta r \alpha \beta + \beta^m$ ;  $Z = \delta r \alpha \beta + \alpha^m + \beta^m$ ; а для второго возможного множества значений параметров:  $\min(t, t') = 1$ , пусть  $t' = 1$ , имеет место:

$$X = \delta r \alpha \beta + \alpha^m; \quad Y = \delta r \alpha \beta + 1; \quad Z = \delta r \alpha \beta + \alpha^m + 1.$$

Установленных соотношений между компонентами переменных  $X, Y, Z$  уравнения (1) недостаточно для доказательства факта отсутствия существования нетривиальных решений уравнения  $X^m + Y^m = Z^m$  в множестве натуральных чисел  $N^+$  при  $m \geq 3$ .

## Литература

1. Кривый С.Л., Невмержицкий А.В. О несовместимости одного вида нелинейных уравнений в множестве натуральных чисел // Проблемы программирования. - 2003. - № 3. - С. 41- 43.
2. Кривый С.Л., Невмержицкий А.В. Несовместимость одного вида нелинейных уравнений в множестве натуральных чисел // Праці міжнар. конф. «Питання оптимізації обчислень». – К., 2005. - С.116-117.
3. Кривый С.Л., Невмержицкий А.В. Несовместимость одного типа уравнений в множестве натуральных чисел //36. наук. праць Хмельницького нац. ун-ту. – 2005- Вип. 1, № 3. - С. 57- 62.
4. Кривый С.Л., Невмержицкий А.В. О необходимых условиях существования решений уравнения  $X^m + Y^m = Z^m$  в множестве натуральных чисел // Праці міжнар. симп. «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXIII)». – К., 2007. - С.213-215.
5. Кривый С.Л., Невмержицкий А.В. Необходимые условия существования решений уравнения  $X^m + Y^m = Z^m$  в множестве натуральных чисел // Праці міжн. симп. «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV)». – К., 2009. – Т. 1, С. .387-393.

## ПРО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ДО ЗАДАЧІ АВТОМАТИЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Визначення оптимальної кількості кластерів для набору даних є одним з найбільш складних аспектів процесу кластеризації. Для більшості оптимізаційних методів необхідно, щоб користувач вказав кількість кластерів, а ієрархічні методи, як правило, здійснюють серію кластеризацій від 1 до  $n$  кластерів, не вказуючи при цьому найбільш доречної кількості кластерів. Тим не менш, ця кількість в загальному випадку невідома користувачеві.

У даній роботі ставиться задача автоматичного розбиття заданої вибірки об'єктів на оптимальну кількість  $k$  непустих кластерів за схожістю ознак таким чином, щоб об'єкти з різних кластерів відрізнялися між собою, а в рамках одного кластера були подібні. Для розв'язання цієї задачі проблема кластеризації розглядається як задача оптимізації функції оцінки якості кластеризації. Отримана задача оптимізації буде NP-складною при  $k > 3$ , тому для її розв'язання необхідно використовувати евристичний алгоритм. Метод диференціальної еволюції (DE) [1] є стохастичним популяційним алгоритмом, який підходить для розв'язання таких задач, але для більш ефективної роботи методу було обрано модифікований алгоритм диференціальної еволюції з самоадаптацією параметрів (jDE) [2].

Для застосування методу DE до задачі автоматичної кластеризації, необхідно вибрати такий спосіб кодування розбиття набору даних дійсним вектором, при якому кількість кластерів може змінюватися динамічно. Було обрано кодування на основі центроїдів, в якому центру кожного кластера присвоюється поріг активації ( $0 < T_{ij} < 1$ ) таким чином, що дозволяє цим порогам брати участь в процесі оптимізації [3]. Якщо поріг активації  $T_{ij} > 0.5$ , відповідний центр кластера  $m_{ij}$  бере участь в кластеризації.

Метою роботи було дослідження ефективності описаного методу автоматичної кластеризації. Результати його роботи порівнювались з результатами роботи ієрархічного агломеративного алгоритму для оцінки якості рішення і вміння знаходити оптимальну кількість кластерів. Для оцінки якості алгоритмів було обрано критерій Деві-Болдіна [4].

Для проведення аналізу створено програмне забезпечення, що реалізує описаний метод. Для підрахунку відстані між об'єктами використовується Евклідова метрика. В якості цільової функції оптимізації обрано та реалізовано CS індекс [5].

Було проведено ряд тестових експериментів на п'яти наборах реальних даних з різноманітною кластерною структурою. Проведений порівняльний аналіз алгоритмів показав, що на всіх наборах даних метод автоматичної кластеризації показує кращі результати ніж ієрархічний алгоритм. Також, результати показали, що цей метод може, майже завжди, знаходити оптимальну кількість кластерів.

### Література

1. Storn R., Price K. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces // «Global Optimization», 1997, vol. 11, № 4. – pp. 341-359.
2. Brest J., Greiner S. та ін. Self-Adapting Control Parameters in Differential Evolution: A Comparative Study on Numerical Benchmark // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2006, vol. 10, no. 6. – pp. 646-657.
3. Das S., Konar A. Automatic image pixel clustering with an improved differential evolution // Applied Soft Computing, 2006, vol. 9, no. 1. – pp. 226-236.
4. Davies D. L., Bouldin D. W. A cluster separation measure // IEEE Transactions on In Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1979, vol. 1, no. 2. – pp. 224-227.
5. Chou C. H., Su M. C., Lai E.. A new cluster validity measure and its application to image compression // Pattern Analysis and Applications, 2004, vol. 7, no. 2. – pp. 205-220.

## **ФОРМАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЙРО-МОДЕЛІ СУБ'ЄКТА ПРАВА**

Вступ. Глибоке дослідження характеристик юридичної інформації, в тому числі розробка теоретичних засад моделювання процесів правочину та подання юридичних знань є актуальною проблемою. Успішне вирішення цієї проблеми може суттєво впливати на досконалість, оперативність та результативність формалізації юридичних законів, особливо комп'ютерно-інформаційному супроводженні взаємодії фізичних та юридичних осіб на основі відповідних інструментальних засобів експертної та телекомунікаційної техніки, а також прогресивних інформаційних технологій.

Суб'єкт права (СП) є важливим інформаційно-комунікаційним компонентом сучасного інформатизованого та комп'ютеризованого суспільства. Проблемним питанням при цьому є формалізація та розробка структури нейромоделі суб'єкта права шляхом систематизації вхідних та внутрішніх інформаційних потоків на основі яких формуються вихідні сигнали у процесі прийняття рішень людиною – суб'єкта права.

Відома інформаційна модель суб'єкта права в інформаційних системах у процесі прийняття рішень про стани помислових об'єктів, який згідно визначення Касьянова В.О. (рис. 1) [1] містить інтелектуальний атрибут  $j$ -го суб'єкта взаємодії із зовнішнім інформаційним середовищем шляхом вхідного сприймання різного числа зовнішніх інформаційних комунікаційних впливів, які можуть формувати його поведінку чи реакцію. Недоліком такої інформаційної моделі суб'єкта є обмежені функціональні можливості обумовлені відсутністю вихідного інформаційно-комунікаційного зв'язку суб'єкта права з зовнішнім інформаційним середовищем, відсутністю внутрішніх інтелектуальних впливів на формування реакції суб'єкта, а також відсутність матеріальних вхідних та вихідних комунікацій суб'єкта з зовнішнім матеріальним середовищем інформаційного суспільства.

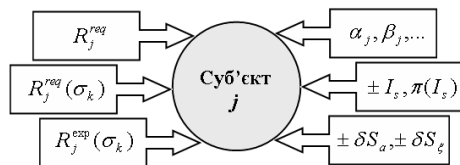


Рис. 1 Інформаційна модель оператора – суб'єкта права



Рис.2. Інформаційні потоки взаємодії оператора з зовнішнім середовищем

Відома інформаційна модель СП є модель суб'єкта - оператора (рис.2) [2], яка містить інтелектуальний атрибут оператора? який з'єднаний з вхідними та вихідними інформаційними та матеріальними комунікаційними взаємодіями з зовнішнім інформаційним та матеріальним середовищем суспільства. Недоліком такої інформаційної моделі СП є обмежені функціональні можливості обумовлені відсутністю внутрішніх інтелектуальних впливів на формування реакції оператора суб'єкта, що не відповідає Марківській моделі з пам'яттю а також відсутністю системи коефіцієнтів значимості кожної вхідної та внутрішньої комунікаційної взаємодії.

Запропонована інформаційна нейро-модель СП, яка містить інтелектуальний атрибут, який з'єднаний з вхідними та вихідними інформаційними та матеріальними взаємодіями з зовнішнім інформаційним та матеріальним середовищем суспільства взаємодій вхідних інформаційних та матеріальних потоків додатково містить внутрішні інтелектуальні взаємодії з середовищем пам'яті та свідомості суб'єкта та систему коефіцієнтів та порогових функцій значимості всіх вхідних та внутрішніх комунікаційних взаємодій.

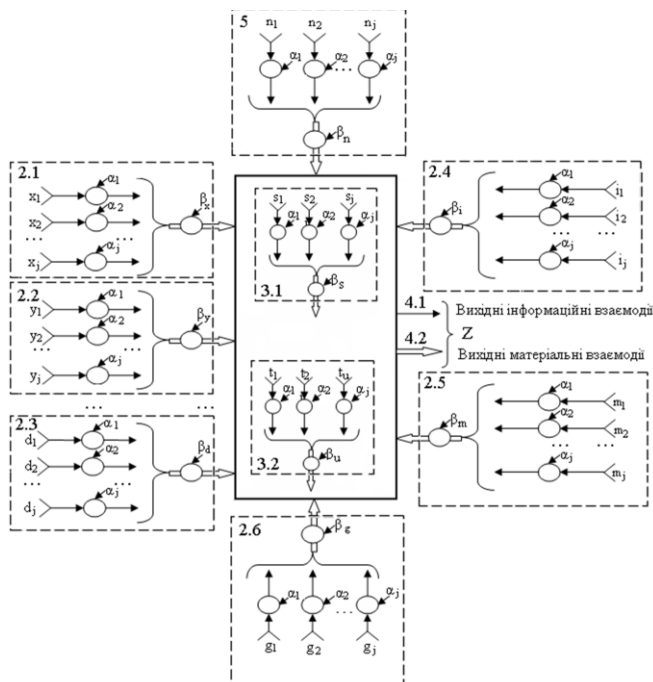


Рис. 3. Інформаційна нейрон-модель суб'єкта права

Структура інформаційної нейро-моделі суб'єкта права показана на рис. 3 де: 1- інтелектуальний атрибут суб'єкта права (який включає його пам'ять, знання, розум, свідомість та ін.); 2÷5 – відповідно: (21÷26) – зовнішні входні; (31 ÷32) – внутрішні взаємодії; (41 ÷42) – зовнішні вихідні інформаційні та матеріальні взаємодії; 5 – інші непередбачені не ідентифіковані зовнішні взаємодії, які виникають у конкретному середовищі інформаційних та матеріальних взаємодій суб'єкта права при зміні соціального середовища, законодавства або форс-мажорних обставинах;  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_j)$  –

коефіцієнти значимості зовнішніх та внутрішніх комунікаційних

взаємодій;  $\beta_x, \beta_y, \beta_a, \beta_i, \beta_m, \beta_g, \beta_s, \beta_t, \beta_n$  - відповідно порогові значення впливів сумарних зважених згідно коефіцієнтів  $\alpha_j$  зовнішніх та внутрішніх взаємодій на які реагує суб'єкт права;  $j$  – довільне число факторів кожної зовнішньої та внутрішньої взаємодії суб'єкта права згідно, наприклад, наступних типів взаємодій: 2 – зовнішні входні взаємодії: 2.1 –  $(x_1, x_2, \dots, x_j)$  – діючі хаотичні випадкові; 2.2 –  $(y_1, y_2, \dots, y_j)$  – управлінські, законодавчі; 2.3 –  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_j)$  – доцільні економічні; 2.4 –  $(i_1, i_2, \dots, i_j)$  – інформаційні; 2.5 –  $(m_1, m_2, \dots, m_j)$  – матеріальні; 2.6 –  $(g_1, g_2, \dots, g_j)$  – фактори життєвого виживання. 3 – Внутрішні взаємодії: 3.1 –  $(s_1, s_2, \dots, s_j)$  – функція страху та оцінки результату своєї реакції на зовнішні інформаційні та матеріальні взаємодії; 3.2 –  $(t_1, t_2, \dots, t_j)$  – таємна інформація, яка несвідомо або ціленаправлено не відображається у вхідних інформаційних та матеріальних потоках взаємодій. 4 – вихідні зовнішні взаємодії: 4.1 – вихідний інформаційний потік; 4.2 - вихідний матеріальний потік. 5 –  $(n_1, n_2, \dots, n_j)$  – непередбачені, недіючі або прогнозовані не ідентифіковані потоки зовнішніх взаємодій. Реакція інтелектуального суб'єкта права (ІСП) описується виразом:  $Z = \sum_{i=1}^m B_i \sum_{j=1}^j \alpha_j$

**Висновок.** Запропонована інформаційна нейро-модель суб'єкта права дозволяє, шляхом визначення значень інформативності різних входних, вихідних та внутрішніх інформаційних та матеріальних комунікаційних взаємодій суб'єкта права, а також усвідомлення ним результату його комунікаційного впливу на зовнішнє та внутрішнє середовище шляхом прийняття порогового рішення, ідентифікувати та передбачити поведінку та комунікаційну взаємодію  $j$ -го суб'єкта права, з іншими суб'єктами права соціального середовища та інформаційного суспільства.

### Література

1. Касьянов В.О. Суб'єктивний аналіз: Монографія. - К:НАУ, 2007.
2. Николайчук Я.М., Возна Н.Я, Пітух І.Р. / Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем. – Тернопіль: Тернограф, 2010, с.144.
3. Николайчук Л.М. Теоретичні основи юриспруденції приватної власності в контексті системних об'єктів комп'ютерних мереж. Вісник Хмельницького національного університету, №4, Ч.1, Т.2.- 2005. – С.56-58.

## **ПРО ФОРМАЛІЗАЦІЮ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ОБСТЕЖЕННІ ТЕРИТОРІЇ**

Задача маршрутизації транспорту (Vehicle Routing Problems, VRP) полягає у виявленні та оптимізації маршрутів до заданих точок для транспортних засобів (ТЗ), що знаходяться у депо [1]. Предметом розгляду стала формалізація задачі маршрутизації ТЗ при необхідності обстеження певної території, коли конкретні точки для відвідування не задані.

Маршрутизація транспорту відноситься до комбінаторних задач, які можна подавати як оптимізаційні задачі на графі  $G(V, E)$ . Маршрутизація ТЗ є актуальною NP-складною науковою задачею [1-2]. Але у даному випадку відсутні конкретні точки для відвідування, є лише територія, яку слід обстежити. На цій території можуть бути певні точки особливого інтересу, що мають бути обстежені обов'язково. Також необхідно обстежити якомога більшу частину усієї території з урахуванням обмежень (пальне та кількість ТЗ).

Таким чином, з урахуванням вищезазначеного, метою дослідження є формалізація задачі маршрутизації ТЗ при необхідності обстеження певної території задля того, щоб оптимізувати значення результуючої цільової функції шляхом максимізації відсотку дослідженої території та мінімізації кількості ТЗ із заданими характеристиками. Особливостями є те, що може бути заданий ряд точок, які слід обов'язково обстежити. Крім того, що обмежена не лише кількість ТЗ, але й їх запаси пального.

Опишемо математичну модель поставленої задачі. Територія, що має бути обстежена, розбивається на квадрати, розмір квадрату дорівнює зоні обстеження ТЗ з однієї точки – зоні чіткої видимості з центру цього квадрату. В центрі кожного з цих квадратів ставиться точка, формуючи таким чином множину точок. Тоді у випадку, якщо ТЗ відвідають кожну з цих точок, уся територія буде повністю обстежена. Місця особливого інтересу зсуваються до центрів квадратів, в яких вони знаходяться. У результаті разом з координатами депо ці точки формують підмножину множини точок  $V$ .

Таким чином, ми маємо заданий ряд точок, які треба відвідати для обстеження території. Вони представляють собою множину точок  $v_s \dots v_n$ . Є множина депо  $v_0, \dots, v_p$ , або точок, з яких можуть стартувати та в яких можуть завершувати свої маршрути ТЗ, не обов'язково в тому ж самому депо. На основі цих двох множин будується, накладений на карту.

$V = \{v_0, \dots, v_p, v_s, \dots, v_n\}$  – множина вершин.  $v_0, \dots, v_p$  – депо,  $v_s, \dots, v_n$  – точки, що бажано відвідати;

$V_e = \{v_s, \dots, v_k\}$  – підмножина множини  $V$ , складається точок, що слід обов'язково відвідати;

$E$  – множина ребер  $\{(v_i, v_j) \mid i \neq j\}$ ;

$C$  – матриця невід'ємних відстаней (вартості шляху)  $c_{ij}$  між вершинами;

$m$  – кількість ТЗ;

$R_i$  – маршрут  $i$ -ого ТЗ ( $i=1, \dots, m$ );

$C(R_i)$  – вартість маршруту  $R_i$ ;

$q_i$  – максимальна дальність пересування  $i$ -ого ТЗ, визначена об'ємом наявного пального.

З кожною вершиною  $V_i$  асоційована деяка її вага  $K_i$ , що визначає важливість її відвідування. Завдання маршрутизації полягає у визначенні такої множини маршрутів  $m$  з мінімальною загальною вартістю, щоб кожна вершина множини  $V_e = \{v_s, \dots, v_k\}$  була обов'язково відвідана. Після цього ТЗ мають відвідати якомога більшу кількість точок ( $v_k \dots v_n$ ). Крім того, всі маршрути повинні починатися і закінчуватися в будь-якій точці з множини депо ( $v_0, \dots, v_p$ ).

Розв'язком задачі є розбиття множини  $V$  на підмножини (маршрути) та виконання порядку обходу на кожній підмножині (перестановка вершин маршруту). Розв'язки задачі, при яких не всі точки з множини  $V_e$  відвідуються, є недопустимими.

Цільовою функцією в загальному випадку є вартість розв'язку задачі:

$$F(R) = \sum C(R_i), \quad (1)$$

де  $C(R_i)$  – сума довжин ребер маршруту  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ .

У класичному варіанті потрібно знайти допустимий розв'язок з мінімальною вартістю. Також в даній роботі вводяться такі обмеження для умов задачі:

- кожна вершина множини  $V_e$  обов'язково має бути відвідана;
- довжина кожного маршруту  $R_i$  не повинна перевищувати максимальної дальності руху ТЗ  $q_i$ .

Таким чином, ця задача зводиться до задачі *Multiple Depot VRP*, *MDVRP* (або транспортна задача з декількома депо) з додатковими обмеженнями.

Для розв'язування задачі в першу чергу відвідуються усі критично важливі точки з підмножини  $V_e$ . Далі (після того, як усі критично важливі точки відвідані) ТЗ мають відвідати якомога більше некритичних точок з множини  $V$ . Для побудови оптимального маршруту слід оцінити ваги ребер. При цій побудові маршруту також враховуються описані вище обмеження.

Визначення відстані між вершинами відбувається за стандартною формулою для прямокутної системи координат. Для розв'язання поставленої задачі та мінімізації цільової функції (1) слід обраним методом побудувати для подальшої оптимізації початковий набір маршрутів, що включатиме маршрут для кожного ТЗ. Маршрути можна представити у наступному вигляді:

$$V_I = \{\{v_{11} \dots v_{1N}\}, \{v_{21} \dots v_{2D}\}, \dots, \{v_{m1} \dots v_{mk}\}\}.$$

Кожен з векторів відноситься до окремого ТЗ. Разом вони формують загальний вектор маршрутів, що підлягає обрахунку цільової функції та оптимізації.

Сума вартостей відповідно до формули (1) складе значення цільової функції.

Таким чином, ми розвиваємо проблему, що розглядається, одразу у двох напрямках – це й задача маршрутизації ТЗ з декількома депо і класична оптимізаційна задача на просторі перестановок. Для класичної задачі відомі ефективні та швидкі алгоритми пошуку наближених розв'язків, що дозволить значно спростити розв'язування задачі маршрутизації ТЗ, яка є NP-складною задачею.

В результаті виконаної формалізації задачі маршрутизації ТЗ при необхідності обстеження певної території її було зведено до класичної оптимізаційної задачі на просторі перестановок. Побудована модель застосована при розробці алгоритмів розв'язування практичних задач.

## Література

1. Гуляницький Л. Ф., Самусь А. В. Решение N-методом задачи оптимизации маршрутов транспортных средств с временными окнами // Компьютерная математика. – 2012. – №2. – С.147-155.
2. Rahimi-Vahed Alireza, Teodor Gabriel Crainic, Michel Gendreau, and Walter Rei. A path relinking algorithm for a multi-depot periodic vehicle routing problem // Journal of Heuristics. – 2013. – 19(3). – P.497-524.

## АЛГОРИТМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

До застосування машинного навчання в області комп'ютерного зору звернулися вперше тоді, коли стало зрозуміло, що вже існуючі методи, такі як, пошук об'єктів за шаблоном або розпізнавання за особливими ознаками, не можуть вирішити задачу класифікації об'єктів на зображенні в цілому. Труднощі застосування подібних методів в першу чергу виникали через те, що будь-який алгоритм розпізнавання доводилося складати вручну, що призводило до перебору великої кількості варіантів класифікації. Більш того, можливо було лише проводити оцінку по осмисленими ознаками (колір, форма об'єкта), що не давало можливості стабільно розпізнавати об'єкти в різних схемах освітлення і в стані легкої деформації [1].

Використання методів машинного навчання дозволяє будувати більш складні і досконалі алгоритми розпізнавання на основі великої кількості зібраних даних.

Для вирішення даного завдання необхідно наступну інформацію: деяка кількість даних навчальної вибірки, кожен елемент вибірки описується набором ознак  $x$ , так званий вектор-ознака, для кожного елемента вибірки відома відповідь про приналежність його до одному з класів.

Машинне навчання допомагає вирішити наступні варіанти завдань: бінарна класифікація; багатокласова класифікація; регресія; кластеризація.

Рішення кожного завдання передбачає її ретельне вивчення, вибір найкращого методу або набору методів і підходів до їх реалізації. Для вирішення більшості типів завдань застосовується алгоритм  $k$ -середніх ( $k$ -means). Даний алгоритм, а саме його більш досконалі модифікації, найчастіше застосовуються для вирішення завдань кластеризації, тобто розбиття об'єктів вибірки на порівняно однорідні групи.

Безліч елементів векторного простору розбивається на заздалегідь відоме число кластерів  $k$ . Дія алгоритму таке, що він прагне мінімізувати суму квадратів евклідових відстаней між точками  $x_i$  і найближчими центрами кластерів  $m_k$ :

$$D(x, m) = \sum_{cluster} k \sum_{point i in cluster} k (x_i - m_k)^2$$

Основна ідея методу полягає в тому, що на кожній ітерації обчислюється центр мас для кожного кластера, отриманого на попередньому кроці [2]. потім вектори розбиваються на кластери знову відповідно до того, який з нових центрів виявився ближче. Алгоритм завершується, коли на якісь ітерації не відбувається зміни кластерів (рис. 1).

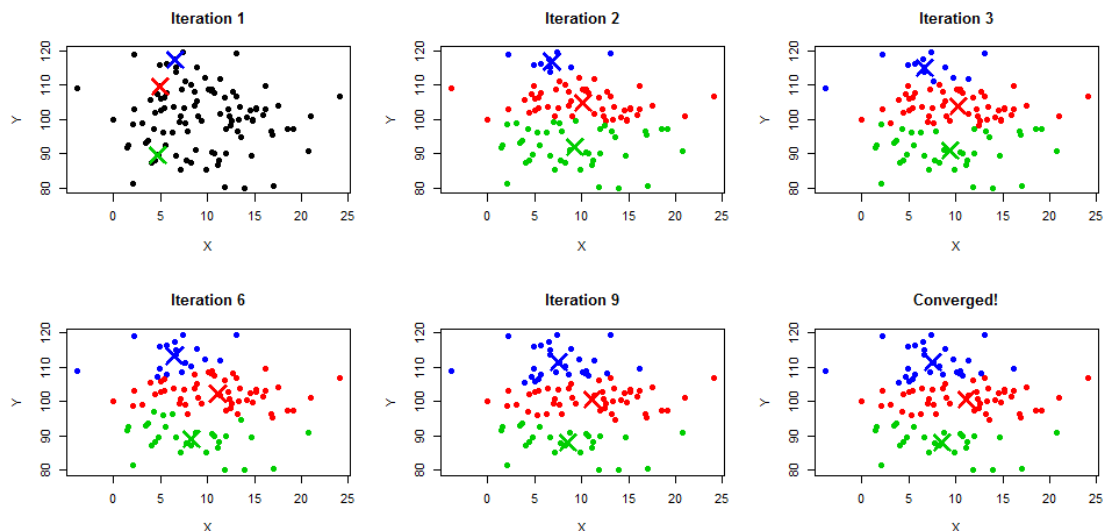


Рис. 1. - Кластеризація методом К-середніх



Головною перевагою алгоритму є простота його реалізації. В той же час його застосування супроводжується наступними проблемами: необхідно заздалегідь знати кількість кластерів, алгоритм дуже чутливий до вибору початкових центрів кластерів.

Одним з кращих на сьогоднішній день алгоритмів посилення класифікаторів є AdaBoost. Принцип роботи AdaBoost можна представити наступною послідовністю дій: навчається простий класифікатор, розраховується вага (ступінь впливу на остаточне рішення) класифікатора (вага обернено пропорційній ймовірності помилки класифікатора), виконується перерахунок ваг прикладів з вибірки, щоб в подальшому правильно розпізнати ті приклади, які були невірно розпізнані на даному етапі. Якщо приклад класифікувався правильно – вага зменшується, якщо неправильно – вага збільшується, алгоритм повторюється  $n$  раз. Лінійна сума класифікаторів утворює підсумковий класифікатор.

Математично вираз для підсумкового класифікатора записується так:

$$H(x) = \text{sign} \left( \sum_{k=1}^k a_k h_k(x) \right),$$

де  $h_k$  -  $k$ -й простий класифікатор, / - його вага, sign - оператор лінійної суми.

Кілька проміжних етапів побудови складного класифікатора з використанням AdaBoost представлені на рис. 2.

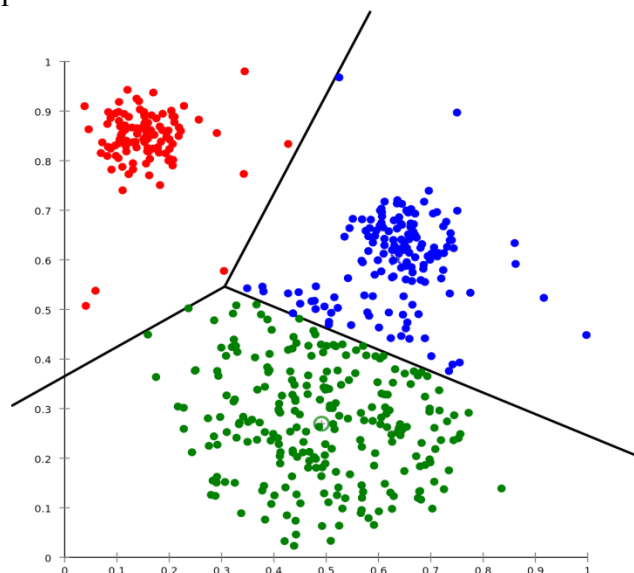


Рис. 2. - Побудова класифікатора з AdaBoost

Переваги алгоритму: універсальність, висока швидкість збіжності, можливість ефективної програмної реалізації і розпаралелювання, простота методу. Недоліки: складність визначення потрібної кількості ітерацій навчання, вимагає досить довгих навчальних вибірок.

Практично будь-які сучасні системи різних областей комп'ютерного зору, які передбачають використання технологій обробки великої кількості даних і машинного навчання, використовують представлені методи. На основі AdaBoost побудований детектор Віюлі-Джонса – один з найкращих методів розпізнавання осіб, який реалізований у всіх сучасних фотоапаратах та відеокамерах. Крім того, дуже популярний алгоритм розпізнавання під назвою «Мішок слів», реалізується з використанням різних модифікацій алгоритмів  $k$ -means та SVM.

В системах відстеження об'єкта на відео одним з найбільш точних і швидких є метод, заснований на застосуванні різних класифікаторів, будується на основі бустінга простих класифікаторів. Для кожного кадру відео вибирається класифікатор з кращими показниками помилки (false positive rate) і ймовірності виявлення (detection rate) [3].

## Література

1. Амосова Н.М. Нейрокомп'ютери та інтелектуальні роботи. К., 1991.
2. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М., 1992.
3. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : пер.польск. И.Д.Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 452 с.

**Онищенко А.М., Кудін Г.І.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
*kudin@unicyb.kiev.ua*

## МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН В МОДЕЛІ ТИПУ ЛЕОНТЬЄВА-ФОРДА

Особлива роль у розв'язанні принципових проблем природокористування, обґрунтування величини витрат на охорону довкілля з врахуванням соціально-економічного ефекту та розподілу їх у територіально-галузевому розрізі належить балансовим еколого-економічним моделям типу “витрати-випуск”. Побудова та реалізація балансу “витрати-випуск” на основі еколого-економічної балансової схеми передбачає розв'язання цілого комплексу фундаментальних проблем сучасної науки, до переліку яких належать, наприклад, розробка надійних методів прогнозування параметрів стану довкілля та критеріїв її якості, створення науково обґрунтованої методики визначення економічного збитку від забруднення довкілля. В такому сенсі постає необхідність побудови балансової еколого-економічної моделі, яка б включала витрати на реалізацію зобов'язань за Кіотським протоколом. При цьому невід'ємність за своїм змістом економічних та екологічних показників вимагає дослідження питання продуктивності балансової моделі, що пов'язано з властивостями технологічних матриць моделі при зміні галузевої структури еколого-економічної системи і що відображається в коефіцієнтах даних матриць, впливає на обсяги виробництва і вимагає розробки алгоритмів визначення розв'язку без розв'язання модельних рівнянь.

В доповіді запропоновано модифіковану балансову еколого-економічну модель типу “витрати-випуск” з врахуванням встановлених Кіотським протоколом обмежень на викиди парникових газів. Використано математичний апарат псевдо обернення матриць аналітичного визначення зміни обсягів валового випуску основного та допоміжного виробництв у випадку зміни галузевої структури.

## Література

1. Ляшенко І.М., Онищенко А.М. Методологія математичного моделювання економіко-екологічної взаємодії в умовах реалізації Кіотського протоколу // Економічна кібернетика. – 2011. – №4. – С.17-26.
2. Кириченко Н.Ф., Кудин Г.И. Анализ и синтез систем классификации сигналов средствами возмущений псевдообратных и проекционных операций // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №3. – С.47-57.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ НА ОСНОВІ КЛАСИФІКАЦІЇ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЕВА РІШЕНЬ

Виникнення природних пожеж пов'язано з чисельними збитками та загрозою для сталого розвитку і безпеки життя. Вони мають різний характер в залежності від умов виникнення пожежі, рослинного та ґрунтового покриву. Тому необхідним етапом оцінки небезпек є вибір факторів, які впливають на можливість виникнення пожежі та проведення їх класифікації за наявними ознаками. До основних груп природних факторів відносяться рельєф, рослинний покрив та кліматичні ресурси, які разом визначають особливості ландшафтної структури, та за певної вірогідності можуть сприяти виникненню пожеж [1; 2].

Фактор рельєфу містить декілька важливих складових. До таких складових відноситься висота фізичної поверхні над рівне моря, яка визначає інсоляцію та розчленованість рельєфу, ухил поверхні, експозиція схилів. Висота над рівнем моря впливає на рівень інсоляції поверхні, а також на ступінь розподілу опадів, вологи та температурного режиму.

Кліматичні фактори також відіграють провідну роль в оцінці небезпеки природних пожеж. Традиційно для моделювання ризиків пожеж враховують такий набір чинників як температурний режим, опади, баланс вологи, сонячна радіація, напрямок та швидкість вітру. При аналізі було враховано тільки основні чинники: середньорічну температуру в градусах Цельсія та середньорічну кількість опадів у міліметрах.

Основним фактором виникнення природних пожеж виступає рослинний та ґрунтовий покрив. В залежності від його характеру ранжується потенційна небезпека пожеж. В залежності від співвідношення ступеня покриття ґрунтового покриву та видів рослинності можливе виділення різних просторових угруповань за ступенем небезпеки виникнення пожеж. Основними ознаками для рослинності виступають типізація за показниками: лісовий покрив, чагарник чи трав'яний покрив; вічнозелений або сезонний покрив лісів, хвойні чи листяні ліси; співвідношення видів рослинності та ступінь проектного покриття ґрунтів. Для ґрунтового покриву важливими факторами є відкриті території, вологість ґрунтів та умови їх формування – водно-болотні угіддя та торфові родовища. Також велике значення мають форми землекористування: сільськогосподарські території різних типів, урбанізовані території, інші типи землекористування.

Для вирішення завдання класифікації численних факторів виникнення пожеж запропоновано використання методу побудови дерева рішень - способу представлення правил в ієрархічній, послідовній структурі, де кожному об'єкту відповідає єдиний вузол, що дає рішення. Нині існує дуже багато алгоритмів, що реалізують дерева рішень CART, C4.5, NewId, ITrule, CHAID, CN2 ті інші.

Алгоритм C4.5, що базується на алгоритмі ID3 (Iterative Dichotomizer), додає функцію трансляції дерева рішень в еквівалентні правила і рішення відносно значення завдання дослідження. C4.5 адаптує метод ентропії інформації і вибирає атрибут максимальної швидкості вилучення інформації та відповідно пороговий сегмент, як кращий атрибут тестування і порогове значення сегмента [3].

Продуктування дерева рішень:

1. Розрахунок інформаційної ентропії в класифікації.

Припустимо, що  $S$  буде числом прикладів в навчальних наборах, де є  $m$  класифікацій зразків  $C_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ).  $S_i$  є числом зразків в класифікації  $C_i$ . Формула обчислення має наступний вигляд:

$$I(S_1, S_2, \dots, S_m) = \sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i),$$

де  $p_i = S_i / S$  є ймовірністю довільного прикладу, що належить  $C_i$ .

## 2. Обчислення інформаційної ентропії кожного атрибута.

Нехай атрибут  $X$  володіє  $v$  значеннями  $\{x_1, x_2, \dots, x_v\}$ , яка поділяє  $S$  на  $v$  підмножин  $\{s_1, s_2, \dots, s_v\}$   $S_j$  включає в себе ті приклади з  $S$ , які приймають значення  $x_j$  для атрибута  $X$  ( $j = 1, 2, \dots, v$ ). Очікувана ентропія (умова ентропії) використання атрибута  $X$ , як атрибута класифікації:

$$E(X) = \sum_{j=1}^v \frac{S_{1j} + \dots + S_{mj}}{S} I(s_{1j}, \dots, s_{mj}),$$

де  $s_{ij}$  – це кількість прикладів, які відносяться до класифікації  $C_i$  в підмножині  $s_j$ , і

$I(s_{1j}, s_{2j}, \dots, s_{mj}) = \sum_{i=1}^m p_{ij} \log_2(p_{ij})$ , в якій  $p_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_j}$  – це ймовірність кожного прикладу в  $s_j$ , що

належать до  $C_i$ .

## 3. Розрахунок коефіцієнта підсилення інформації та підсилення інформації відносно атрибута.

Інформаційна функція підсилення атрибутів  $X$ :

$$Gain(X) = I(S_1, S_2, \dots, S_m) - E(X).$$

Функція інформаційного підсилення має тенденцію виробляти велике значення для тестового значення, яке, ймовірно, виробляє мультигілки. Однак тест на продукування мультигілок не означає, що отримано кращий прогнозний результат для цих невідомих об'єктів. Функція швидкості підсилення інформації може заповнити брак інформаційного підсилення. Швидкість передачі інформації підсилення – це поліпшення отримання інформації, яке може усунути вплив атрибута продукування мультигілки. Функція інформаційного підсилення розглядає не тільки число вузлів, але також і розмір кожного вузла (кількість прикладів) для кожного сегменту. Вона розглядає не тільки кількість інформації, яка включена в класифікацію, а й кожен сегмент. Інформація приросту атрибутів  $X$ :

$$A(X) = \frac{Gain(X)}{I(S_1, S_2, \dots, S_v)},$$

де  $v$  – число гілок вузла і  $S_i$  – кількість записів для  $i$ -й гілки.

## 4. Створення дерева рішень.

В свою чергу обчислюється інформаційне підсилення  $Gain(X)$  та швидкість підсилення інформації  $A(X)$  кожного атрибута і вибирається в якості тесту той атрибут, який володіє найбільшою мірою підсилення інформації, а також значення коефіцієнта підсилення інформації, яке не нижче, ніж у середньому для всіх атрибутів. Тест атрибута приймається як вузол і кожний розподіл атрибута, як гілка сегменту прикладів. Якщо всі приклади вузла належать одному і тому ж класу, то вузол є листом, який відрізняється своєю класифікацією.

## Література

1. Cheng T. Applications of spatio-temporal data mining and knowledge for forest fire [Текст] / T. Cheng, J. Wang // In. Proceedings of the ISPRS Technical Commission VII Mid Term Symposium, Enschede, The Netherlands. – 2006. – 148-153.
2. Cortez Paulo A Data Mining Approach to Predict Forest Fires using Meteorological Data [Текст] / Paulo Cortez, Anibal Morais // New trends in artificial intelligence: proceedings of the 13th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA 2007), Guimarães, Portugal, 2007". [Lisboa]: APPIA. – 2007. – p. 512-523.
3. Özbayoğlu A. Murat Estimation of the Burned Area in Forest Fires Using Computational Intelligence Techniques [Текст] / A. Murat Özbayoğlu // Complex Adaptive Systems, Volume 12. – 2012. – p. 282-287.

## ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В ЗАДАЧАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Задачі прийняття рішень виникають в різних галузях діяльності людини. Важливими поняттями в задачі прийняття рішень є поняття альтернативи, стану середовища і можливого наслідку (події). Альтернатива являє послідовність дій, що направлена на вирішення деякої проблеми, стан середовища – ситуацію, на яку особо, що приймає рішення, не може впливати, а можливі наслідки виникають, коли альтернатива реалізується у певному стані середовища. Це подія, що оцінює наслідки визначеної альтернативи при заданому стані середовища. В залежності від моделі зв'язків між альтернативами, прийняття рішень в умовах невизначеності зводиться до задач прийняття рішень в умовах ризику, в умовах конфлікту, в умовах нечіткої інформації, тощо [1].

Ймовірнісні моделі дозволяють оцінити стандартні характеристики параметрів: математичне сподівання, дисперсію, коефіцієнт кореляції та інші. Ймовірнісні моделі оперують з розподілами випадкових величин та векторів, а також, з характеристиками випадкових процесів та полів, наприклад, кореляційні функції чи спектральні щільності.

В роботі розглядаються алгоритми моделювання випадкових величин та векторів, а також, методи моделювання реалізацій випадкових процесів та полів для проведення обчислювального експерименту. Методи статистичного моделювання дозволяють на основі відомих ймовірнісних характеристик параметрів, відомих зв'язків між параметрами, отримати розподіли необхідних властивостей наслідків для прийняття рішень.

Алгоритм проведення обчислювального експерименту:

- розробка моделі для прогнозування майбутньої реальності,
- вибір основних параметрів моделі,
- оцінка ймовірнісних характеристик параметрів,
- встановлення відношень, функціональних залежностей між параметрами,
- статистичне моделювання на основі вибраних ймовірнісних законів,
- статистичний аналіз результатів моделювання.

В роботі досліджуються методи моделювання випадкових процесів та полів з заданими точністю і надійністю. Розглянуто особливості моделювання випадкових процесів із типовими кореляційними функціями, а саме,

$$K_1(\tau) = \sigma^2 \exp\{-\alpha|\tau|\}, \quad K_2(\tau) = \sigma^2 \exp\{-\alpha|\tau|\} \left( \cos(\beta\tau) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta|\tau|) \right), \quad (1)$$

$$K_3(\tau) = \sigma^2 \exp\{-\alpha|\tau|\} \cos(\beta\tau), \quad K_4(\tau) = \sigma^2 \left( 1 - \frac{\alpha|\tau|}{2} \right) \exp\{-\alpha|\tau|\},$$

а також випадкових полів із спектральними щільностями

$$S_1(\vec{\lambda}) = \frac{\alpha\sigma^2}{\pi(\alpha^2 + |\vec{\lambda}|^2)},$$

$$S_2(\vec{\lambda}) = \frac{\alpha\sigma^2(L^2 + |\vec{\lambda}|^2)}{\pi(4\alpha^2|\vec{\lambda}|^2 + (|\vec{\lambda}|^2 - L^2)^2)} \quad \text{та} \quad S_3(\vec{\lambda}) = \frac{2\alpha\sigma^2 L^2}{\pi(4\alpha^2|\vec{\lambda}|^2 + (|\vec{\lambda}|^2 - L^2)^2)}. \quad (2)$$

Для побудови реалізацій випадкових процесів та полів використовується їх спектральне представлення у вигляді стохастичних інтегралів [2-5]. Однак, при реальному моделюванні, за рахунок точності обчислень, отримуються строго субгауссові випадкові процеси та поля. Властивості субгауссових величин та процесів вивчалися в роботі [6].

Нехай  $A = \{\vec{\lambda} : |\vec{\lambda}| \leq \Lambda\}$ ,  $D = \{d_i, i = 0, 1, \dots, M\}$  – деяке розбиття області  $A$ ,  $\vec{\lambda}_i \in d_i$ . Модель

випадкового поля будується за формулою:  $\xi_k(\vec{x}) = \sum_{i=0}^M (\cos(\vec{x}, \vec{\lambda}_i) \xi_{1i} + \sin(\vec{x}, \vec{\lambda}_i) \xi_{2i})$ , де  $\{\xi_{1i}, \xi_{2i}\}$  – строго субгауссові незалежні випадкові величини з  $E \xi_{1i} = E \xi_{2i} = 0$ ,  $E \xi_{1i}^2 = E \xi_{2i}^2 = v_k(d_i)$ ,  $v_k(d_i) = \iint_{d_i} S_k(\vec{\lambda}) d\vec{\lambda}$   $k = 1, 2, 3$ .

Для заданої точності  $\delta > 0$  і надійності  $0 < \varepsilon < 1$  моделювання значення  $M$  та  $\Lambda$ , а також розбиття  $D$  вибираємо такими, щоб виконувались нерівність

$$P\{\|\xi(\vec{x}) - \xi_k(\vec{x})\| > \delta\} \leq 1 - \varepsilon. \quad (3)$$

Оцінки нерівності (3) для різних функціональних просторів отримані - в роботі [7] для просторів Орліча, в роботі [8] в рівномірній метриці, в роботі [9] для процесів з неперервним спектром. Вибір кореляційних функцій (1) і спектральних щільностей (2) обумовлений дослідженнями багатьох авторів в прикладних галузях, наприклад, в [10] вивчались властивості випадкових полів, що виникають в різноманітних задачах будівельної механіки. Для оцінки статистичних характеристик розв'язків, через які визначаються основні показники надійності, рекомендовані випадкові процеси і поля зі спектральними щільностями (2). Моделювання суттєвих екологічних факторів і їх суперпозицій зводиться до моделювання реалізацій випадкових процесів із кореляційними функціями (1). В роботі [11] розглядались моделі випадкових процесів та полів для опису морських поверхонь, в задачах метеорології, атмосферної оптики, турбулентності.

#### Література

1. Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень / О.Ф. Волошин, С.О. Мащенко. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2010. – 336с.
2. Козаченко Ю. В. Про моделювання випадкових полів I. / Ю. В. Козаченко, А. О. Пашко // Теорія ймовірностей та математична статистика. - 1999. - 61. - С.61-74.
3. Козаченко Ю. В. Про моделювання випадкових полів II. / Ю. В. Козаченко, А. О. Пашко // Теорія ймовірностей та математична статистика. - 1999. - 62. - С.61-74.
4. Пашко А.О. Чисельне моделювання гауссових однорідних випадкових полів / А.О. Пашко // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія:математика і інформатика. - 2013. - Вип. 24, № 1. - С. 116–120.
5. Пашко А.О. Моделювання гауссових однорідних та ізотропних випадкових полів / А.О. Пашко // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія:математика і інформатика. - 2013. - Вип. 24, № 2. - С. 138-144.
6. Булдыгин В. В. Метрические характеристики случайных величин и процессов. /В. В. Булдыгин, Ю. В. Козаченко. - К: ТВИМС, 1998. - 289с.
7. Пашко А.О. Точність та надійність спектральних моделей гауссових випадкових процесів в деяких просторах Орліча / А.О. Пашко // Журнал обчислювальної та прикладної математики. - 2013. - № 4(114). - С.119–131.
8. Пашко А.О. Оцінка точності моделювання гауссових випадкових процесів в рівномірній метриці / А.О. Пашко // Журнал обчислювальної та прикладної математики. - 2014. - № 1(115). - С.119–131.
9. Kozachenko Yu.V. Accuracy of Simulation of the Gaussian random processes with continuous spectrum / Yu.V. Kozachenko, A. A. Pashko // Computer Modelling and New Technologies. — 2014. — Vol.18, №3. — P. 7–12.
10. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем./ В.В. Болотин. - М.: Наука, 1979. - 336с.
11. Пригарин С. М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей./С. М. Пригарин. - Новосибирск, 2005. -259с.

## О СВОЙСТВЕ ПОЛНОТЫ ДВУКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Отличие многокритериальной задачи от однокритериальной состоит в том, что в первом случае получаем не одно решение, а множество решений (множество альтернатив) [1,2], сделать окончательной выбор наилучшей альтернативы должен человек. Вопрос о принятии решений выходит за рамки формального определения понятия “оптимальное решения” по той причине, что на это понятие претендует не менее двух различных элементов.

Объектом исследования являются двухкритериальные задачи  $Z$  на связном  $n$ -вершинном графе  $G_n = (V, E)$ , каждому ребру  $e \in E$ , которого присвоен вектор весов  $\omega(e) = (\omega_1(e), \omega_2(e))$ . На множестве допустимых решений (МДР)  $X = \{x\}$  определена векторная целевая функция (ВЦФ)

$$F(x) = (F_1(x), F_2(x)), \quad (1)$$

где  $F_1(x)$  и  $F_2(x)$  - некоторые критерии качества допустимого решения  $x \in X$ .

Будем использовать обозначения  $\tilde{X}$  - паретовское множества (ПМ) двухкритериальной задачи  $Z$ ,  $\tilde{X} \subseteq X$ , и  $X^0$  - полное множество альтернатив (ПМА), определяемое как подмножество ПМ  $X^0 \subseteq \tilde{X}$  минимальной мощности  $|X^0|$  и такое, что  $F(X^0) = F(\tilde{X})$ , где  $F(X^*) = \{F_1(x), F_2(x)\}, x \in X^*$  для всякого  $X^* \subseteq X$ , [1,2].

Среди всех видов множества альтернатив ПМА является наиболее интересным математическим объектом, поскольку представляет собой обобщение классического понятия «решение оптимизационной задачи». Публикации [1,2] представляет собой наиболее раннее определение ПМА для дискретных многокритериальных задач, являющихся обобщением понятия «решение оптимизационной задачи с одним критерием». Полученные в настоящей работе оценки вычислительной сложности (ВС) характеризует поведение ВС как функции от размера входа в пределе при увеличении размера задачи (условимся, что  $P \neq NP$ ) [3,4]. Если критерии весового вида не меньше двух, то получаем новое третье свойство – труднорешаемость (первые два свойства – полиномиальность и  $NP$  – полнота).

Особенностью изучаемой постановки задачи  $Z$  является то, что допустимые решения по первому и по второму критерию могут как совпадать  $X_1 = X_2$ , так и быть различны  $X_1 \neq X_2$ . Пусть первый критерий  $F_1$  ВЦФ (1) определяется на множестве допустимых решений  $X_1 = \{x_1\}$ , а второй критерий  $F_2$  определяется на множестве допустимых решений  $X_2 = \{x_2\}$ , где  $x_1 = (V_1, E_1)$  и  $x_2 = (V_2, E_2)$  - это подграфы графа  $G_n$ . Рассмотрим варианты несовпадения множеств  $X_1 \neq X_2$ :  $X_1 \cap X_2 \neq \emptyset$  и  $X_1 \cap X_2 = \emptyset$ .

Исследуем свойство полноты задачи  $Z$ .

Многокритериальную задачу  $Z$  с ВЦФ (1) называют полной [2], если для МДР  $X = \{x\}$  существуют такие параметры ВЦФ  $F(x)$ , при которых выполняется равенство

$$X^0 = \tilde{X} = X.$$

Сформулируем достаточные условия наличия свойства полноты задачи  $Z$  в принятой постановке [2]. Рассмотрим случай  $X_1 = X_2$ .

*Теорема 1.* Всякая двукритериальная задача является полной, если оба её критерия, имеют весовой вид одной и той же функции

$$F_\nu(x) = \omega_\nu(x) = \sum_{e \in E_x} \omega_\nu(e) \rightarrow \text{extr}, \quad \nu = \overline{1,2},$$

где  $x = (V_x, E_x)$  - допустимое решение, и различаются только значениями весов.

Рассмотрим случай  $X_1 \cap X_2 \neq \emptyset$ .

*Теорема 2.* Для того чтобы двукритериальная задача  $Z$  с ВЦФ (1) была полной, достаточно, чтобы ее множество допустимых решений  $X$  состояло из таких подграфов  $X$ , для которых выполняется отношение эквивалентности для подграфов  $x_1$  и  $x_2$ :  $X = \{x : x = x_1 = x_2\}$ , где  $x_1$  - допустимое решение по критерию  $F_1(x)$ ,  $x_1 \in X_1$ ,  $x_2$  - допустимое решение по критерию  $F_2(x)$ ,  $x_2 \in X_2$ , т.е.  $X_1 \neq X_2$ ,  $X = X_1 \cap X_2$ .

Примером полной задачи может служить задача «об остовном дереве и гамильтоновой цепи», ВЦФ которой состоит из двух критериев MINSUM.

Сформулируем достаточное условие отсутствия свойства полноты у задачи  $Z$ . Это случай  $X_1 \cap X_2 = \emptyset$ .

*Теорема 3.* Для того чтобы двукритериальная задача  $Z$  с ВЦФ (1) не обладала свойством полноты, достаточно, чтобы ее множество допустимых решений  $X$  состояло из таких подграфов  $X$ , для которых выполняется отношение включения для подграфов  $x_1$  и  $x_2$ :  $X = \{x : x = x_1 \subset x_2\}$  или  $X = \{x : x = x_2 \subset x_1\}$ , где  $x_1$  - допустимое решение по критерию  $F_1(x)$ ,  $x_2$  - допустимое решение по критерию  $F_2(x)$ .

Представители этого класса задач, ВЦФ которых состоит из критериев MINSUM: «о гамильтоновом цикле - гамильтоновой цепи», «о совершенных паросочетаниях и остовных деревьях», «о размещении и коммивояжере», где первый критерий оценивает размещение  $n$  ребер на  $n$ -вершинном графе; задачи, ВЦФ которых состоит из критериев MINSUM и максимального веса ребра: «об остовных деревьях и критическом ребре», «о путях и критическом ребре», «о совершенных паросочетаниях на двудольном графе и критическом ребре».

## Література

1. Перепелица В.А. Об одном классе многокритериальных задач на графах и гиперграфах// Кибернетика. –1984. –№4. –С.62-67.
2. Перепелица В.А. Многокритериальные модели и методы для задач оптимизации на графах. — Saarbrücken :LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 337с.
3. Сергиенко В.А., Перепелица В.А. К проблеме нахождения множеств альтернатив дискретных многокритериальных задач // Кибернетика. –1987. –№5. –С.85-93.
4. Перепелица В.А. Сергиенко И.В. Исследование одного класса целочисленных многокритериальных задач. Журнал вычислительной математики и математической физики. Том 28, 1988 №3. – (400-419с.).



## ДІАГНОСТУЮЧА НЕЙРО-ФАЗЗИ СИСТЕМА ЗІ ЗМІННОЮ КІЛЬКІСТЮ ВХОДІВ ТА ВИХОДІВ

В задачах інтелектуального аналізу медичних даних (Medical Data Mining) все частіше використовуються методи обчислювального інтелекту [1-5], насамперед штучні нейронні мережі та нечіткі системи, за рахунок їхньої здатності до навчання за експериментальними даними. Серед великого кола задач, що виникають в рамках Medical Data Mining важливе місце займає проблема діагностування стану організму за показниками, що вимірюються у різних шкалах. В роботі [1] наведена архітектура діагностуючої нейро-фаззи-системи (DNFS), що складається з 6-ти послідовно з'єднаних шарів. На входних шар системи подається  $(n \times 1)$ -мірний вектор входних сигналів-ознак  $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n$ , де  $k = 1, 2, \dots$  – в даному випадку поточний час. При подачі на вхід системи вектору ознак  $x(k) \in R^n$  на виході першого прихованого шару з'являється  $hn$  значень  $\mu_{li}(x_i(k))$ , на виході другого прихованого шару –  $h$  сигналів  $\prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$ , на виході третього прихованого шару –  $mh$  значень  $w_{jl} \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$ , четвертого –  $m+1$  сигналів:  $\sum_{l=1}^h w_{jl} \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$  і  $\sum_{l=1}^h \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$ , п'ятого –  $u_j(k) = \frac{\sum_{l=1}^h w_{jl} \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))}{\sum_{l=1}^h \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))} = \sum_{l=1}^h w_{jl} \frac{\prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))}{\sum_{i=1}^n \prod_{l=1}^h \mu_{li}(x_i(k))} = \sum_{l=1}^h w_{jl} \phi_l(x(k)) = w_j^T \phi(x(k))$  і шостого –  $m$  діагностуючих сигналів  $y_j(k) = \text{sign } u_j(k)$ .

Алгоритм налаштування синаптичних ваг має вигляд  $w(k+1) = w(k) + \delta(k) \phi^+(x(k))$ , де  $\delta(k) = (\delta_1(k), \delta_2(k), \dots, \delta_m(k))^T$ ,  $\delta_j(k) = e_j(k) \gamma(1 - y_j^2(k)) = (d_j(k) - \tanh \gamma u_j(k)) \gamma (1 - (\tanh \gamma u_j(k))^2)$ .

Вище згадана діагностуюча система призначена для роботи в умовах, коли кількість діагностичних ознак  $n$  і діагнозів  $m$  фіксована, що є природним для нейронних мереж і нейро-фаззи-систем, чия архітектура задається апіорно на етапі синтезу [3]. У реальних завданнях виникає ситуація, коли в процесі навчання-діагностування можуть з'являтися нові діагнози, які не передбачені заздалегідь. Розширити число можливих діагнозів по ходу роботи системи можливо, скориставшись ідеями еволюційних систем обчислювального інтелекту [4,5], які здатні налаштовувати не тільки свої параметри, але й архітектуру. Як показує практика, в процесі обробки даних медико-біологічних досліджень може збільшуватися не тільки кількість діагнозів, але і розмірність вектора входів. На рис. 1 наведена архітектура  $DNFS_{n+1, m+1}$ , побудована на основі DNFS, в яку додатково введено ще один входний сигнал  $x_{n+1}(k)$ , тобто входний вектор набуває вигляду  $x(k) = (x_1(k), \dots, x_n(k), x_{n+1}(k))^T \in R^{n+1}$ . Як видно, еволюція системи реалізується на рівні першого прихованого шару, куди додатково вводяться функції належності  $\mu_{1,n+1}(x_{n+1}), \mu_{2,n+1}(x_{n+1}), \dots, \mu_{h,n+1}(x_{n+1})$ . Всі інші шари при цьому залишаються незмінними і, що особливо важливо, кількість параметрів синаптичних ваг і самі алгоритми навчання не змінюються.

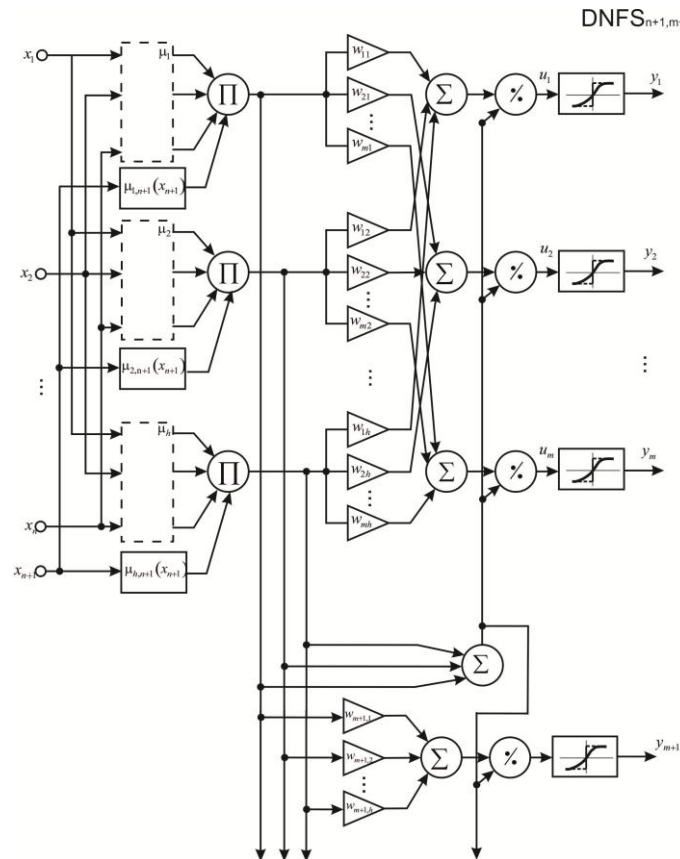


Рисунок 1 – Архітектура  $DNFS_{n+1,m+1}$

Для реалізації розширення простору виходів розглянутої діагностуючої нейро-фаззі-системи перепишемо алгоритм навчання для  $DNFS$  в формі  $w^m(k+1) = w^m(k) + \delta^m(k)\phi^+(x(k))$ . Тоді можна на її основі ввести алгоритм для  $DNFS_{n+1,m+1}$ :

$$w^{m+1}(k+1) = \begin{pmatrix} w^m(k+1) \\ \hline w_{m+1}^T(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w^m(k) \\ \hline w_{m+1}^T(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta^m(k) \\ \hline \delta_{m+1}(k) \end{pmatrix} \phi^+(x(k)).$$

Нескладно бачити, що введення нових вузлів в розширену діагностуючу систему не впливає на вже навчену вихідну  $DNFS$ .

Аналізуючи наведену архітектуру, нескладно зробити висновок, що послідовний процес діагностування доцільно починати з малого числа діагнозів і атрибутів, і поступово, в процесі навчання-еволюції нарощувати архітектуру до досягнення необхідної якості одержуваних результатів.

1. Бодянский Е.В., Винокурова Е.А., Мулеса П.П., Перова И.Г. Диагностирующая нейро-фаззи-система и ее адаптивное обучение в задачах интеллектуальной обработки данных медико-биологических исследований / Системные технологии. – 2014. – Вып. 2 (91). – с. 125-135.
2. Perova I., Bodyanskiy Ye. Fast evolving diagnostic neuro-fuzzy system and its learning in medical data mining tasks / System technologies. № 6(101). – Dnipropetrovsk, 2015. – P.109-116.
3. L. Rutowski. Computational Intelligence. Methods and Techniques, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. – 514 p.
4. Kasabov N. Evolving Connectionist systems: Methods and Applications in Bioinformatics, Brain Study and Intelligent Machines. – London: Springer-Verlag, 2003. – 307p.
5. Lughofer E. Evolving Fuzzy Systems – Methodologies, Advanced Concept and Applications. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – 454p.

Петрик М.Р.<sup>1</sup>, Сергієнко І.В.<sup>2</sup>, Фресар Ж.<sup>3</sup>, Петрик О.Ю.<sup>1</sup>  
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя<sup>1</sup>  
 Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України<sup>2</sup>  
 l'Université Pierre et Marie Curie Paris 6 – Sorbone, l'ESPSI Paris Tech<sup>3</sup>  
 Mykhaylo\_Petryk@tu.edu.te.ua

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОЕФІЦІЄНТІВ КОМПЕТИТИВНОЇ ДИФУЗІЇ В СЕРЕДОВИЩАХ ЧАСТИНОК НАНОПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ГРАДІЄНТНИХ МЕТОДІВ

Широке застосування методів математичного моделювання для дослідження процесів масопереносу в нанопористих середовищах полягає не тільки в складності побудови адекватних математичних моделей, але і в заданні їх визначальних параметрів, що лімітують внутрішню кінетику процесів. Розглядається складна система компетитивної дифузії двох газів в неоднорідному середовищі нанопористих частинок. В областях  $\Omega_{m_r} = (0, T) \times \Omega_m$ ,  $(\Omega_m = (L_{m-1}, L_m), m = \overline{1, N+1}, L_0 = 0 < L_1 < \dots < L_{N+1} = 1)$  концентрації  $C_{sm}(t, Z)$ ,  $Q_{sm}(t, X, Z)$  задовольняють системі рівнянь в частинних похідних [1]:

$$\frac{\partial C_{sm}(t, Z)}{\partial t} = \frac{D_{inter_{sm}}}{l^2} \frac{\partial^2 C_{sm}}{\partial Z^2} - e_{inter_m} K_{sm} \frac{D_{intra_{sm}}}{R^2} \left( \frac{\partial Q_{sm}}{\partial X} \right)_{X=l}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q_{sm}(t, X, Z)}{\partial t} = \frac{D_{intra_{sm}}}{R^2} \left( \frac{\partial^2 Q_{sm}}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial Q_{sm}}{\partial X} \right). \quad (2)$$

Початкові умови

$$C_{sm}(t=0, Z) = 0; \quad Q_{sm}(t=0, X, Z) = 0; \quad X \in (0, 1), \quad Z \in \Omega_m, \quad m = \overline{1, N+1}, \quad (3)$$

Крайові та інтерфейсні умови для концентрації C:

$$C_{s1}(t, L_1) = 1, \quad \frac{\partial C_{s1}}{\partial Z}(t, Z=0) = 0, \quad t \in (0, T); \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left[ D_{inter_{sm-1}} C_{sm-1}(t, Z) - D_{inter_{sm}} C_{sm}(t, Z) \right]_{Z=L_m} = 0, \quad m = \overline{1, N}, \quad t \in (0, T). \quad (5)$$

Крайові умови в кожній точці  $(Z, t) \in \Omega_{m_r}$  для концентрації Q по радіусу частинки:

$$\frac{\partial}{\partial X} Q_{sm}(t, X=0, Z) = 0, \quad Q_{sm}(t, X=1, Z) = C_{sm}(t, Z) \quad t \in (0, T), \quad Z \in \Omega_m, \quad m = \overline{1, N+1}. \quad (6)$$

Рівняння (1) описує перенос в просторі макропор (intercrystallite space), рівняння (2) - дифузію речовин в просторі мікропорів сферичних частинок радіусу R з центром в точці  $Z \in \Omega_m, m = \overline{1, N+1}$  (intracrystallite space).

На поверхнях спостережень відомі сумарні розподіли мас

$$\left[ C_{s_m}(t, Z) + \bar{Q}_{s_m}(t, Z) \right]_{\gamma_m} = M_{s_m}(t, Z)_{\gamma_m}, \quad s = \overline{1, 2}; \quad \gamma_m \in \Omega_m, \quad t \in (0, T). \quad (7)$$

Функціонал-нев'язка, що мінімізує відхилення модельного розв'язку від значень експериментального сліду на  $\gamma_m \in \Omega_m$ :

$$J_s(D_{\text{inter}_{s_m}}, D_{\text{intra}_{s_m}}) = \frac{1}{2} \int_0^T \left[ C_{s_m}(\tau, Z, D_{\text{inter}_{s_m}}, D_{\text{intra}_{s_m}}) + \bar{Q}_{s_m}(\tau, Z, D_{\text{inter}_{s_m}}, D_{\text{intra}_{s_m}}) - M_{s_m}(\tau, Z) \right]_{\gamma_m}^2 d\tau, \quad \gamma_m \in \Omega_m, \quad m = \overline{1, N+1}, \quad (8)$$

В результаті отримана задача ідентифікації (1)–(7), що полягає в знаходженні невідомих функцій  $D_{\text{intra}_s} \in \Omega_T$ ,  $D_{\text{inter}_s} \in \Omega_T$  ( $D_{\text{intra}_s} > 0$ ,  $D_{\text{inter}_s} > 0$ ,  $s = \overline{1, 2}$ ), де адсорбовані маси  $C_{s_m}(t, Z) + \bar{Q}_{s_m}(t, Z)$  задовольняють умовам (7) для кожної поверхні спостереження  $\gamma_m \subset \Omega_m$  для кожного  $m$ -го сегмента нанопористого середовища.

Використовуючи градієнтний метод мінімізації похибки для ідентифікації розподілів коефіцієнтів дифузії в intracrystallite space  $D_{\text{intra}_{s_m}}$  і intercrystallite space  $D_{\text{inter}_{s_m}}$  як функцій від часу для  $s$ -ої дифундованої компоненти, отримуємо регуляризаційні вирази для  $n + 1$ -го кроку ідентифікації:

$$D_{\text{intra}_{s_m}}^{n+1}(t) = D_{\text{intra}_{s_m}}^n(t) - \nabla J_{D_{\text{intra}_{s_m}}}^n(t) \frac{\left[ C_{s_m}(D_{\text{inter}_{s_m}}^n, D_{\text{intra}_{s_m}}^n; t, \gamma_m) + \left( \frac{1}{X} \right)_{X=\frac{1}{2}} N_{s_m}(D_{\text{inter}_{s_m}}^n, D_{\text{intra}_{s_m}}^n; t, \frac{1}{2}, \gamma_m) - M_{s_m}(t) \right]^2}{\left\| \nabla J_{D_{\text{intra}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2 + \left\| \nabla J_{D_{\text{inter}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2}, \quad t \in (0, T),$$

$$D_{\text{inter}_{s_m}}^{n+1}(t) = D_{\text{inter}_{s_m}}^n(t) - \nabla J_{D_{\text{inter}_{s_m}}}^n(t) \frac{\left[ C_{s_m}(D_{\text{inter}_{s_m}}^n, D_{\text{intra}_{s_m}}^n; t, \gamma_m) + \left( \frac{1}{X} \right)_{X=\frac{1}{2}} N_{s_m}(D_{\text{inter}_{s_m}}^n, D_{\text{intra}_{s_m}}^n; t, \frac{1}{2}, \gamma_m) - M_{s_m}(t) \right]^2}{\left\| \nabla J_{D_{\text{intra}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2 + \left\| \nabla J_{D_{\text{inter}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2}, \quad t \in (0, T) \quad (9)$$

Шукані аналітичні вирази градієнтів функціоналу-нев'язки по необхідним компонентам коефіцієнтів компетитивної дифузії як функцій від часу в просторах intraparticle space і interparticle space шляхом побудови аналітичних розв'язків прямої і спряженої задачі  $(\phi_{s_m}(t, Z), \psi_{s_m}(t, X, Z))$  операційним методом Гевісайда мають вигляд:

$$\nabla J_{D_{\text{intra}_{s_m}}}(t) = -\frac{e_{\text{inter}_{s_m}}}{R} \int_{L_{m-1}}^{L_m} \frac{\partial}{\partial X} Q_{s_m}(t, 1, Z) \phi_{s_m}(t, Z) dZ + \frac{1}{R^2} \int_{L_{m-1}}^{L_m} \int_0^1 \left( \frac{\partial^2}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial}{\partial X} \right) Q_{s_m}(t, X) \psi_{s_m}(t, X, Z) X dX dZ$$

,

$$\nabla J_{D_{\text{inter}_{s_m}}}(t) = \int_{L_{m-1}}^{L_m} \frac{\partial^2 C_{s_m}(t, Z)}{\partial Z^2} \phi_{s_m}(t, Z) dZ. \quad (10)$$

## Література

1. Petryk M., Leclerc S., Canet D., Sergienko I., Deineka V., Fraissard J. Competitive Diffusion of Gases in a Zeolite Bed: NMR and Slice Selection Procedure, Modelling and Parameter Identification. *J. Phys. Chem. C*. ACS (USA). 2015, 119(47), 26519–26525.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ОДНОГО З ТИПІВ ВІДРІЗАЮЧИХ ОПТИЧНИХ ФІЛЬТРІВ

Практична цінність оптичних фільтрів, полягає в тому, що за їх допомогою можна в широкому інтервалі змінювати значення коефіцієнтів пропускання і відбиття. Дуже поширеними є відрізаючі фільтри. Галузь застосування відрізаючих фільтрів дуже обширна: це і лазерні резонатори, і модулятори світла, і оптичні телекомунікаційні елементи [1]. Вони можуть бути використані для аналізу газу, рідини, в системах пожежної безпеки та в інших оптичних давачах і приладах. Сучасний стан розвитку техніки в галузі електроніки, оптоелектроніки та фотоніки вимагає розроблення й синтезу високоефективних багатошарових тонкоплівкових систем з низькими втратами та підвищеною хімічною стійкістю. Для отримання таких систем необхідно вирішити питання вибору матеріалів підкладки і шарів, з яких складається система; розрахунку товщини шарів і оптичних параметрів конструкції. Для цього було розроблено відповідну математичну модель та програмне забезпечення, що дозволяє суттєво полегшити вирішення розглядуваних проблем. В роботі розглянуто практичну задачу моделювання просторово-поляризаційних залежностей для одного типу відрізаючих фільтрів.

– Проведено дослідження для структур 17-и шарових інтерференційних фільтрів типу  $S-[xB(1-x)H]^4(1-x)V[xH(1-x)V]^4$ , де  $S$  – підкладка із скла К-8 з показником заломлення ( $n_s = 1,51$ ),  $B$  і  $H$  відповідно шари з високим ( $n_B = 2,3$ ) та низьким ( $n_H = 1,35$ ) показниками

заломлення і оптичними товщинами рівними  $nd = \frac{\lambda_0}{4}$  та сумарною оптичною товщиною

пари шарів  $xV+(1-x)H=\lambda_0/2$ , тобто рівною половині робочої довжини хвилі  $\lambda_0$  при падінні світла вздовж нормалі до їх поверхонь для фільтрів, що знаходяться в зовнішньому середовищі ( $n_0 = 1$ ). В якості робочих довжин хвиль використовувалися значення для найбільш вживаних потоків випромінювання – 480, 630, 750, 1000 та 3000 нм.

– Типовий характер зміни спектрів пропускання відрізаючих інтерференційних фільтрів зі зміною кута падіння  $\theta_0$  для s- та р-поляризацій світлових потоків з довжиною хвилі 630 нм приведено на рис.1 для наглядності.

Узагальнені зміни параметрів спектрів пропускання багатошарових інтерференційних структур (БІС) отримано з аналізу спектрів пропускання відрізаючих оптичних фільтрів, для яких ці зміни є найбільш вразливими, в залежності від поляризації та кута падіння паралельних потоків випромінювання відносно нормалі до їх поверхні.

Проведені дослідження для розглядуваного типу відрізаючих фільтрів дозволяють встановити такі просторово-поляризаційні залежності при зростанні кута падіння паралельного пучка світла на неї:

- мінімальні значення  $T_{\min}$  пропускання зменшуються для s-поляризованого світла, а для р-поляризованого зростають, залишаючись завжди вищими;
- положення мінімумів  $\lambda_{\min}$  пропускання завжди зміщуються в короткохвильову область, залишаючись завжди вищими для s-поляризованого світла;
- ширина області мінімального пропускання на рівні  $T=0,5$  та на рівні  $T=0,1$  збільшується для s-поляризованого світла, а для р-поляризованого зменшується, причому відповідні довжини хвиль для обох поляризацій зміщуються у короткохвильову область;
- максимальні значення  $T_{\min}$  пропускання зменшуються для s-поляризованого світла, а для р-поляризованого зростають до кута Брюстера, а потім спадають;
- положення максимумів  $\lambda_{\max}$  пропускання завжди зміщуються в короткохвильову область, залишаючись завжди вищими для s-поляризованого світла.

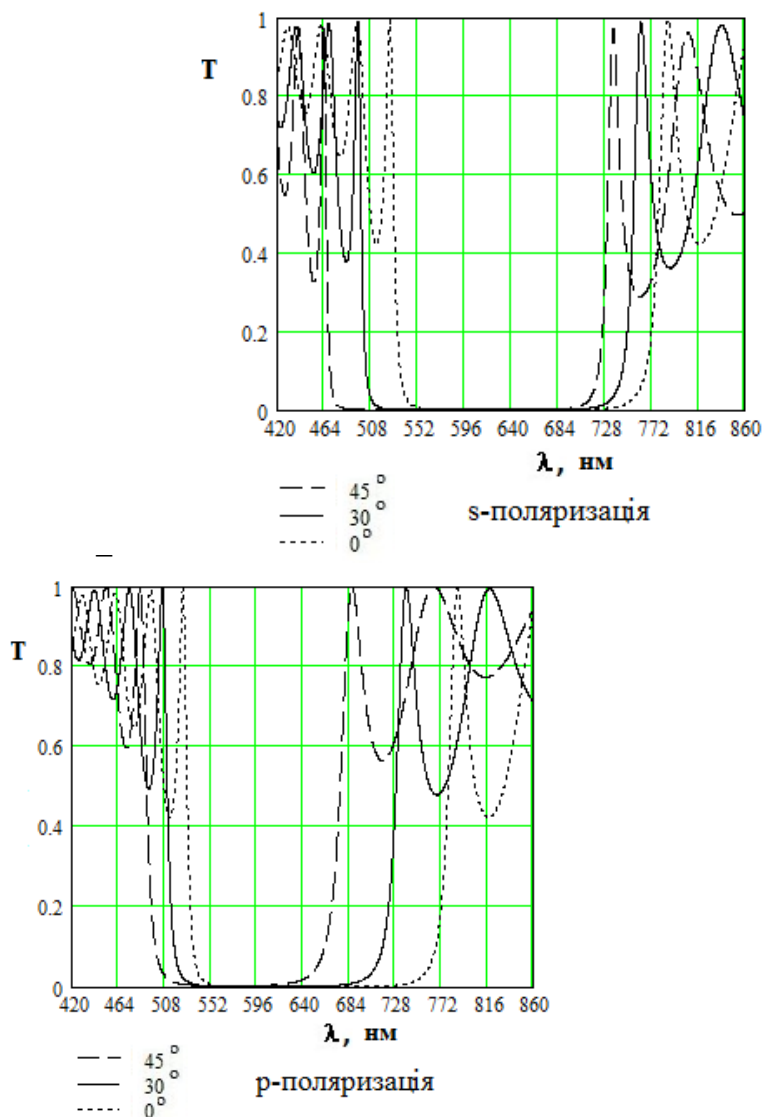


Рис. 1. Трансформація спектрів пропускання відрізаючого фільтру з робочою довжиною хвилі  $\lambda_0 = 630$  нм зі зміною кутів падіння

Більш широкі дослідження показали, що із збільшенням робочої довжини хвилі для відрізаючих фільтрів коефіцієнти мінімуму пропускання -  $T_{\min}$  і максимуму пропускання -  $T_{\max}$  практично не змінюються для всіх кутів; значення зміщень  $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{0,1}$ ,  $\lambda_{0,5}$ ,  $\lambda_{0,1}$  в короткохвильову область зростають з ростом  $\lambda_0$ : ширини смуг області мінімального пропускання на рівні  $T=0,1$  та на рівні  $T=0,5$  зростають з ростом  $\lambda_0$  незалежно від їх змін з ростом кутів падіння  $\theta_0$ .

Отримані результати носять практичний характер і дозволяють проектувальнику побачити повну картину просторово-поляризаційних залежностей для вибраного оптичного фільтру.

### Література

1. Яковлев П.П. Проектирование интерференционных покрытий / П.П Яковлев, Б.Б. Мешков – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Furman Sh.. Basics of optics of multiplayer systems / Sh.Furman., A.V. Tikhonravov – Editions Frontiers, Gif-sur Yvette, 1992. – 242 p.

## О СТРОГИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ В ЗАДАЧАХ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Рассмотрим задачу оптимизации

$$f_0(x) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$x \in E \subset \mathbb{R}^n. \quad (2)$$

Функциональным назовем представление множества  $E \subseteq \mathbb{R}^n$  с помощью функциональных зависимостей вида [1]

$$f_j(x) = 0, j \in J_m = \{1, \dots, m\}, \quad (3)$$

$$f_j(x) \leq 0, j \in J_{m'} \setminus J_m. \quad (4)$$

В зависимости от вида функций (3), (4) функциональные представления могут быть линейные и нелинейные, непрерывные, дифференцируемые, выпуклые и т.п. Функциональные представления в виде системы уравнений (3) назовем строгими. Если извлечение любого из ограничений (3), (4) задает надмножество  $E' \supset E$ , функциональное представление является *неизбыточным*.

Продолжением функции  $f_0(x)$  с  $E$  на  $E' \supset E$  назовем функцию  $F(x)$ , определенную на  $E'$  и совпадающую с  $f_0(x)$  на  $E$  [2], т.е.

$$F(x) \underset{E}{=} f_0(x). \quad (5)$$

Если множество  $E'$  не указано, то предполагается построение продолжения на  $E' = \mathbb{R}^n$ .

В докладе рассмотрены подходы к построению функциональных представлений для различных комбинаторных множеств  $E$ :  $1 < |E| < \infty$ . Приводятся строгие, избыточные, гладкие функционального представления, содержащие выпуклые функции.

В этом случае исходная задача (1), (2) эквивалентна непрерывной задаче (1), (3), для решения которой предлагается использовать методы минимизации функции Лагранжа:

$$\phi(x, \bar{\lambda}) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x), \quad \bar{\lambda} = (\lambda_i) \in \mathbb{R}^m. \quad (6)$$

Заметим, что Лагранжевые методы применимы к решению (1), (2) при наличии как строгих, так и нестрогих представлений. В последнем случае функция Лагранжа (6) примет вид:

$$\phi(x, \bar{\lambda}, \bar{\mu}) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x) + \sum_{i=1}^{m'} \mu_i f_{m+i}(x), \quad \bar{\lambda} \in \mathbb{R}^m, \quad \bar{\mu} \in \mathbb{R}_+^{m'}. \quad (7)$$

Для решения задачи (1), (3), предлагается воспользоваться методами штрафных функций. Обобщенная штрафная функция может быть представлена в виде

$$\phi(x, \bar{\lambda}) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(f_i(x)), \quad \bar{\lambda} \in \mathbb{R}_+^m. \quad (8)$$

При этом

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(f_i(x)) = 0 \Leftrightarrow x \in E, \quad \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(f_i(x)) \geq 0.$$

Функция (8) является продолжением  $f_0(x)$  для произвольного фиксированного  $\bar{\lambda}$ .

Заметим, что условие (6) позволяет построить выпуклое продолжение [2] функции

$f_0(x)$  с  $E$  в форме:

$$F(x) = f_0(x) + \mu f_j(x), \mu - \text{константа.} \quad (9)$$

где  $f_j(x)$  - произвольная выпуклая функция из множества (3).

Использование в (6)-(8) выпуклого продолжения (9) гарантирует выпуклость формируемой целевой функции в заданной области и позволяет применять соответствующие методы выпуклой оптимизации.

Лагранжевые и штрафные методы имеют свои достоинства и недостатки. Преимущества этих групп методов отражены в расширенном методе множителей Лагранжа, осуществляющем оптимизацию над продолжением, в котором интегрированы (6) и (8):

$$\phi(x, \bar{\lambda}, \mu) = f_0(x) + \mu \sum_{i=1}^m g_i(f_i(x)) + \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x), \mu > 0, \bar{\lambda} \in R_+^m. \quad (10)$$

Переход от (10) к

$$\Phi(x, \bar{\lambda}, \mu) = F(x) + \mu \sum_{i=1}^m g_i(f_i(x)) + \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x) \rightarrow \min_{\mu > 0, \bar{\lambda} \in R_+^m}$$

позволяет использовать выпуклые, штрафные и Лагранжевые методы в совокупности.

Строгие неизбыточные представления дискретных множеств – источник многочисленных непрерывных релаксаций, поскольку извлечение из (3) произвольного ограничения переводит дискретную область в континуальную. Так, например, лагранжевые релаксации делят множество функций (6) на два непустых подмножества, первая часть  $\{f_i(x)\}_{i \in I}, I \neq \{\emptyset\}$ , включается в целевую функцию, другая остается множеством ограничений.

При этом задача преобразуется в условную задачу минимизации продолжения вида:

$$\phi(x, \bar{\lambda}) = f_0(x) + \sum_{i \in I} \lambda_i f_i(x) \rightarrow \min, \bar{\lambda} = (\lambda_i)_{i \in I}, \quad (11)$$

$$f_i(x) = 0, i \notin I. \quad (12)$$

где множество  $I$  ( $\emptyset \subset I \subset J_m$ ) выбирается таким образом, чтобы (11) решалась проще в области (12), чем (1), (3). При этом новая задача (11), (12) – релаксационная по отношению к исходной.

Таким образом, актуальным является вопрос поиска строгих представлений комбинаторных множеств, в особенности тех, что содержат выпуклые функции. Это позволяет свести задачи оптимизации на таких множествах к задачам выпуклого программирования, для решения которых в настоящее время имеется мощный математический аппарат.

## Литература

1. Пичугина О.С., Яковлев С.В. Функционально-аналитические представления общего перестановочного множества // Eastern-European Journal of Enterprise Technologie. – 2016. – № 1. – С. 27–38.
2. Яковлев С.В. Теория выпуклых продолжений функций на вершинах выпуклых многогранников // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 1994. – 34, № 7. – С. 1112–1119.



## **ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ОПТИМАЛЬНОЇ ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ЛІСОПИЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ НЕГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

Технологічний процес на підприємствах лісопильної галузі складається із сукупності послідовних операцій, які передбачають розкрій пиловочної сировини на пиломатеріали заданих розмірів. Масове виробництво хвойних пиломатеріалів на вітчизняних підприємствах та підприємствах країн пострадянського простору здійснюється, переважно, груповим способом на лісопильних рамах з фіксованим поставом пил. Такі технологічні системи можна охарактеризувати як негнучкі, оскільки вони не дають можливості оперативно переналагоджувати лісопильну лінію на обробку пиловочної сировини різних розмірних груп або на виробництво різних, за своїми розмірними характеристиками, пиломатеріалів. На відміну від цього технологічні системи, які передбачають розкрій сировини індивідуальним способом на основі стрічкопильної чи круглопильної технології, або ж передбачають використання лісопильних рам та круглопильних верстатів із плаваючим поставом пил, можна охарактеризувати як гнучкі. Недоліком технології з індивідуальним способом розкрою є низька продуктивність, а технологічних систем на базі лісопильних рам або круглопильних верстатів із гнучким поставом пил – їх дороговизна.

В технологічному процесі лісопильних підприємств можна виділити такі основні стадії: розкрій колоди на лісопильній рамі 1-го ряду на двохкантний брус та необрізні дошки, розкрій бруса на рамі 2-го ряду на обрізні та необрізні дошки, обрізка необрізних дощок із рами 1-го та 2-го ряду на круглопильному верстаті, розкрій дощок по довжині на торцювальному верстаті.

Виробнича програма лісопильного підприємства складається із основної продукції, супутньої продукції та відходів. Основна продукція включає специфікаційні пиломатеріали та тонкомірні неспецифікаційні пиломатеріали стандартних розмірів. Супутньою продукцією є технологічна тріска, клеєний щит та ін. Відходами є тирса.

В зв'язку із комплексним характером технологічного процесу лісопильних підприємств планування виробничої програми на них здійснюється синхронно із формуванням плану виробничого процесу, що знаходить своє відображення у плані розкрою пиловочної сировини. Узагальнення результатів наукових досліджень С. Агеєва, А. Піжуріна, С. Рикуніна, Х. Фельдмана, Д. Шапіро та ін. виявило, що в оптимізаційних розрахунках при формуванні планів розкрою пиловочної сировини в якості критеріїв цільової функції використовуються такі показники: натуральний обсяг витраченої пиловочної сировини, виручка від реалізації продукції, прибуток підприємства (валовий, операційний та ін.).

Пропонуємо використання альтернативного цільового показника – маржинального прибутку, який системно формується при використанні методичних підходів директ-костингу при плануванні затрат.

Наведемо основні припущення, які лежать в основі запропонованої моделі оптимізації розкрою пиловочної сировини: в технологічному потоці на базі лісопильних рам з фіксованим поставом розкроюється пиловочна сировина з її первинними розмірними параметрами (відсутня операція кряжування лісу); обсяг виробленої у плановому періоді лісопильної продукції співпадає з обсягом її реалізації; оптимізаційні моделі стосуються одного періоду (статичні моделі); моделі передбачають, що весь вихід із поставу (у тому числі відходи) реалізуються на ринку; з метою підвищення ефективності використання пиловочної сировини суміщені постави на підприємстві не використовуються; у випадку випилювання на рамі 1-го ряду трьох брусів-напівфабрикатів їх розвал на рамі 2-го ряду здійснюється одним поставом з використання контрольних пил; для будь-якого поставу обмежувачим фактором є потужності рами 1-го ряду; для відходів існує ринок збуту без обмежень обсягу реалізації; постав на рамі 1-го та 2-го ряду не змінюється протягом

оперативного періоду, тривалість якого дорівнює або менша тривалості періоду стійкості ріжучого інструменту.

Виходячи з наведених вище припущень, пропонується наступна модель цілочисельного лінійного програмування для оптимізації плану розкрою з цільовою функцією максимізації маржинального прибутку.

Цільова функція та обмеження щодо обсягів виробництва:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$U_k \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v_{ijk} \cdot x_{ij} \leq O_k, k = 1, 2, \dots, s \quad (2)$$

Умова інтенсивності використання поставу (умова поставного періоду):

$$\frac{x_{ij} \cdot P_{ij}}{Y} - \text{ціле} \quad (3)$$

Обмеження потужностей виробництва:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \cdot x_{ij} \leq P \quad (4)$$

Умова, яка враховує обмеженість строку зберігання сировини:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \geq R_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Обмеження складських запасів або обсягів закупки сировини:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq T_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Умова невід'ємності:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Умова цілочисельності:

$$x_{ij} - \text{ціле} \quad (8)$$

У моделі (1)-(8) введені такі позначення:  $Z$  – маржинальний прибуток на плановий період;  $x_{ij}$  – кількість колод  $i$ -тої розмірно-якісної групи, розкромлених  $j$ -м поставом у плановому періоді;  $d_{ij}$  – плановий маржинальний прибуток, що генерується в результаті розкрою колоди  $i$ -тої розмірно-якісної групи  $j$ -м поставом;  $v_{ijk}$  – нормативний обсяг виходу  $k$ -го виду продукції, при виробництві останньої з колоди  $i$ -тої розмірно-якісної групи  $j$ -м поставом;  $U_k, O_k$  – нижня і верхня межа обсягу виробництва  $k$ -го виду продукції;  $P$  – наявні протягом планового періоду потужності рами 1-го ряду;  $R_i$  – мінімальна кількість колод  $i$ -тої розмірно-якісної групи, яка має бути розкромлена в плановому періоді;  $T_i$  – кількість колод  $i$ -тої розмірно-якісної групи, які є на складі підприємства або можуть бути закуплені у плановому періоді;  $p_{ij}$  – нормативний час виконання технологічної операції на рамі 1-го ряду у разі розкрою на ній колоди  $i$ -тої розмірно-якісної групи  $j$ -м поставом;  $Y$  – період стійкості ріжучого інструменту.

Використання запропонованої моделі сприятиме оптимізації фінансових результатів лісопильних підприємств, при цьому за рахунок використання показника маржинального прибутку підвищується точність прогнозування фінансових результатів.

### Література

1. Greigeritsch T. Neue Methoden zur Planung und Optimierung der Schnittholzproduktion von Nadelholzsägewerken / Greigeritsch T. – Wiesbaden: Gabler, 2009. – 175 S.
2. Калитеевский Р.Е. Лесопиление в XXI веке: технология, оборудование, менеджмент / Р.Е. Калитеевский. – Санкт-петербург: Профи-Информ, 2005. – 474 с.

## **ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ У ПРОЦЕСІ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

Методи аналізу даних широко використовують при дослідженні різноманітних процесів і явищ – економічних, соціальних тощо. З огляду на це формування відповідних знань, умінь та навичок є необхідною складовою готовності студентів до науково-дослідницької роботи (НДР).

Досліджуючи особливості НДР майбутніх фахівців соціальної роботи зауважимо, що вона передбачає виконання студентами самостійних емпіричних досліджень. Опрацювання результатів цих досліджень вимагає застосування методів аналізу даних, які зазвичай потребують значних обчислень з використанням спеціального програмного забезпечення.

Одним із програмних засобів, який використовується студентами, майбутніми соціальними працівниками в процесі НДР є табличний процесор Microsoft Excel. Він передбачає широкий арсенал можливостей, призначений для статистичного аналізу емпіричних даних.

Виокремлюють три групи засобів Microsoft Excel, які дають змогу виконувати аналіз даних:

1. Формули користувача для статистичних розрахунків (обчислення середнього значення, розрахунок відхилень, квадратів відхилень, сум квадратів відхилень, добутків відхилень тощо), які реалізують за допомогою елементарних математичних операцій та функцій.

2. Статистичні функції, які являють собою функціональні програмні модулі, що реалізують окремі статистичні формули (розрахунок коефіцієнта кореляції, довірчого інтервалу тощо) і можуть використовуватись у формулах користувача. Для оптимізації роботи з відносно великою кількістю статистичних функцій використовується спеціальна програма «Майстер функцій».

3. Надбудова «Аналіз даних» являє собою пакет спеціалізованих програм (макрофункцій), який призначений для розв'язання складних статистичних завдань із поданням результатів у різних формах (графіка, звіти та ін.).

Крім того, існує можливість створення власних програм обробки даних на основі Excel за допомогою вбудованої мови програмування Visual Basic for Applications (VBA), яка входить до пакету Office як загальний внутрішній засіб програмування і розширення його можливостей.

У процесі обробки результатів досліджень студентами застосовується статистичний пакет SPSS (Statistical Package for Social Sciences), який надає можливості: здійснювати опис первинної соціальної інформації (побудову таблиць розподілів, обчислення параметрів розподілів та ін.); проводити пошук та оцінювання зв'язків між ознаками досліджуваного явища (обчислення статистичних коефіцієнтів зв'язку, кореляційний аналіз, регресійний аналіз); здійснювати пошук латентних факторів, які визначають групові взаємозв'язки досліджуваного явища (факторний аналіз, латентно-структурний аналіз); класифікувати ознаки та об'єкти, проводити побудову типологій (факторний аналіз, кластерний аналіз); прогнозувати тенденції розвитку певного суспільного явища.

Таким чином, діяльність фахівців соціальної роботи вимагає вміння пізнавати, досліджувати, моделювати і, на основі цього, визначати найбільш доцільні способи вирішення проблем соціальної сфери, що передбачає необхідність формування в них готовності до науково-дослідної роботи.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ**

В функціонуванні багатьох систем присутній стохастичний елемент, тому при описі їх математичних моделей використовують випадкові процеси. Найчастіше статистика цікавить задача прогнозу функціонування системи, або, іншими словами, моделювання (прогнозування) випадкового процесу, що описує систему. Тому задача моделювання випадкових процесів є дійсно актуальною.

В даній доповіді розглядатиметься моделювання класу випадкових процесів Кокса.

Зауважимо, що в більшості методів моделювання не визначається точність та надійність моделювання. В даній роботі розглядатиметься метод, який дозволяє будувати моделі, що наближають випадкові процеси із заданою надійністю та точністю.

Позначимо  $\{\Omega, \mathfrak{F}, \mathbf{P}\}$  – стандартний ймовірнісний простір,  $\mathbf{B}$  –  $\sigma$ -алгебру борелівських підмножин  $\mathbf{T}$ ,  $\mathbf{T} \in \mathbf{R}$ .

Нехай  $\{Z(\omega, t), t \in \mathbf{T}\}$  – невід’ємний випадковий процес. Якщо умовний розподіл  $\{\nu(B), B \in \mathcal{B}\}$  при будь-якій реалізації  $Z(\omega, t)$  є пуассонівським процесом з функцією інтенсивності  $\mu(B) = \int_B Z(\omega_0, t) dt$ , то  $\nu(B)$  назовемо випадковим процесом Кокса, керованим процесом  $Z(\omega, t)$ .

Випадковий процес Кокса є подвійно стохастичним, тому спочатку моделюватимемо випадковий процес  $Z(\omega, t)$  (за допомогою якого породжується інтенсивність), а потім будуватимемо модель пуассонівської випадкової величини з відповідним середнім.

Будуть розглянуті випадки для деяких класів процесів, що породжують інтенсивність.

## **Література**

1. Булдігін В.В., Козаченко Ю.В. Метричні характеристики випадкових величин і процесів. – Київ: ТВіМС, 1998. – 290 с.
2. Погоріляк О.О. Моделювання логарифмічно строго субгауссових процесів Кокса // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія математика і інформатика. – 2011. – Випуск 22. № 2. – С. 109-116.
3. Козаченко Ю.В., Погоріляк О.О., Тегза А.М. Моделювання гауссових випадкових процесів та процесів Кокса. – Уж.: Карпати, 2012. – 194с.
4. Погоріляк О.О. Моделювання випадкових процесів Кокса, керованих броунівським рухом // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія математика і інформатика. – 2012. – Випуск 23. № 1. – С. 107-112.

## **ТЕХНОЛОГІЯ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ РОБОТИ ВЕНЧУРНИХ ФОНДІВ**

Із розвитком інформаційних технологій розвиваються компанії, які генерують технологічні ідеї. Для втілення ідей і становлення їх самостійним продуктом готовим для продажу необхідне фінансування. Одним із джерел фінансування такого роду – це венчурні фонди. Особливість функціонування венчурних фондів видно із назви (англ. «схильність до ризику» – venture)) і прибуток їх складається від покупки частки компанії (стартапу) за рахунок вкладення в них коштів. Основними особливостями венчурного фінансування є: відносно невелика величина частини власності; можливість ризикованих інвестувань у ранні стадії стартапу; безпосередня участь фонду в управлінні інвестованою компанією; отримання доходу за рахунок продажу частки власності компанії; можливості диверсифікації ризиків.

Основа управління ризиками венчурних фондів – це диверсифікація вкладення невеликих коштів у різні проекти. Оптимальна вважається діяльність при одночасному фінансуванні декількох проектів або спільне фінансування проектів силами кількох венчурних фондів.

Діяльність венчурного бізнесу може бути успішна якщо синхронно будуть працювати: венчурний фонд, стартап компанія і «венчурний менеджер». «Венчурний менеджер» – особа або компанія, що допомагає у пошуку інвесторів під стартап, а інвесторам оцінити ризики стартап проектів і побудувати ранжувальний ряд їх успішності.

Однією з основних причин виникнення розбіжностей між підприємцем і венчурним фондом є відсутність належної комунікації між двома сторонами, тобто інвестори часто не дуже вдало пояснюють підприємцям свою потребу та спосіб повернення коштів, а інколи венчурний фонд вирішує усунути засновника і найняти досвідченого виконавчого директора, а також розбіжність амбіцій.

«Венчурний менеджер» може бути наділений наступними функціями: управління портфелем інноваційних проектів (відбір, оцінка, балансування портфелем, оптимізація, моніторинг); управління безпосередньо інноваційним проектом (планування, реалізація, вихід на ринок, фінансування, управління персоналом); управління фінансовими, комерційними і технічними ризиками; фінансовий менеджмент інноваційного підприємства; моніторинг і контроль.

Таким чином, для забезпечення більш стабільного, менш ризикового функціонування венчурних фондів і обґрунтованості прийняття рішень щодо фінансування інноваційного проекту, постає актуальна задача створення нових підходів для оцінки ризику стартап проекту. Одним з таких підходів – це діяльність «венчурного менеджера» з застосуванням нових технологій.

Для розв'язання такої задачі необхідно розробити інформаційну технологію оцінювання стартап проектів в умовах невизначеності вхідних даних. Створення даної технології передбачає розроблення математичного апарату та конструювання програмного забезпечення у вигляді web-платформи. Використання такої web-платформи «венчурним менеджером» дозволить адекватно оцінювати стартап проекти, знайти під них інвестора та зменшити ризик фінансування венчурним фондам.

## **ВИКОРИСТАННЯ ФРЕЙМВОРКУ LARAVEL ЯК ОДИН З ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ САЙТІВ**

В цьому році в Ужгороді успішно була проведена Літня студентська школа з програмування, в якій прийняли участь кращі студенти України. Основною метою цієї школи було надання українським студентам можливості проявити свою майстерність у мистецтві розробки алгоритмів та складанні програм на високому міжнародному рівні, підвищення якості навчання з дисциплін, які передбачають програмування й алгоритмізацію у вищих навчальних закладах, сприяння підготовці фахівців високої кваліфікації в галузі програмування, налагодження транскордонного співробітництва та інтеграція нашої освіти в освітній простір європейських держав. Для розміщення інформації про школу, інформаційного супроводу, розміщення необхідних матеріалів для учасників було розроблено відповідний сайт [1]. При його створенні виникло питання про проект структури сайту та вибір ефективної технології для того, щоб сторінки сайту мали один стиль і створювалось відчуття єдності сайту; раціональне використання площі вікна браузера сторінками сайту; система навігації сайту була проста та інтуїтивно зрозуміла користувачам; легкий і швидкий доступ до важливих даних; ефективна робота сайту тощо. Провівши попередній аналіз можливих засобів, проектувальники зупинили свою увагу на фреймворку laravel 5.2. Саме використовуючи його спроектовано сайт. Він представляє собою MVC-структуру, яка створена за стандартами laravel (рис. 1).

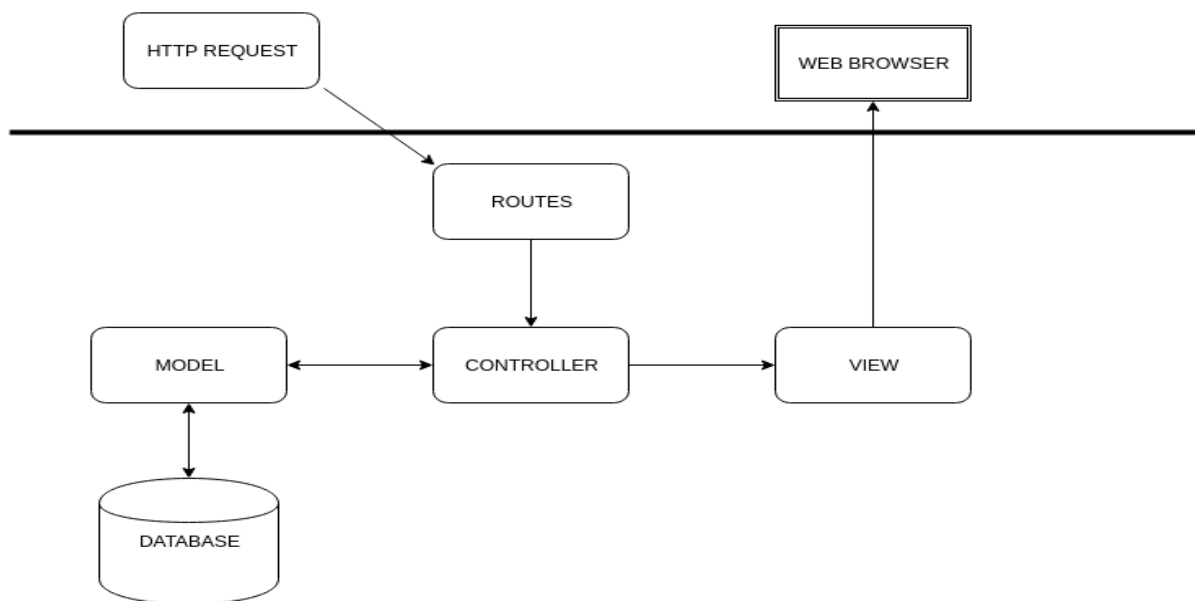


Рис. 1. MVC-структура, на якій базується сайт

За публічні сторінки сайту відповідає контролер FrontenController. Він містить методи, на яких збирається необхідна інформація і передається на відповідний інструмент view. На публічних сторінках веб-сайту відображається інформація про Літню школу та все необхідне для учасників про проведення школи: інформація про лекторів, теми лекцій, дати проведення, інформація про дозвілля, фото, презентації, результати кожного дня змагань тощо. Сайт доступний на двох мовах: український та англійський. Також до публічних сторінок сайту відноситься сторінка з презентаціями, де презентації представлені у вигляді галереї згрупованим за змістом.



Рис. 2. Головне меню сайту

Після старту Літньої школи та проведення перших змагань, на сайті відображались результати туру. Також з'явилась фотогалерея, відеоролик про школу тощо.

Крім контролеру FrontendController, у проекті є ще контролер UsersController, який відповідає за аутентифікацію користувачів, реєстрацію тренерів, та всі маніпуляції пов'язані з користувачами, та контролер TeamsController, який відповідає за управління командами. При авторизації користувачу відкриваються додаткові можливості. Надається змога створювати команди, та учасників команди. Тренер має можливість створити декілька команд, та кількість учасників команди не обмежується конкретним числом. Дані зареєстрованих команд та їх учасників зберігаються у базі даних і доступні адміністратору сайту, для подальшого використання інформації.

Після повного опрацювання матеріалів лекторів, планується їх викладка на сайті в зручному для перегляду вигляді.

### Література

1. Сайт Літньої студентської школи з програмування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://codeschool.uzhnu.edu.ua>.
2. Сайт фреймворку laravel [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://laravel.com>.

### **ДЕЯКІ ПРАКТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**

Відомо, що зручним інструментом для подання знань в інформаційних системах є нечіткі множини [2,4,5,6,7]. За допомогою нечітких множин можна описати, наприклад, картину симптоматики пацієнта в експертних діагностичних системах. Визначення (розпізнавання) діагнозу пацієнта в таких системах потребує використання механізмів логічного виведення. Зокрема, у випадку нечітких специфікацій як симптоматики так і діагностування, таким механізмом можуть бути так звані нечіткі системи логічного виведення, які будуються на основі ідей та методів індуктивної математики [1].

Під нечіткою специфікацією задачі розуміють упорядковану множину нечітких інструкцій. Нечітку специфікацію задачі разом з алгоритмом, при виконанні якого одержуємо нечітке розв'язання цієї задачі називатимемо нечіткою системою логічного виведення.

Отже, якщо  $x_1, \dots, x_n$  входні лінгвістичні змінні і  $y$  – вихідна лінгвістична змінна [2,4,5], то нечітка система логічного виведення має вигляд:

*якщо  $x_1 \in A_{11} \wedge \dots \wedge x_n \in A_{1n}$ , то  $y \in B_1$ ,*

*.....*

*якщо  $x_1 \in A_{m1} \wedge \dots \wedge x_n \in A_{mn}$ , то  $y \in B_m$ ,*

де  $A_{ij}$  і  $B_i$  – нечіткі множини, символ “ $\wedge$ ” інтерпретується як  $t$ -норма нечітких множин.

Зокрема, якщо  $X_1 = \{5, 10, 15, 20\}$ ,  $X_2 = \{5, 10, 15, 20\}$ ,  $X_3 = \{35, 36, 37, 38, 39, 40\}$  – простори для визначення значень лінгвістичних змінних

$x_1$ («Кашель») = {«слабкий», «помірний», «сильний»},

$x_2$ («Насморк») = {«слабкий», «помірний», «сильний»},

$x_3$ («Температура») = {«нормальна», «підвищена», «висока», «дуже висока»}

відповідно, а  $Y = \{\text{Грип, ОРЗ, Ангіна, Запалення легенів}\}$  – простір для визначення значень лінгвістичної змінної  $y$ , то залежність хвороби пацієнта від його симптомів може бути описана, наприклад, наступною системою специфікацій:

*якщо  $x_1 \in \text{«слабкий»} \wedge x_2 \in \text{«слабкий»} \wedge x_3 \in \text{«підвищена»}$ , то  $y \in \text{«0.5/Грип + 0.5/ОРЗ + 0.4/Ангіна + 0.8/Запалення легенів»}$ ;*

*якщо  $x_1 \in \text{«слабкий»} \wedge x_2 \in \text{«помірний»} \wedge x_3 \in \text{«дуже висока»}$ , то  $y \in \text{«0.9/Грип + 0.7/ОРЗ + 0.8/Ангіна + 0.2/Запалення легенів»}$ .*

Відомо [1,3], що задача розпізнавання структур білка різних рівнів організації є досить складною. Для її розв'язання пропонується метод розпізнавання вторинної структури ДНК з допомогою нечітких систем логічного виведення. Задача полягає в наступному: необхідно побудувати нечітку систему логічного виведення, яка за довільною амінокислотною послідовністю визначала б (у вигляді нечіткої множини) вторинну структуру центрального залишку (амінокислоти) входної послідовності.

#### **Література**

1. Гупал А.М., Сергиенко И.В. Оптимальные процедуры распознавания. – Киев. – Наукова думка, 2008. – 232 с.
2. Katerynych, L., Provotar, A. Neural Networks Diagnostics in Homeopath System. International Journal «Information Theories & Applications». 15, 89-93 (2008).
3. Леск А. Введение в биоинформатику. – Москва. – БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 320 с.
4. Provotar A.I., Lapko A.V., Provotar A.A. Fuzzy Inference Systems and Their Applications. International Scientific Journal «Cybernetics and Systems Analysis». 49, 517–525 (2013).
5. Zadeh L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. Fuzzy Sets and Systems. 1, 3-28 (1978).



## **ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЯ**

Начиная с работы [1] и до настоящего времени, одним из основных подходов в рамках «когнитивного моделирования» для описания сложноструктурированных слабоформализуемых систем и процессов считается подход на основе когнитивных карт (пример [2]). Это вводит в заблуждение многих исследователей направления ИИ, особенно начинающих, так как к собственно «когнитивности» такой подход не имеет (прямого) отношения.

Когнитивный подход призван объяснить, прежде всего, схемы репрезентации действительности и мышления, которые существуют в живой природе, что накладывает существенные ограничения на выбор инструментов моделирования, так как когнитивные модели приобретают фундаментальную значимость благодаря своей способности органично вписываться в рамки доконцептуальной структуры [3]. В когнитивных моделях априорного (доконцептуального, интуитивно-образного) мышления нельзя использовать [3, 4] традиционные математические логики и сложные дедуктивные рассуждения, теорию вероятностей и ее варианты, математическую статистику, традиционный нечеткий подход (как одноуровневый подход), традиционную оптимизацию (по этой причине мозг является плохим арифмометром). Опираются можно только на фундаментальные законы Универсума (физические, химические и биологические), в частности: спонтанную самоорганизацию, самоорганизованную критичность и нестабильность; естественный отбор (нейродарвинизм); фундаментальные нелинейные явления (динамический хаос в нелинейных системах и возможность синхронизации слабо связанных, удаленных нелинейных систем); фрактальную картину мира; аутопойезис и метапереходы; макроквантовые корреляции (нелокальность, запутанность), когерентность; метаболизм, каталитические и цепные реакции. При этом необходимо понимать, что у конкретного вида могут возникать не произвольные когнитивные структуры, а вполне определенные или «генетически» обусловленные.

Отрицательными проявлениями когнитивности являются иллюзия знания, когнитивная слепота, «когнитивный барьер», немонотонность решений и другие. Данные недостатки преодолеваются за счет социализации (рой, стая, колония, социум) и создания партнерских систем.

Несмотря на свои огромные преимущества с точки зрения компьютерного моделирования, возможности (традиционной) логики ограничены. Это медленный, контролируемый процесс, который поэтапно основывается на предыдущих выводах, но не может пойти намного дальше известных фактов и теорий. Чтобы сделать большой прорыв, нужно обладать специфическими способностями. Естественные когнитивные системы обладают такими способностями. Это, прежде всего, интуитивно-образное мышление, которое присуще большинству животных. Интуиция человека имеет три больших преимущества: она способна идти впереди логики, она работает гораздо быстрее логики и она может использовать логику и ее продукты.

Моделировать работу интуитивно-образной компоненты природных когнитивных систем, включая принятие решений, авторы предлагают на основе *естественной логики* (ЕЛ) в рамках парадигмы предельных обобщений (ППО) [3-5]. ЕЛ приводит к зачатию рациональности как адаптивного инструмента, который не идентичен правилам формальной логики или вероятностного исчисления [7]. Возможно ЕЛ станет частью универсальной логики [6], а также эпистемологической и гранулярной логики. В работах [7, 8] подчеркивается «The Anti-Psychologism of Formal Logic» и выделяется «Intuition as a Strategy of Natural Logic».

ЕЛ в рамках ППО базируется на концепции «тонкого среза» - предельно сжатого обобщенного смысла любого фрагмента реальности. «Срез» в рамках любой Z-задачи различения представляет собой совокупность инвариантов «внутренние коды» (ВК), на базе которых формируются базисы предельных моделей знаний (базисы ПМЗ). Некоторые ВК описывают параметры порядка ситуаций действительности. Базисы ПМЗ решают Z-задачу. Их работа – процесс решения задачи различения – это спонтанный процесс, регулируемый только наличными ресурсами (энергией), т.е. протекает, как правило, «бессознательно» (вне логического контроля). ВК могут выступать в качестве цели управления, обеспечивая единство решения задач различения и управления.

ЕЛ-ППО раскрывается, в частности, в следующих концептах и моделях [3 - 5]:

- «коннектом» когнитивной системы (саморазворачивание, самоактуализация, пространство задач; «переживание» – построение арт-набросков образов, ситуаций с иными исходами и затратами; механизм «интуиции» на основе авто/гетеро-ассоциативных моделей знаний);
- «пространство событий» (формирование индукторов событий, «переживание» – эмоциональное кодирование и перекодирование событий);
- «континуум задач» (пространство задач; когерентный имплицитный запуск в решение и получение решения огромного количества задач различения);
- «синдромный принцип управления – СПУ» (ЕЛ принятия решений и управления);
- «модель деятельности» (ЕЛ организации деятельности, поведения);
- энергетические фазовые переходы в ментальной сфере (распределение ресурсов по задачам, управление деятельностью, «переживание» - актуализация набросков образов, гиперболическое смысловое пространство);
- концептосфера (естественные языки, онтологии, семантические сети, ментальные карты/пространства, интеллект-карты, когнитивные карты, многоцелевой банк знаний)
- пространство системопаттернов, системоквантов, действий (ритмокаскад активности, гомеостаз, фрактальное время; «переживание» - эмоциональное кодирование и перекодирование системопаттернов).

### Литература

1. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites / R.Axelrod. - Princeton University Press, 1976. – 404 p.
2. Романенко В.Д., Миявский Ю.Л. Управление неустойчивыми динамическими режимами сложных систем на основе когнитивных моделей // Праці VII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень» (Ужгород, 29 вересня – 4 жовтня 2014 р.). – Ужгород, УжНУ, 2014. - С. 214 – 217.
3. Прокопчук Ю. А. Парадигма предельных обобщений: модели когнитивных архитектур и процессов / Ю. А. Прокопчук. - Saarbrucken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 204 с.
4. Системный анализ и управление сложными системами в условиях неопределенности / А.П. Алпатов, В.Т. Марченко, Ю.А. Прокопчук, А.П. Сарычев, С.В. Хорошилов. - Днепропетровск : ИТМ НАН и ГКА Украины, 2015. - 196 с.
5. Прокопчук Ю.А. Когнитивные информационные технологии в задачах управления и принятия решений: проблемы и решения / Ю. А. Прокопчук // Соціально-економічний та технічний розвиток підприємств: проблеми, рішення, оцінка ефективності: колективна монографія. /за заг. ред. Савчук Л. М. – Дніпропетровськ : Пороги, 2016. – С. 513 - 525.
6. Logica Universalis: Towards a General Theory of Logic/ Ed.by J. Beziau. Basel: Birkhauser Verlag, 2007.
7. Maldonato M., Dell'Orco S. Natural Logic: Exploring Decision and Intuition. – UK: Sussex Academic Press, 2011. - 112 p.
8. Maldonato M., Montuori A., Dell'orco S. The exploring mind. Natural logic and intelligence of the unconscious. - Publisher: Mauro Maldonato, 2013. – 211 p.

## КОГНИТИВНЫЕ ИЛИ «ОСМЫСЛЕННЫЕ» ИЗМЕРЕНИЯ НА БАЗЕ СИСТЕМ СМЫСЛОПОРОЖДЕНИЯ

Традиционные способы измерения нацелены на предоставление сухих данных (например, городские карты, медицинские карты), но обычно этого уже недостаточно, причем независимо от сферы деятельности. Очевидно, что сегодняшние и завтрашние измерительные приборы должны подавать своим пользователям идеи, извлекаемые из результатов измерений, обработанные до осмысленного контекста и позволяющие пользователю двигаться дальше в направлении более глубокого понимания ситуации. Среди важнейших факторов повышения интеллектуальности измерений – возможность автоматического построения модели процесса (получение новых системных знаний об изучаемом процессе или объекте); определение требуемой точности измерения входных параметров, снижение ресурсоемкости измерений, необходимых для решения той или иной задачи различения (управления); повышение отказоустойчивости информационно-измерительных систем (например, систем мониторинга) в условиях действия сильных повреждающих факторов; повышение робастности и способности добычи данных в условиях высокой неопределенности и зашумленности; автоматический контроль ошибок ввода данных; обеспечение аудита измерений.

Измерительную систему с требуемыми свойствами будем строить в рамках когнитивного подхода [1 - 4]. Предполагается, что произвольную ситуацию действительности (прецедент, систему, процесс) можно описать с помощью множества элементарных тестов (квалиа), представимых в виде «тест = значение». Результаты любого теста  $\tau$  могут выбираться из разных доменов  $T$  (множеств значений), которые образуют оргграф доменов  $G(\tau) = \{T \rightarrow T'\}_\tau$ . В совокупности оргграфы образуют *Банк тестов*  $\{G(\tau)\}$ , который задает полимодальную систему измерений с интерпретацией. Для решения той или иной когнитивной задачи ( $Z$ -задачи) формируется множество прецедентов с известными исходами  $\Omega = \{\alpha(\{\underline{t}/T\}, \underline{z}/Z)\}$ , где  $Z = \{1, \dots, N\}$  – множество заключений (различий, диагнозов, прогнозов, управлений);  $\{\underline{t}/T\}$  – множество значений тестов.  $Z$ -задачи вместе с другими тестами формализуют акты различения (дифференциации).

Пусть  $\{V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)\}$  – закономерности в рамках контекста  $K = \langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ , позволяющие однозначно установить заключение  $\underline{z}/Z$ , а  $\{\Phi^V\}$  – множество всех операций обобщения закономерностей в рамках контекста  $K$ , представляющие собой элементарные акты познания. Когнитивный аналог оператора Хатчинсона на множестве операций  $\{\Phi^V\}$  определим следующим образом:

$$W(\{V\}) = \{W(V) \mid V \in \{V\}\}, \quad W(V) = (\{V' \mid V \rightarrow_{\Phi^V} V', \Phi^V \in \{\Phi^V\}\}, \text{ if } |\{V'\}| \neq \emptyset) \vee (V, \text{ if } |\{V'\}| = \emptyset),$$

где операция ' $\vee$ ' означает «исключающее или» (если ни одну операцию обобщения применить к  $V$  не удалось, то результатом  $W$  является сама закономерность  $V$ ). Ясно, что  $\forall \{S^*\} \quad W(\{S^*\}) = \{S^*\}$ , где  $S^*$  – предельные синдромы (закономерности  $V$ , которые нельзя обобщить).

Пусть  $H(\{V\}_{Full})$  – множество непустых подмножеств  $\{V\}_{Full}$ , тогда когнитивный аналог оператора Хатчинсона  $W$  описывает детерминированную дискретную динамическую систему с пространством состояний  $H(\{V\}_{Full})$  и преобразованием  $W$ . Если  $W^n$  – композиция порядка  $n$  оператора  $W$ , то последовательность множеств, полученную в результате итерирования  $\{V\}$ , т.е.  $\{\{V\}, W(\{V\}), W^2(\{V\}), \dots, W^n(\{V\}), \dots\}$  назовем *смысловой орбитой*  $\{V\}$ . Объединение множеств  $W^n(\{V\}_0) \quad n=0,1,2,\dots$  дает полную совокупность идеальных закономерностей:  $\{V\}_{Full} = \bigcup_{n=0,1,2,\dots} W^n(\{V\}_0)$ ,  $\{V\}_0 = \{\{\underline{t}/T_0\}_\alpha \rightarrow (\underline{z}/Z)_\alpha \mid \alpha \in \Omega(\{\underline{t}/T_0\}, Z)\}$ . Пределом смысловой орбиты является полное множество всех предельных синдромов, а

именно:  $\lim_{n \rightarrow \infty} W^n(\{V\}_0) = \{S^*\}_{Full}$ .

Общую схему категоризации («стрелу познания», конденсацию смысла) представим в виде:

$$\{V\}_0 \rightarrow W(\{V\}_0) \rightarrow \dots \rightarrow \{S^*\}_{Full} \rightarrow \{\{S^*\}_{Min}\}_{Full}, \quad E_Z \geq 0., \quad E_Z \geq 0,$$

где  $E_Z$  – энергия (параметр порядка),  $\{\{S^*\}_{Min}\}_{Full}$  – базис предельных моделей знаний (ПМЗ). Финальные базисы ПМЗ являются *инвариантами высокого порядка в структуре задачи*. Замена одной ПМЗ на другую ведет к полной перестройке включенной в решение задачи функциональной системы. Подвижная диамическая структура базисов ПМЗ, формируемая вероятностным участием в них отдельных элементов, обуславливает большую гибкость и легкость перестроек межэлементных связей; эти перестройки объясняют высокую пластичность, характерную для «нервных» механизмов высших отделов «мозга».

«Стрела познания» реализует ключевое умение выделять только *существенную информацию*, невзирая на объем базы прецедентов. Считается, что именно в *фильтрации существенного лежит ключ к пониманию принципов*, по которым будет работать Ambient Intelligence.

Опишем процесс автоматического и имплицитного формирования базиса моделей знаний  $\{\{V\}_T\}$  на основе банка тестов  $\{G(\tau)\}$ . Пусть имеется кадр данных  $\{\tau/T_0\}$  и банк тестов  $\{G(\tau)\}$ . Без потери общности примем, что каждый тест входит в кадр не более одного раза. Поток данных представляет собой текущую совокупность всех кадров  $\cup_i \{\tau/T_0\}_i$ .

*Имплицитное обучение без учителя* на основе потока данных с кадром  $\{\tau/T_0\}$  означает следующее: 1) фиксируется текущее множество данных; 2) фиксируется произвольный тест  $z \in \{\tau\}$ ; 3) фиксируется произвольный домен  $Z$  из  $G(z)$ ; 4) все данные  $z$ -теста в потоке  $\cup_i \{\tau/T_0\}_i$  преобразуются к домену  $Z$ , следовательно, возникает  $Z$ -задача с базой прецедентов  $\Omega = \cup_i \{\tau/T_0\}_i$ ; 5) для возникшей  $Z$ -задачи формируются базисы моделей знаний. Процедура повторяется для всех  $z \in \{\tau\}$  и всех доменов  $Z$  из  $G(z)$ . После добавления нового кадра весь процесс повторяется заново. В результате обновляются все авто/гетеро-ассоциативные модели знаний «ИКС-коннектома» (ИКС – искусственная когнитивная система).

Возбуждение части тестов через тысячи связей с другими тестами ИКС-коннектома способно почти моментально вызвать богатейшую сеть ассоциаций. ИКС-коннектом, как и био-коннектом, иллюстрирует авто/гетеро-ассоциативность, распределенность, робастность и активность памяти. Задачи «вшиты» в «коннектом» и генерируются автоматически (аналог «подсознательной» активности мозга). Именно ИКС-коннектом, формируя систему смыслопорождения [2], обеспечивает достижение необходимых свойств информационно-измерительной системы.

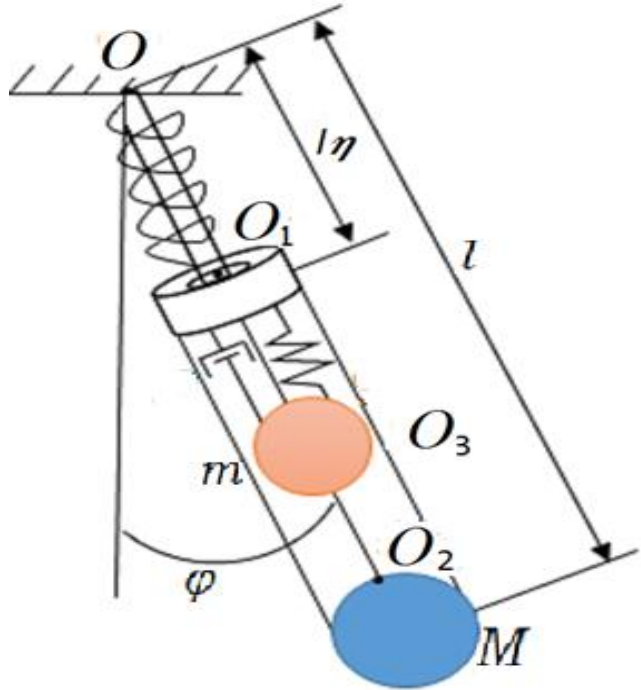
### Литература

1. Системный анализ и управление сложными системами в условиях неопределенности / А.П. Алпатов, В.Т. Марченко, Ю.А. Прокопчук, А.П. Сарычев, С.В. Хорошилов. - Днепропетровск : ИТМ НАН и ГКА Украины, 2015. – 196 с.
2. Прокопчук Ю.А. Построение систем смыслопорождения на основе парадигмы предельных обобщений / Ю.А. Прокопчук // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2014. – Т. 16, № 1. – С. 88-96.
3. Прокопчук Ю.А. Технологическая платформа ургентных вычислений на основе когнитивного подхода /Ю.А. Прокопчук, А.С. Белецкий // Збірник наукових праць міжнародної конференції “Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті” (м. Херсон, 24 – 26 травня 2016р.). - Херсон: ХДМА, 2016. – С. 34 – 37.
4. Прокопчук Ю.А. Когнитивные информационные технологии для решения задач мониторинга состояния и управления сложными техническими системами /Ю.А. Прокопчук, А.С. Белецкий // 16 Українська конференція з космічних досліджень (Одесса, 22 – 27 серпня 2016 р.). – Київ : «Академперіодика», 2016. – С. 152

## СТАБІЛІЗАЦІЯ МАЛИХ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА ЗМІННОЇ ДОВЖИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕМПФЕРА ПАСИВНОГО ТИПУ

Використання демпферів пасивного типу [1] широко застосовується в сучасній техніці, як для відносно простих систем (два - три ступеня свободи), так і досить складних (підвісні мости, висотні споруди, космічні супутники і орбітальні станції тощо). До переваг демпферів пасивного типу можна віднести їх відносну простоту, надійність і низькі енергетичні витрати. Типовим прикладом демпфера пасивного типу є динамічний абсорбер (dynamical absorber [2]) або динамічний поглинач коливань. Він є приєднаною масою, яка зазвичай моделюється як матеріальна точка і характеризується масою, жорсткістю і коефіцієнтом в'язкого тертя. Абсорбер може бути використаний для заспокоєння вільних коливань механічної системи, а також вібрацій, викликаних дією зовнішньої періодичної сили.

В роботі розглянуто задачу про пасивну стабілізацію малих коливань маятника змінної довжини, який є масою, що підвішено на пружині. В якості узагальнених координат взято кут  $\varphi$  між віссю маятника і напрямком сили тяжіння та безрозмірні величини, що характеризують, відповідно, відстані від муфти до нерухомої точки і абсорбера від муфти:



З теоретичної точки зору, задача не є тривіальною, тому що дисипація енергії в системі не є повною, тому не можна застосувати класичні теореми Кельвіна – Четаєва. Більш того, лінійне наближення рівнянь збуреного руху є нейтральним, тобто має місце критичний випадок суто уявних коренів. Тому для розв'язання задачі був використаний прямий метод Ляпунова, а саме – підхід О.Я. Савченка

[3] з модифікацією, запропонованій у роботі [4]. Розглянута система

$$\frac{d\mathbf{x}}{d\tau} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \sum_{s=1}^4 \xi_s \mathbf{C}^{(s)} \mathbf{x}, \quad \frac{d\xi}{d\tau} = \mathbf{B}\xi + \sum_{j=1}^2 x_j \mathbf{D}^{(j)} \mathbf{x}, \quad (1)$$

$$\text{де } \mathbf{x} = (x_1, x_2)^T = \left(\varphi, -\frac{\varphi'}{\omega}\right)^T, \quad \xi = (\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4)^T = (\eta, \eta', u, u')^T, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & -\omega \\ \omega & 0 \end{pmatrix},$$

$\omega = \sqrt{\mu}$ ,  $\mathbf{C}^{(s)}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{D}^{(j)}$  – квадратні матриці відповідних порядків.

Функцію Ляпунова для системи (1) обрано у вигляді

$$V(z, \bar{z}, \xi) = \alpha z \bar{z} + \beta V_*^{(2)}(\xi) + V^{(3)}(z, \bar{z}, \xi) + V^{(4)}(z, \bar{z}). \quad (2)$$

Тут  $z = x_1 + ix_2$ ,  $\alpha, \beta$  – деякі константи,  $V^{(j)}$  ( $j = 2, 3, 4$ ) – форма порядку  $j$ , причому  $V_*^{(2)}$  є додатно визначеною. Коефіцієнти форми  $V^{(3)}$  можна обрати таким чином, щоб повна похідна функції  $V$  за часом в силу системи (1) мала вигляд

$$\frac{dV}{d\tau} = \beta V_*'^{(2)}(\xi) + G(z\bar{z})^2 + V_*'^{(4)}(z, \bar{z}, \xi) + \dots,$$

де  $V^{(2)}$  – від’ємно визначена квадратична форма, а  $G$  – константа, яка залежить від параметрів системи (тобто коефіцієнтів правих частин рівнянь (1)). Встановлено, що ця константа є від’ємною для всіх припустимих значень параметрів.

Таким чином, якщо обрати константи  $\alpha, \beta$  додатними, то при достатньо малому функція  $V$  і її похідна задовольняють всім умовам теореми Ляпунова про асимптотичну стійкість, отже стан рівноваги маятника стає асимптотично стійким. Цей результат є справедливим для довільних припустимих значень параметрів досліджуваної механічної системи, зокрема, для будь-яких співвідношень між частотами поздовжніх і поперечних коливань маятника. Останній факт є важливим, тому що для маятника без абсорбера можливе виникнення вертикальних коливань, внаслідок чого може відбуватися "розгойдування" системи (виникає параметричний резонанс). Таким чином, використання динамічного абсорбера унеможливило виникнення вертикальних незатухаючих коливань і усуває загрозу необмеженого зростання амплітуди збуреного руху.

## Література

1. Johnson C.D., Design of Passive Damping Systems / C.D. Johnson // Journal of Vibration and Acoustics.–117(B).– 1995.– Pp. 171-175.
2. Encyclopedia of Vibrations, Ed. S. Braun, D. Evins, S.S. Rao, Academic Press, 2001.
3. Савченко А.Я., Игнатьев А.О. Некоторые задачи устойчивости неавтономных динамических систем. – Киев: Наук. думка, 1989. – 208 с
4. Пузырев В.Е., Савченко Н.В. Асимптотическая устойчивость положения равновесия двойного маятника с присоединенной массой // Механика твердого тела. Вып.44. 2014. С.75-86.

**Романенко В.Д., Мілявський Ю.Л.**

Навчально-науковий комплекс «Інститут прикладного системного аналізу» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

*ipsa@kpi.ua, yuriy.milyavsky@gmail.com*

## МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ДИНАМІКОЮ СКЛАДНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВАРІЮВАННЯ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ

Для дослідження сценаріїв розвитку складних систем різної природи використовується когнітивне моделювання, в основі якого знаходиться поняття когнітивної карти. Згідно з [1, 2] когнітивна карта (КК) – це зважений орієнтований граф, вершини якого відображають деякі фактори (поняття, концепти, координати) складної системи, а ребра – зв’язки між цими факторами. В роботі [2] математичний апарат теорії графів використовувався для моделювання статичних режимів соціально-економічних процесів.

При дії зовнішніх збурень на вершини когнітивної карти в ній виникає імпульсний процес, динаміку якого описано в [2] таким різницеvim рівнянням:

$$\Delta y_i(k+1) = \sum_{j=1}^n a_{ij} \Delta y_j(k), \quad (1)$$

де перші різниці  $\Delta y_i(k) = y_i(k) - y_i(k-1)$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

У векторній формі вираз (1) можна записати як

$$\bar{y}(k+1) = W \Delta \bar{y}(k), \quad (2)$$

де  $W$  – вагова матриця суміжності.

У роботах [3, 4, 5] запропоновано автоматизацію управління імпульсними процесами в когнітивних картах складних систем здійснювати шляхом формування зовнішнього вектора керування на основі варіювання координат вершин КК в замкнених системах управління з використанням відомих методів теорії автоматичного управління. Для цього на основі рівняння (2) формується динаміка вимушеного руху КК при імпульсному процесі у повних значеннях координат вершин:

$$\bar{y}(k+1) = (I + W - Wq^{-1})\bar{y}(k) + Bq^{-1}\Delta\bar{u}(k), \quad (3)$$

де  $\Delta\bar{u}(k) = \bar{u}(k) - \bar{u}(k-1)$  – перша різниця вектора керуючих дій, які формуються при синтезі системи керування. Матриця  $B$  формується проектувальником системи когнітивного управління і, як правило, складається з одиниць і нулів.

У цій доповіді розглядається новий принцип синтезу вектора управління імпульсним процесом КК в замкненій системі на основі варіювання вагових коефіцієнтів  $a_{ij}$  когнітивної карти при реалізації керуючих дій  $\Delta\bar{u}(k)$ . Це можливо тоді, коли можна змінювати величину впливу  $\Delta a_{ij}(k)$  однієї вершини КК на іншу вершину на  $k$ -му періоді дискретизації. Для цього динаміка вимушеного руху (3) може бути записана у векторно-матричній формі:

$$\bar{y}(k+1) = (I + W - Wq^{-1})\bar{y}(k) + L(k)\Delta\bar{a}(k), \quad (4)$$

де матриця  $L(k)$  складається з вимірюваних координат  $y_{\mu}(k)$  когнітивної карти, які через дуги із змінюваними ваговими коефіцієнтами  $\Delta a_{i\mu}(k)$  впливають на координати  $y_i(k+1)$ , ( $i = 1, 2, \dots, \mu$ ). При цьому в якості керуючої дії  $\Delta u_{i\mu}(k)$  застосовується приріст вагового коефіцієнта  $\Delta a_{i\mu}(k)$ . У доповіді сформульовано правила формування вектора приростів вагових коефіцієнтів  $\Delta\bar{a}(k)$  та матриці  $L(k)$ .

Синтез вектора управління  $\Delta\bar{a}(k)$  реалізується на основі мінімізації квадратичного критерію оптимальності:

$$J(k+1) = E \left\{ [\bar{y}(k+1) - \bar{G}]^T [\bar{y}(k+1) - \bar{G}] + \Delta\bar{a}^T(k) R \Delta\bar{a}(k) \right\}, \quad (5)$$

де  $\bar{G}$  – вектор задаючих дій для стабілізації координат вершин КК на заданих рівнях;  $R$  – діагональна додатньо-визначена матриця. В результаті мінімізації критерію (5) з використанням (4) виконується прийняття рішень з формування вектора  $\Delta\bar{a}(k)$ :

$$\Delta\bar{a}(k) = -[L^T(k)L(k) + R]^{-1}L^T(k)[(I + W - Wq^{-1})\bar{y}(k) - \bar{G}].$$

Практичне дослідження цього методу проведено для когнітивної карти соціально-навчального процесу студента.

## Література

1. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites / Princeton University Press, 1976. – 404 p.
2. Roberts F. Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological and Environmental Problems / Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1976. – 559 p.
3. Романенко В.Д. Метод адаптивного управления неустойчивыми импульсными процессами в когнитивных картах на основе эталонных моделей / В.Д.Романенко, Ю.Л.Милявский, А.А.Реутов // Проблемы управления и информатики. – 2015. – № 2. – С. 35–45.
4. Романенко В.Д. Управление соотношениями координат когнитивной модели сложной системы при неустойчивом импульсном процессе / В.Д.Романенко, Ю.Л.Милявский // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 1. – С. 121–129.
5. Романенко В.Д. Стабилизация импульсных процессов в когнитивных картах сложных систем на основе модальных регуляторов состояния / В.Д.Романенко, Ю.Л.Милявский // Кибернетика и вычислительная техника. – 2015. – Вып. 179. – С. 43–55.

## **COLITES - ОБНАРУЖЕНИЕ ОКОЛОНУЛЕВОГО ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ**

В связи с проблематикой астероидно-кометной опасности [1] астероидные обзоры с автоматической обработкой их результатов в настоящее время являются значимым направлением использования современных методов астрометрии. Небесные объекты Солнечной системы (ССО), как правило, имеют ненулевую скорость видимого движения, а объекты, не принадлежащие Солнечной системе (звезды, галактики), имеют нулевую скорость видимого движения.

Большое количество потенциально опасных объектов [2] могут являться астероидами с околонулевым видимым движением. Также большая часть малых тел Солнечной системы, во время своего нахождения за орбитой Юпитера, включая многие кометы с малыми апогелиями, имеют околонулевою скоростью видимого движения. Это обстоятельство существенно снижает показатели качества обнаружения указанных объектов существующими методами. На этой дистанции данные объекты могут быть обнаружены традиционными методами обработки результатов наблюдения лишь при очень длительном наблюдении.

Для эффективности астрономических наблюдений необходимо ПО автоматизированной обработки кадров астероидных обзоров.

ПО CoLiTec проводит автоматизированное обнаружение астероидов, астрометрические и фотометрические измерения за приемлемое время с последующим визуальным подтверждением результатов, <http://www.neoastrosoft.com> [3].

Достоверность обнаружения движущихся объектов 100% сохраняется вплоть до нижней границы отношения сигнал-шум 3 в случае наличия минимальной серии из 4 кадров, при отсутствии покрытия звезд астероидом, и уменьшается до 50% для отношения сигнал-шум 2 при аналогичных условиях.

ПО CoLiTec обнаруживает объекты с очень малым и очень большим видимым движением. Диапазон видимых скоростей движения обнаруженных астероидов составляет 0,7-40,0 пикс./кадр. Например, самым быстрым из наблюдавшихся АСЗ является астероид K12C29D (40 пикс./кадр), а медленным объектом является комета ISON C/2012 S1 (0,8 пикс./кадр) [4].

Также в ПО CoLiTec внедрены разработанные вычислительные методы обнаружения околонулевого видимого движения объектов на серии CCD-кадров, основанные на критериях значимости фактора скорости видимого движения исследуемых объектов. Основной особенностью разработанных вычислительных методов является использование решающих правил проверки статистической значимости фактора скорости видимого движения объекта на исследуемой серии измерений с использованием таких критериев проверки значимости факторов как t-критерия Стьюдента [5] и f-критерия Фишера [6], вместо традиционных решающих правил, основанных на критерии максимального правдоподобия [7].

С помощью методов статистического и натурного моделирования были проведены исследования показателей качества обнаружения околонулевого видимого движения объекта на серии CCD-кадров. В качестве натуральных данных используются измерения положения объектов, включенных во внутренний каталог (ВК) объектов, неподвижных на серии кадров [3]. Методы учитывают основные особенности формирования измерений положения исследуемого объекта и особенности применения различных методов обнаружения околонулевого видимого движения исследуемого объекта на серии CCD-кадров.

ПО CoLiTec содержит в себе следующие особенности реализации: выполнение обработки кадров в течение наблюдения; многопоточная поддержка многопроцессорных



систем и локальной сети; возможность работы с телескопами с очень широким полем зрения (до 10 градусов); автоматическое обнаружение слабых движущихся объектов ( $\text{SNR} > 2.5$ ).

Просмотр результатов работы осуществляется с помощью выювера LookSky с дружественным интерфейсом. Также существует мобильная версия выювера. Результаты CoLiTec можно контролировать из любой точки мира.

С использованием CoLiTec было открыто 4 кометы (C/2010 X1 (Elenin), P/2011 NO1 (Elenin), C/2012 S1 (ISON), P/2013 V3 (Nevski)). С помощью CoLiTec в MPC послано более 600 000 измерений, предварительно открыто более чем 1500 объектов. Среди них 21 троянский астероид Юпитера, 4 NEO и 1 кентавр.

По суммарным итогам 2011-2012 года обсерватория ISON-NM заняла 7 место как по количеству предварительных открытий, так и по количеству измерений астероидов.

Был разработан конвейер обработки цифрового видео, представленный как ультрагибкая платформа для получения, обработки видео любого разрешения, а также легкой интеграции различных необходимых модулей для улучшения качества изображения, оконтуривания и распознавания движущихся объектов на входном видеоряде.

Доклад описывает новые принципы, технологии для кроссплатформенности, которые были применены во время создания новой версии ПО CoLiTec. А также подходы для качественного контроля выполняемого процесса обработки, которые были пересмотрены.

За последний год значительное внимание было уделено работам по превращению реализованной астрометрии и фотометрии в современные, что содержат в себе резервы для улучшения точности измерений. Также разрабатывается возможность индивидуальной привязки астрометрической и фотометрической редукции к телескопам и повышения за счет этого точности наблюдений.

Был проведен сравнительный анализ точности между ПО CoLiTec и ПО Astrometrica. Анализ выявил преимущество ПО CoLiTec перед ПО Astrometrica в астрометрии и фотометрии астероидов, в случае работы с широким полем и кадрами низкого качества.

В ближайшее время планируется уделить внимание разработке вычислительных методов для исследования параметров внутрикадровой и межкадровой обработки с целью улучшения точности измерений и чувствительности уже разработанных и внедрённых в ПО CoLiTec алгоритмов обработки.

### Литература

1. David P. S. Defending Against Asteroids and Comets [Text] / P.S.David Dearborn, P.L.Miller. – Springer International Publishing. Handbook of Cosmic Hazards and Planetary Defense. 2014. – P. 1–18. doi: 10.1007/978-3-319-02847-7\_59-1.
2. Kortencamp S. Asteroids, Comets, and Meteorids [Text] / S.Kortencamp. – Mankato, MN: Capstone Press, 2012.
3. Саваневич В.Е. Программа CoLiTec автоматизированного обнаружения небесных тел со слабым блеском [Текст] / В.Е.Саваневич, А.Б.Брюховецкий, А.М.Кожухов, Е.Н.Диков, В.П.Власенко // Космічна наука і технологія. – 2012. – Т. 18 (1). – С. 39–46.
4. Minor Planet Center, COMET C/2012 S1 (ISON) [Electronic resource]. – Available at: <http://www.minorplanetcenter.org/mpc/K12/K12S63.html>.
5. Ермаков С.М. Математическая теория оптимального эксперимента [Текст] / С.М.Ермаков, А.А.Жиглявский. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
6. Phillips P.C.B. The true characteristic function of the F distribution [Text] / P.C.B.Phillips // Biometrika. – 1982. – Vol. 69, Issue 1. – P. 261–264. doi: 10.1093/biomet/69.1.261.
7. Myung I. J. Tutorial on maximum likelihood estimation [Text] / I.J.Myung // Journal of Mathematical Psychology. – 2003. – Vol. 47, Issue 1. – P. 90–100. doi: 10.1016/s0022-2496(02)00028-7.

## ПРО МОДУЛЯРНІ МАТРИЧНІ ЗОБРАЖЕННЯ ЗНАКОЗМІННОЇ ГРУПИ ЧЕТВЕРТОГО СТЕПЕНЯ

Однією із актуальних задач теорії зображень груп є задача класифікації зображень. Розв'язання цієї задачі для багатьох класів скінченних груп можна знайти в монографіях по теорії зображень груп, наприклад у таких як [1,2]. Нами вивчаються деякі модулярні зображень знакозмінної групи степеня 4, з точністю до, так званої, узагальненої еквівалентності. Термін «узагальнена еквівалентність зображень» був введений у роботі [3]. Нагадаємо матричні зображення  $\Gamma: G \rightarrow \text{GL}(n, F)$  і  $\Delta: G \rightarrow \text{GL}(n, F)$  скінченної групи  $G$  над деяким полем  $F$  натурального степеня  $n$  називаються узагальнено еквівалентними, якщо існують автоморфізм  $\varphi$  групи  $G$  та оборотна матриця  $C$  з повної лінійної групи  $\text{GL}(n, F)$  такі, що  $C^{-1}\Gamma(g)C = \Delta(\varphi(g))$  для довільного елемента  $g$  групи  $G$ .

Очевидно, із еквівалентності матричних зображень скінченної групи  $G$  слідує їх узагальнена еквівалентність. Обернене твердження не завжди справджується. Наприклад, зображення  $\Gamma: a \rightarrow 1, b \rightarrow -1$  та  $\Delta: a \rightarrow -1, b \rightarrow 1$  четвертої групи Клейна  $V = \langle a \rangle \times \langle b \rangle$  над кільцем цілих раціональних чисел є узагальнено еквівалентними, але не є еквівалентними зображеннями. Також є узагальнено еквівалентними, але не еквівалентними, комплексні зображення  $\Theta: c \rightarrow i$  та  $\Psi: c \rightarrow -i$  циклічної групи  $\langle c \rangle$  четвертого порядку ( $i$  — уявна одиниця, тобто  $i^2 = -1$ ). З іншого боку відзначимо той факт, що існують скінченні групи  $G$  та кільця  $K$ , для яких матричні зображення групи  $G$  над кільцем  $K$  є узагальнено еквівалентними тоді і тільки тоді, коли ці зображення еквівалентні.

Нехай

$$A_4 = \langle h, g \mid h^2 = g^3 = (hg)^3 = e \rangle$$

— знакозмінна група степеня 4, а  $\mathbb{F}_2$  — поле Галуа характеристики 2. В [4] описані з точністю до еквівалентності всі нерозкладні матричні зображення групи  $A_4$  над полем  $\mathbb{F}_2$ . Використовуючи роботу [4], нами доведено наступну теорему.

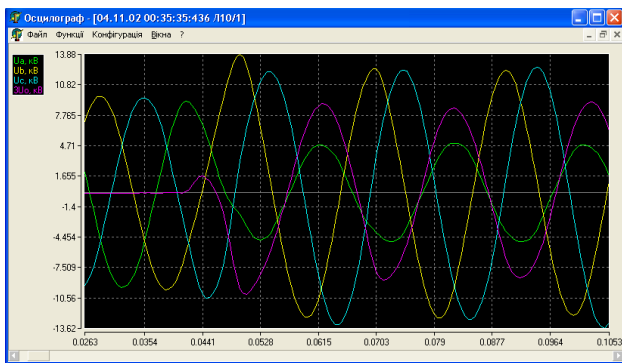
**Теорема.** Нерозкладні матричні зображення  $\Gamma: A_4 \rightarrow \text{GL}(n, \mathbb{F}_2)$  і  $\Delta: A_4 \rightarrow \text{GL}(n, \mathbb{F}_2)$  знакозмінної групи  $A_4$  над полем Галуа  $\mathbb{F}_2$  є узагальнено еквівалентними тоді і тільки тоді, коли вони є еквівалентними зображеннями.

### Література

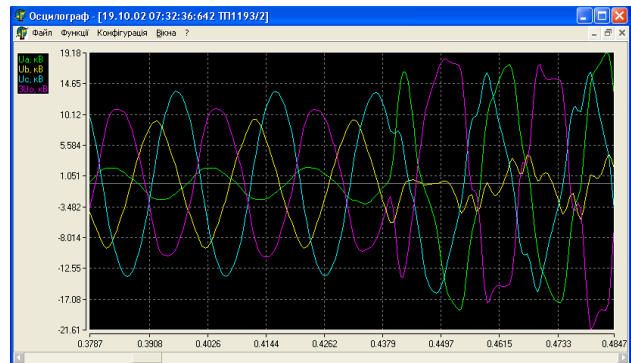
1. Кэртис Р. Теория представлений конечных групп и ассоциативных алгебр / Р.Кэртис, И.Райнер. – Москва: Наука, 1969. – 668 с.
2. Фейт У. Теория представлений конечных групп. / У.Фейт – Москва: Наука, 1990. – 464 с.
3. Гудивок П. М. Черниковские р-группы и целочисленные р-адические представления конечных групп / П.М.Гудивок, Ф.Г.Ващук, В.С.Дроботенко // Укр. мат. журн. – 1992. – 44, №26. – С. 742–753.
4. Dlab V. On modular representations of  $A_4$  / V. Dlab, C. M. Ringel // Journal of Algebra. – 1989. – 123. – P. 506–522.

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ НАПРУГ

Замикання на землю в розподілених електричних мережах напругою 6 – 35 кВ з промисловою частотою 50 Гц складають приблизно 75% від загальної кількості пошкоджень. В мережах з ізолюованою нейтраллю замикання однієї фази на землю (рис. 1,а) не є аварією [1–2]. Проте із збільшенням протяжності електричної мережі збільшується їх ємність, при цьому зростають струми на землю. Струм в місцях пошкоджень, виділяє багато тепла, руйнуючи при цьому струмопровідне обладнання і ізоляцію. Як показує досвід, однофазне замикання через невеликий проміжок часу, а деколи й миттєво переходить в двохфазне чи трьохфазне замикання, і як наслідок порушується електропостачання (рис. 1, б).



а)



б)

Рис. 1. а) – Діаграми фазових напруг та напруги в нейтралі при однофазному замиканні на землю в мережах з ізолюованою нейтраллю.

б) – Графіки фазових напруг та напруги в нейтралі при переході однофазного замикання в двохфазне з виникненням електричної дуги.

При згасанні і запалюванні дуги викликають складні перехідні процеси, інтенсивність яких залежить від багатьох факторів: характеру дуги, ємності, індуктивності, опору лінії, ізоляції та інших. Врахування всіх факторів, що впливають на перехідні процеси при замиканнях на землю, є дуже складною задачею.

На даний час, через складність фізичних явищ, пов'язаних з дуговими замиканнями, не існує строгого аналітичного опису однофазних замикань на землю. Перехідні процеси, які відбуваються при однофазних замиканнях не можливо описати простими математичними рівняннями.

Діагностика стану обладнання, ізоляції, аналіз аварійних ситуацій, визначення їх типу і локалізації місця аварії вимагає детальнішого дослідження і нових підходів до аналізу координат режимів перехідних процесів в електромережах [1-2].

Виходячи з вище сказаного, в даній роботі розглядаються тільки мережі з ізолюованою нейтраллю і аварійні ситуації – замикання на землю, оскільки вони є найбільш розповсюдженими.

Очевидно, що координати струмів і напруг у фазах і нейтралі мережі взаємопов'язані і, відповідно, взаємно впливають одні на одних, в тому числі і при аварійних ситуаціях. При цьому цілком логічною є гіпотеза, що при різних типах аварії їх взаємний вплив має різний характер. Таким чином, побудова авто- та взаємнокореляційних моделей [3-4] координат струмів і напруг може дати можливість визначення критеріїв оцінки стану мережі.

На рис. 2 показано графіки автоковаріацій та взаємнокореляцій фазових напруг та напруги в нейтралі що відповідно розраховуються за виразами (1) і (2):

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+j} \quad K_{xy}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i+j} \cdot y_{i+j} \quad (1) \text{ і } (2)$$

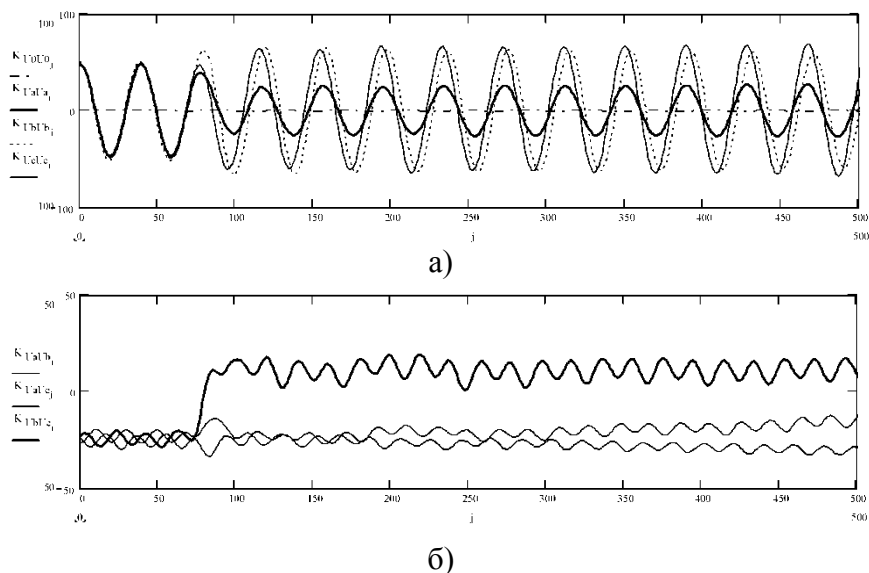


Рис. 2. – Графіки а) – автокореляційних; б) – взаємкореляційних моделей фазових напруг та напруги в нейтралі.

За графіками (рис. 2) видно, що амплітуда автоковаріаційної функції напруги у пошкодженій фазі після замикання на землю зменшилась і значно менша за амплітуди автокореляцій напруг непошкоджених фаз і автокореляція напруги в нейтралі не змінилась.

З графіків взаємковаріаційних функцій напруг чітко видно, що амплітуда функції взаємковаріації напруг у непошкоджених фазах в момент замикання значно зростає, при цьому амплітуда функції взаємковаріації напруг у фазах, з яких одна пошкоджена, практично не змінилась.

Виявлення замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю за допомогою побудови кореляційних моделей в реальному часі дозволяє вдосконалити системи захисту в енергетичних системах, що в свою чергу дає можливість запобігати серйозніших аварійних ситуацій. Крім того, кореляційний аналіз фазових струмів і напруг дозволяє більш глибоко дослідити і оцінити перехідні процеси в електромережах, здійснити автоматичну ідентифікацію типів аварій і, як наслідок, прискорити їх ліквідацію, а в деяких випадках і їх попередження. В перспективі, дослідження перехідних процесів аварійних ситуацій з використанням кореляційного аналізу, дозволить створити систему критеріїв для класифікації типу аварії, дасть можливість створити автоматизовані системи більш ефективного захисту, діагностики та керування електричними мережами.

#### Література

1. Черненко Н.А. Аварийность и замыкания на землю в электрических сетях напряжением 35 и 110 кВ // Режимы заземления нейтрали сетей 3–6–10–35 кВ: Доклады научно-технической конференции. – Новосибирск, 2000. – С. 83–88.
2. Гребченко М.В. Теоретичні основи побудови захисно-діагностуючої автоматики вузлів електричних систем з двигунами. Частина 2. Функції оперативного діагностування ізоляції електрообладнання // Наук.праці Донецького державного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика, вип.41: Донецьк: ДонДТУ. – 2002. – С.90–97.
3. Николайчук Я.М., Сегін А.І. Моделі джерел інформації та методи їх представлення // Методи та прилади контролю якості. ІФДТУНГ, 1998, № 2. – С. 80–84.
4. Сегін А. І. Подання і аналіз об'єктів управління як джерел інформації та методика побудови їх кореляційних моделей // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, Серія: технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – 1997. – Т. 6, № 34. – С. 23–34.

## **ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ОПЕРАТОРСЬКИХ РІШЕНЬ У КОМП'ЮТЕРНОМУ ТРЕНАЖЕРІ**

Комп'ютерні тренажери являють собою засоби для формування та удосконалення у операторів навичок управління технологічними процесами. За класичним означенням це складні системи що містять комп'ютерну імітаційну модель технологічного процесу, комп'ютерний людинно-машинний інтерфейс оператора та модель навчання [1]. Створення моделі технологічного процесу потребує точних даних про структуру об'єкта управління та про процеси, що протікають у технічній системі. Створення інтерфейсу оператора потребує наявності системи формування управляючих впливів та рекомендацій по управлінню. Для задоволення цих потреб може бути використана система підтримки прийняття операторських рішень.

Розглянемо дану проблему на прикладі застосування системи підтримки прийняття рішень при керуванні холодильними установками у комп'ютерному тренажері.

При створенні комп'ютерного тренажера бажаним є заложити у тренажер якомога більш широкий спектр обладнання та процедур управління. Це обумовлює високу ступінь невизначеності. Тому в основу системи підтримки прийняття рішень при керуванні холодильними установками було закладено нейро-нечітку модель підтримки прийняття рішень при керуванні холодильними установками різних типів та конфігурації, яка базується на системі нейро-нечіткого виведення з навчанням на експериментальних даних діючого устаткування, що дозволяє врахувати вплив неформалізованих факторів.

Процес функціонування холодильної установки включає 3 етапи: пуск, вихід на режим та підтримку режиму. На всіх цих етапах необхідно виконувати підтримку операторських рішень для виконання задачі керування (рис. 1).



Рис. 1. – Схема процесу підтримки прийняття операторських рішень

Процес підтримки прийняття рішень при керуванні холодильною установкою умовно поділено на 6 складових У1-У6. Складові моделі підтримки прийняття рішень У1 – У5 реалізовані у вигляді нейро-нечітких, У6 – нечітких систем виведення з навчанням на експериментальних даних діючого устаткування (рис 2).

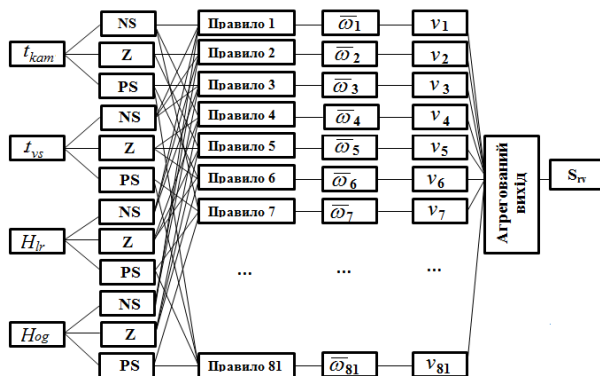


Рис. 2. – Структура ANFIS мережі для У1

На базі об'єктно-орієнтованої технології створено об'єктні класи TRefMashine, TMark, TSIPPR, TVent, TKompr, TVN, TKam, які містять властивості для зберігання параметрів стану холодильної установки в кожен момент часу, а також методи для керування нею[2].

За допомогою методів представлених об'єктних класів здійснюється звернення до системи підтримки прийняття рішень у розробленому в процесі дослідження тренажері IceQueen (рис 3).

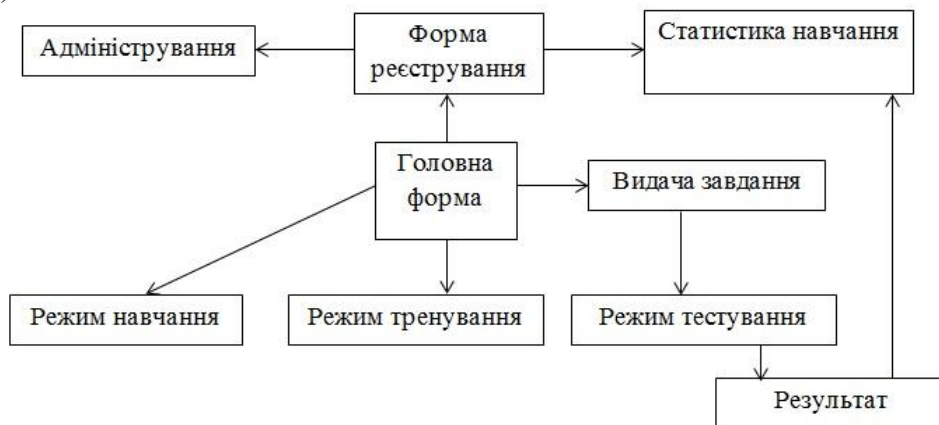


Рис.3. – Схема функціонування тренажера

Представлена система підтримки прийняття рішень дозволяє здійснювати інтелектуальну підтримку прийняття рішень оператором в автоматизованому режимі, а її застосування у комп'ютерному тренажері сприяє впровадженню сучасних інтелектуальних технологій у підготовку оперативного персоналу.

### Література

1. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов / В.М.Дозорцев. – Москва: Синтег, 2009. – 372 с. – (Автоматизация технологических процессов).
2. Селіванова А.В. Методи, моделі та інформаційне забезпечення підтримки прийняття рішень при керуванні холодильними установками: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / А.В.Селіванова. – Одеса, 2016. – 23 с.

## СХОДИМОСТЬ НОВОГО ВАРИАНТА МЕТОДА ЗЕРКАЛЬНОГО СПУСКА ДЛЯ ВАРИАЦИОННЫХ НЕРАВЕНСТВ

В 1980 году Попов Л.Д. предложил алгоритм поиска седловых точек выпукловогнутых функций [1]. В работах [2, 3] исследовано несколько модификаций этого метода для решения вариационных неравенств. А в [4] предложен двухэтапный проксимальный алгоритм для решения задачи о равновесии. В упомянутых методах используются евклидовы расстояние и проекция. И часто это не позволяет хорошо учесть структуру допустимых множеств и эффективно решать задачи. Возможный выход из ситуации состоит в более гибком подборе расстояния для осуществления проектирования на допустимое множество. Одной из первых успешных реализаций этой стратегии является работа Л.М. Брэгмана [5], где предложен метод типа циклического проектирования для нахождения общей точки выпуклых множеств. Эта работа открыла целое направление в математическом программировании. Метод зеркального спуска был предложен в конце 1970-х годов А.С. Немировским и Д.Б. Юдиным для решения выпуклых задач оптимизации. В случае задач с ограничениями этот метод можно проинтерпретировать как вариант метода проекции субградиента, когда проектирование понимается в смысле расстояния Брэгмана. Метод зеркального спуска позволяет хорошо учитывать структуру допустимого множества задачи оптимизации. Например, для симплекса в качестве расстояния можно взять KL-расстояние и получить явно вычисляемый оператор проектирования на симплекс. В работах [6-9] исследовались версии метода зеркального спуска для решения вариационных неравенств и седловых задач, построенные на основе экстраградиентного алгоритма Корпелевич.

Настоящий доклад посвящен изучению нового варианта метода зеркального спуска для решения вариационных неравенств с липшицевыми и псевдомонотонными операторами, построенного на основе двухэтапного алгоритма Попова [1, 4].

Опишем вкратце результат. Пусть  $E$  – конечномерное действительное линейное пространство. Снабдим его нормой  $\|\cdot\|$ . Двойственное пространство обозначим  $E^*$ . Для  $a \in E^*$  и  $b \in E$  будем обозначать через  $(a, b)$  значение линейной функции  $a$  в  $b$ .

Рассмотрим вариационное неравенство:

$$\text{найти } x \in C : (Ax, y - x) \geq 0 \quad \forall y \in C, \quad (1)$$

множество решений которого обозначим  $S$ . Предположим, что выполнены условия: множество  $C \subseteq E$  – выпуклое и замкнутое; оператор  $A : E \rightarrow E^*$  – псевдомонотонный и липшицевый с константой  $L > 0$  на  $C$ ; множество  $S$  не пусто.

Введем необходимые для формулировки алгоритма конструкции. Пусть функция  $\varphi : E \rightarrow \overline{\mathbb{R}} = \mathbb{R} \cup \{+\infty\}$  удовлетворяет условиям:  $\varphi$  – непрерывна и выпукла на  $C$ , в частности,  $C^\circ = \{x \in C : \partial\varphi(x) \neq \emptyset\} \neq \emptyset$ ;  $\varphi$  – регулярна на  $C^\circ$ , то есть у  $\partial\varphi$  на множестве  $C^\circ$  есть непрерывный селектор  $\nabla\varphi$ ;  $\varphi$  – сильно выпукла относительно нормы  $\|\cdot\|$  с константой  $\sigma > 0$ . Соответствующее  $\varphi$  расстояние Брэгмана на множестве  $C$  задается формулой  $d(a, b) = \varphi(a) - \varphi(b) - (\nabla\varphi(b), a - b) \quad \forall a \in C, b \in C^\circ$ .

Предположим, что имеется возможность эффективно решать сильно выпуклые задачи вида

$$\pi_x(a) = \arg \min_{y \in C} \{-(a, y - x) + d(y, x)\} \quad \forall a \in E^*, x \in C^\circ.$$

Для приближенного решения задачи (1) предлагается

Алгоритм 1. Начиная с  $x_1 \in C^\circ$ ,  $y_1 \in C$ , генерируем последовательность элементов  $x_n$ ,

$$y_n \text{ при помощи итерационной схемы } (\lambda > 0): \begin{aligned} x_{n+1} &= \pi_{x_n}(-\lambda A y_n), \\ y_{n+1} &= \pi_{x_{n+1}}(-\lambda A y_n), \end{aligned}$$

Имеет место

Лемма 1. Для  $z \in S$  и последовательностей  $(x_n)$ ,  $(y_n)$ , порожденных алгоритмом 1, имеет место неравенство

$$d(z, x_{n+1}) \leq d(z, x_n) - \left(1 - \left(1 + \sqrt{2}\right) \frac{\lambda L}{\sigma}\right) \cdot d(y_n, x_n) - \left(1 - \sqrt{2} \frac{\lambda L}{\sigma}\right) \cdot d(x_{n+1}, y_n) + \frac{\lambda L}{\sigma} \cdot d(x_n, y_{n-1}).$$

Сформулируем основной результат.

Теорема 1. Пусть множество  $C \subseteq E$  – выпуклое и замкнутое, оператор  $A: E \rightarrow E^*$  – псевдомонотонный и липшицевый с константой  $L > 0$ ,  $S \neq \emptyset$  и  $\lambda \in \left(0, \left(\sqrt{2} - 1\right) \frac{\sigma}{L}\right)$ . Тогда последовательности  $(x_n)$ ,  $(y_n)$ , порожденные алгоритмом 1, сходятся к точке  $\bar{z} \in S$ .

Для вариационного неравенства: найти  $x \in S_m$ :  $(Ax, y - x) \geq 0 \quad \forall y \in S_m$ ,

где  $S_m = \left\{x \in \mathbb{R}^m : x_i \geq 0, \sum_{i=1}^m x_i = 1\right\}$  – симплекс,  $A: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^m$ , используя данный подход, можно получить любопытный алгоритм:

$$x_i^{n+1} = \frac{x_i^n \exp(-\lambda (Ay_n)_i)}{\sum_{j=1}^m x_j^n \exp(-\lambda (Ay_n)_j)}, \quad i = 1, \dots, m, \quad y_i^{n+1} = \frac{x_i^{n+1} \exp(-\lambda (Ay_n)_i)}{\sum_{j=1}^m x_j^{n+1} \exp(-\lambda (Ay_n)_j)}, \quad i = 1, \dots, m,$$

где  $(Ay_n)_i \in \mathbb{R}$  –  $i$ -я координата вектора  $Ay_n \in \mathbb{R}^m$ ,  $\lambda > 0$ .

Исследование выполнено при поддержке МОН Украины (проект «Розробка алгоритмів моделювання та оптимізації динамічних систем для оборони, медицини та екології», 0116U004777).

### Література

1. Попов Л.Д. Модификация метода Эрроу-Гурвица поиска седловых точек // Математические заметки. – 1980. – Т. 28, № 5. – С. 777-784.
2. Малицкий Ю.В., Семенов В.В. Вариант экстраградиентного алгоритма для монотонных вариационных неравенств // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – № 2. – С. 125-131.
3. Malitsky Yu.V., Semenov V.V. A hybrid method without extrapolation step for solving variational inequality problems // Journ. of Global Optimization. 2015, Vol. 61, № 1. – P. 193-202.
4. Ведель Я.И., Семенов В.В. Новый двухэтапный проксимальный алгоритм для решения задачи о равновесии // Ж. обчисл. та прикл. матем. – 2015. – №1 (118). – С. 15-23.
5. Брэгман Л.М. Релаксационный метод нахождения общей точки выпуклых множеств и его применение для решения задач выпуклого программирования // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 1967, т. 7. – № 3. – С. 620-631.
6. Nemirovski A. Prox-method with rate of convergence  $O(1/t)$  for variational inequalities with Lipschitz continuous monotone operators and smooth convex-concave saddle point problems // SIAM Journal on Optimization. – 2004. – V. 15. – P. 229-251.
7. Nesterov Yu. Dual extrapolation and its applications to solving variational inequalities and related problems // Mathematical Programming. – 2007. – V. 109, Iss. 2-3. – P. 319-344.
8. Juditsky A., Nemirovski A., Tauvel C. Solving variational inequalities with Stochastic Mirror-Prox algorithm // Stochastic Systems. – 2011. – V. 1, No. 1. – P. 17-58.
9. Baes M., Burgisser M., Nemirovski A. A randomized mirror-prox method for solving structured large-scale matrix saddle-point problems // SIAM Journal on Optimization. – 2013. – V. 23. – P. 934-962.



## **ЗАДАЧІ ЛЕКСИКОГРАФІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ІЗ СЕПАРАБЕЛЬНИМИ ФУНКЦІЯМИ КРИТЕРІЇВ**

Лексикографічне впорядкування використовується для встановлення строгих правил субординації та пріоритету. Тому лексикографія має широке застосування, зокрема її використовують для пошуку оптимальних розв’язків задач паретівської оптимізації[1,2]. Виходячи з практичних потреб значна кількість задач, зокрема, задачі оптимізації складних систем, задачі стохастичного програмування в умовах ризику, задачі динамічного характеру тощо, представляють в лексикографічній формі.

Різні фактори є причиною того, що здебільшого для задач векторної оптимізації точний розв’язок отримати не вдається, тому обґрунтованою є формальна заміна вхідної задачі більш простішою так, щоб не змінювались оптимальні розв’язки. Існують різні підходи до спрощення математичної моделі задач. Один з них полягає в еквівалентній трансформації критеріальних функцій[1]. Отже, за допомогою заміни змінних в деяких задачах нелінійні часткові функції критеріїв зводять до сепарабельних функцій.

Розглядається задача лексикографічної оптимізації

$$\min^L \{F(x) | x \in X\}, \quad (1)$$

де  $F(x) = (f_1(x), \dots, f_l(x))$ ,  $f_k(x) = \sum_{j=1}^n f_{kj}(x)$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$ ,  $X = \{x \in R^n | g^i(x) \leq 0, x \geq 0, i = 1, 2, \dots, m\}$ ,

$g^i(x)$  – неперервно диференційовні опуклі функції.

Враховуючи можливість апроксимації нелінійної функції з певною точністю кусково-лінійною функцією, замінюємо всі часткові критерії  $f_k(x)$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$ , їх кусково-лінійними аналогами  $\tilde{f}_k(x)$ . Тоді для задачі (1) отримаємо наближений аналог:

$$\min^L \{\tilde{F}(x) | x \in X\}, \quad (2)$$

де  $\tilde{F}(x) = (\tilde{f}_1(x), \dots, \tilde{f}_l(x))$ ,  $X = \{x \in R^n | g^i(x) \leq 0, x \geq 0, i = 1, 2, \dots, m\}$ .

Локальний оптимум (2) є відповідно наближеним оптимумом задачі (1). Для пошуку лексикографічного локального оптимуму наближеної задачі (2) використано запропонований в [3] алгоритм. Досліджені також питання зменшення розмірності апроксимуючої вихідну задачу задачі (2).

### **Література**

1. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. / В.В.Подиновский, В.Д.Ногин – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.
2. Семенова Н.В. Векторні задачі дискретної оптимізації на комбінаторних множинах: методи дослідження та розв’язання / Н.В.Семенова, Л.М.Колєчкіна // Монографія – Київ: Наукова думка, 2009. – 266 с.
3. Ломага М.М. Розв’язання задач лексикографічної оптимізації з лінійними функціями критеріїв на опуклій множині / М.М.Ломага // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія математика і інформатика. – 2015.– Вип. № 2(27). – С. 70-75.

## ПРО РОЗВ'ЯЗАННЯ СКЛАДНИХ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Розпаралелювання обчислень на багатопроцесорних обчислювальних комплексах стало останнім часом не лише ефективним, а часто єдиною можливим способом розв'язання складних задач дискретної оптимізації, оскільки цей процес пов'язаний з необхідністю обробки великих об'ємів даних за прийнятний час. Крім того, в найближчі роки очікується поява високопродуктивних настільних ПК, і задачі, які зараз розв'язуються на багатопроцесорних комплексах типу СКІТ, зможуть ефективно розв'язуватись на цих ПК. У зв'язку з цим зростає потреба у створенні паралельних алгоритмів дискретної оптимізації та відповідних програмних засобів для багатопроцесорних обчислювальних комплексів.

Заслуговує на увагу підхід до розпаралелювання обчислень, коли замість операцій, що виконуються алгоритмом, розпаралелюються його копії [1]. При цьому мова йде про рандомізовані алгоритми, зокрема алгоритм глобального рівноважного пошуку (ГРП), де кожен екземпляр (копія) одного і того ж алгоритму використовує деяке початкове значення для ініціалізації його генератора псевдовипадкових чисел. У цьому випадку початкові значення будуть давати різні між собою траєкторії пошуку розв'язків.

У подальшому цей підхід був узагальнений і розвинутий шляхом побудови об'єднання (портфелів і команд) алгоритмів [2]. Нехай є множина алгоритмів  $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ , які працюють паралельно на  $P$  різних процесорах. Кожен процесор може використовуватися одним алгоритмом множини  $A$ , а один і той же алгоритм можна використовувати на різних процесорах.

Список незалежних алгоритмів  $A_i \in A$  із зазначенням кількості  $n_i$ ,  $n = 1, \dots, m$ , використовуваних ними процесорів будемо називати об'єднанням алгоритмів  $union\{n_1 A_1, \dots, n_m A_m\}$  для  $P$  процесорів, де  $P = \sum_{i=1}^m n_i$ . Об'єднання алгоритмів, які не обмінюються (обмінюються) між собою інформацією будемо називати портфелем алгоритмів  $portfolio\{n_1 A_1, \dots, n_m A_m\}$  (командою алгоритмів  $team\{n_1 A_1, \dots, n_m A_m\}$ ).

Робота присвячена розпаралелюванню процесу розв'язання складних дискретних оптимізаційних задач, зокрема задачі WMAXCUT про максимальний зважений розріз графу та задачі UBQP булевого квадратичного програмування без обмежень, на основі розробленої методології побудови об'єднання алгоритмів. Створені об'єднання алгоритмів ГРП та відповідне програмне забезпечення дають можливість прискорити процес розв'язання на багатопроцесорних обчислювальних комплексах складних задач перерахованих класів (в залежності від розмірності задачі, кількості використаних процесорів) іноді більше, ніж у 100 разів у порівнянні з одним алгоритмом та розв'язувати задачі великої розмірності (до 50 000 вершин графу для задачі WMAXCUT та 15 000 змінних для задачі UBQP).

### Література

1. Сергієнко І.В., Шило В.П. Задачі дискретної оптимізації: проблеми, методи рішення, дослідження. – К.: Наук. думка, 2003. — 264 с.
2. Shylo V.P., Glover F., Sergienko I.V. Teams of global equilibrium search algorithms for solving weighted MAXIMUM CUT problem in parallel // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – 51, № 1. – С.20–29.

## ЗАДАЧА ТА ПРОЦЕСОР РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ У ХЕММІНГОВОМУ ПРОСТОРИ

Розвиток теорії та оптимізація рішення задач розпізнавання образів в реальному масштабі часу є актуальною науковою задачею. Об'єктами досліджень при цьому є одновимірні та багатовимірні параметри технологічних процесів, мовні сигнали, двовимірні зображення, тривимірні об'єкти цифрової голографії, томографії, радіолокації та ін. Одним з перспективних напрямків теоретичних досліджень та реалізації алгоритмів розпізнавання образів є побудова асоціативних та кореляційних процесорів опрацювання сигналів у Хеммінговому просторі (ХП). Сучасні інформаційні моделі об'єктів управління будуються на базі дискретних даних отриманих у результаті аналого-цифрового перетворення. При цьому вважається, що дискретні відліки інформаційних потоків в кожному каналі багатоканального джерела інформації зняті і перетворені в одні й ті ж моменти часу. Хоч на практиці це не завжди виконується. Оптимізація системних характеристик структурної, апаратної та часової складності багаторозрядних суматорів спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі є актуальною науково-технічною задачею.

Важливою задачею є кодування багатовимірних об'єктів діагностування (ОД), які представляють багатовимірні вектори у вузлах двовимірної площини у вигляді моделі багатоканального ОД у Хеммінговому просторі. Прикладом такого кодування є синтез стандартизованої матриці формування пакетів багатовимірних даних у ТЧБ Крестерсона, що дозволяє формалізувати процеси розпізнавання образів у ХП (рис. 1) [1].

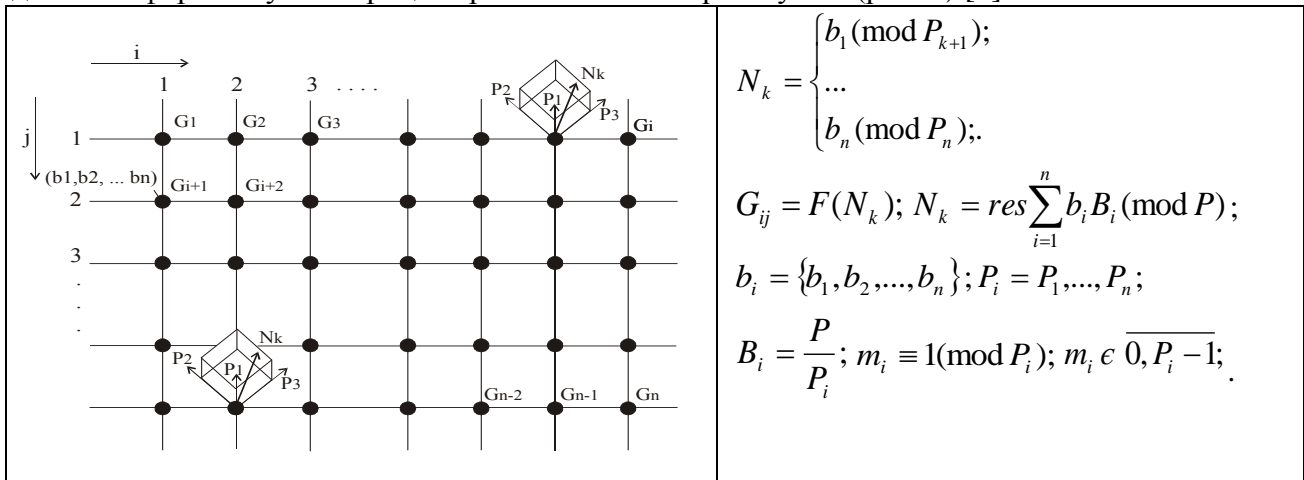


Рис. 1. – Синтезована матриця двовимірного ХП формування багатовимірних даних на основі їх побудови у теоретико-числовому базисі Крестенсона

Всі параметри ОД можна контролювати з однаковою найвищою точністю при застосуванні АЦП з вхідним комутатором. Однак при цьому виникає ряд недоліків таких як: велика надлишковості інформації, ефект старіння інформації, не можливість застосовувати АЦП адаптивні до власної ентропії, суттєве спотворення інформації та інші. Тому використовується більш ефективний другий метод сканування параметрів ОД на основі багатоканального АЦП розгортуючого типу. Він полягає у тому, що початок вимірювання параметрів всіх одночасно, а завершення відповідає відповідній амплітуді.

Умова одночасності виконання операцій аналого-цифрового перетворення особливо важлива при вирішенні задач теорії прийняття рішень на основі кореляційних оцінок та оцінки Хеммінгової віддалі, оскільки при неодноразовості реєстрації даних виникають неконтрольовані зсуви цифрових відліків, які суттєво погіршують ефективність та достовірність оцінок прийняття рішень [2].

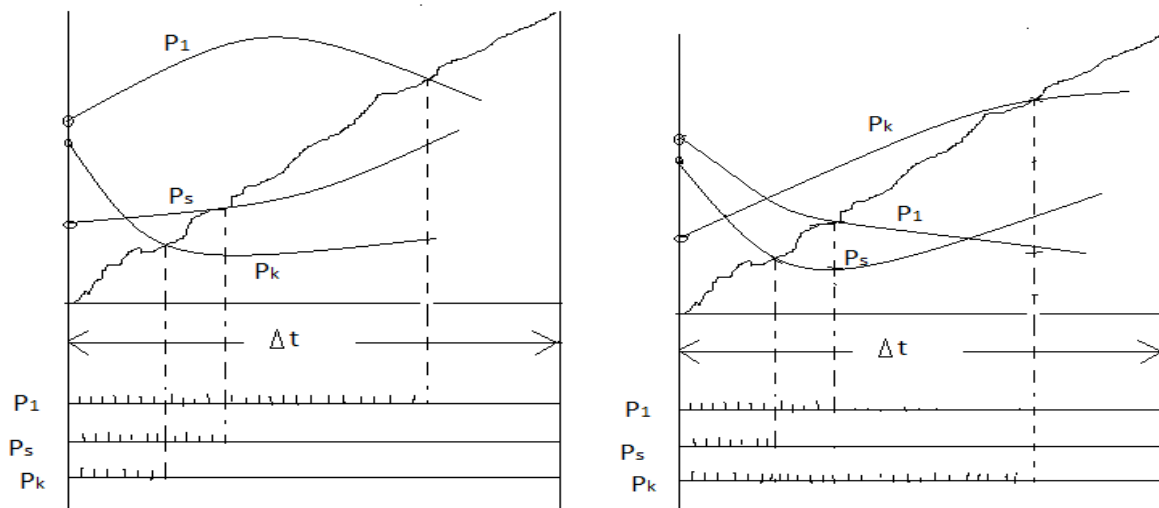


Рис. 2. – Приклади вимірювання різних параметрів

З рис. 2 видно, що  $\Delta t_i$  (час завершення вимірювання кожного параметра) є статистично не визначеним і міняється хаотично.

Переваги: всі вимірювання починаються одночасно, є проста реалізація багатоканального АЦП. Недоліки: в момент старту параметри мають інші значення, ніж при моменті завершення вимірювання, причому чим більше значення амплітуди параметра тим більша може бути похибка вимірювання, низька швидкодія сканування, а значить низька швидкодія процесів які це реалізують.

На рис. 3 показана структура спецпроцесора сканування кодів унітарного ТЧБ та їх представлення у базисі Радемахера для сканування та визначення Хеммінгової віддалі, що використовується при прийнятті рішень про стани ОД.

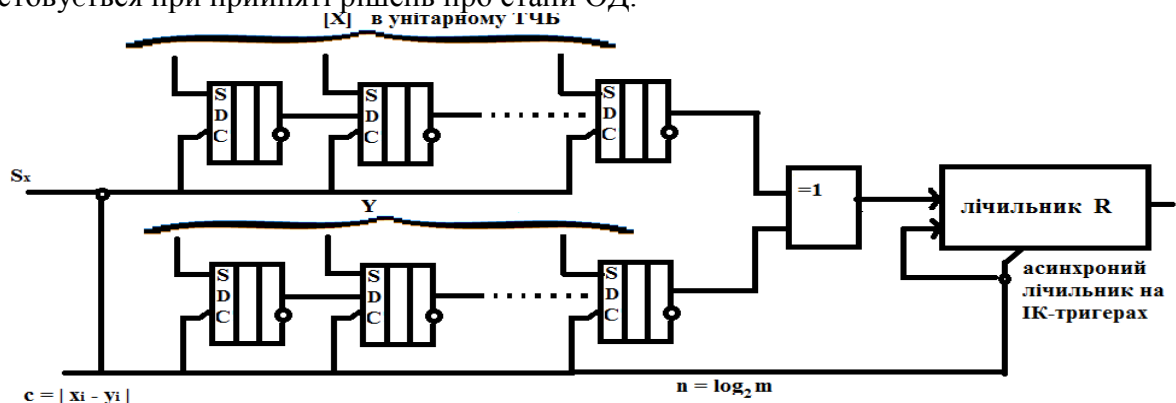


Рис. 3. – Спецпроцесор сканування та визначення Хеммінгової віддалі між кодами представленими в унітарному ТЧБ перетворення у двійковий код Радемахера

Визначена задача кодування даних у багатомірному Хеммінговому просторі, також проілюстрована система моніторингу вузлів в такому просторі на основі багатоканального АЦП розгорнутого типу. Визначені можливі недоліки, що можуть виникати при такому кодування даних. Наведено спецпроцесор сканування та визначення Хеммінгової віддалі між кодами представленими в унітарному ТЧБ перетворення у двійковий код Радемахера, що використовуються при прийнятті рішень про стани ОД.

### Література

1. Круліковський Б.Б. Теоретичні основи розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі. / Б.Б.Круліковський, А.І.Сидор, Я.М.Николайчук, О.М.Заставний. Вісник НЛТУ України Вип.26.3. – Львів, 2016. – С.361–367.
2. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації. / Я.М.Николайчук./ Видання друге виправлене. – Тернопіль: ТзОВ“Терно-граф”, 2010 – с. 132–234.

## ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНОК ДЛЯ РОЗПОДІЛУ СУПРЕМУМУ ВИПАКОВИХ ПОЛІВ З ПРОСТОРУ $Sub_\varphi(\Omega)$ В НЕСКІНЧЕННІЙ ОБЛАСТІ ДО РОЗВ'ЯЗКІВ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

Вивчення тих чи інших класів випадкових процесів, дослідження їх загальних властивостей, умов обмеженості з імовірністю одиниця та отримання оцінок розподілу їх супремумів, побудова математичних моделей цих процесів є однією з актуальних задач теорії випадкових процесів, якою цікавилися багато видатних спеціалістів з теорії ймовірностей.

В роботі отримано оцінки для розподілу супремуму нормованих випадкових полів з простору  $Sub_\varphi(\Omega)$  в нескінченній області.

**Теорема 1.** Нехай  $\{\xi(x, t), (x, t) \in V\}$ ,  $V = [-A; A] \times [0, +\infty)$  – сепарабельне випадкове поле з простору  $Sub_\varphi(\Omega)$  і виконуються наступні умови:

1)  $[b_k, b_{k+1}]$ ,  $k = 0, 1, \dots$  – сім'я таких відрізків, що  $0 \leq b_k \leq b_{k+1} \leq +\infty$ ,  $k = 0, 1, \dots$   
 $V_k = [-A; A] \times [b_k, b_{k+1}]$ ,  $\bigcup_k V_k = V$ ;

2) Існують неперервні монотонно зростаючі функції  $\sigma_k(h)$ ,  $0 < h < b_{k+1} - b_k$ , такі що  $\sigma_k(h) \rightarrow 0$  при  $h \rightarrow 0$ , що на кожному  $V_k$  виконуються умови

$$\sup_{\substack{|x-x_1| \leq h, \\ |t-t_1| \leq h \\ (x, t), (x_1, t_1) \in V_k}} \tau_\varphi(\xi(x, t) - \xi(x_1, t_1)) \leq \sigma_k(h)$$

$i$

$$\int_{0+} \Psi \left( \ln \frac{1}{\sigma_k^{(-1)}(\varepsilon)} \right) d\varepsilon < \infty,$$

де  $\Psi(u) = \frac{u}{\varphi^{(-1)}(u)}$ ,  $\sigma_k^{(-1)}(\varepsilon)$  – обернені функції до  $\sigma_k(\varepsilon)$ ;

3)  $c = \{c(t), t \in R\}$  – деяка неперервна функція така, що  $c(t) > 0$ ,  $t \in R$ ,  
 $c_k = \min_{t \in [b_k, b_{k+1}]} c(t)$ ;

4)  $\sup_k \frac{\varepsilon_k}{c_k} < \infty$ ,  $\sup_k \frac{I_\varphi(\theta \varepsilon_k)}{c_k} < \infty$ , де  $\varepsilon_k = \sup_{(x, t) \in V_k} \tau_\varphi(\xi(x, t))$ ;

5) Для деякого  $s$ , такого що,  $\sup_k \frac{4\varepsilon_k}{c_k(1-\theta)} < s < \frac{u}{2}$ , збігається ряд

$$\sum_{k=0}^{\infty} \exp \left\{ -\varphi^* \left( \frac{sc_k(1-\theta)}{2\varepsilon_k} \right) \right\}.$$

Тоді для  $u > \sup_k \frac{I_\varphi(\theta \varepsilon_k)}{c_k} \cdot \frac{4}{\theta(1-\theta)}$ , де

$$\tilde{I}_\varphi(\delta) = \int_0^\delta \Psi \left[ \left( \ln \left( \frac{A}{\sigma_k^{(-1)}(\varepsilon)} + 1 \right) \right) + \left( \ln \left( \frac{b_{k+1} - b_k}{2\sigma_k^{(-1)}(\varepsilon)} + 1 \right) \right) \right] d\varepsilon,$$

$k = 0, 1, \dots$ ,  $0 < \theta < 1$  має місце нерівність

$$P\left\{\sup_{(x,t) \in V} \frac{|\xi(x,t)|}{c(t)} > u\right\} \leq 2 \exp\left\{-\varphi^*\left(\frac{u}{s}\right)\right\} \times \sum_{k=0}^{\infty} \exp\left\{-\varphi^*\left(\frac{sc_k(1-\theta)}{2\varepsilon_k}\right)\right\}.$$

Розглянуто приклад застосування отриманих оцінок до розв'язків задач математичної фізики

Результати викладені в роботі можуть бути використані при моделюванні розв'язків задач математичної фізики та в інших областях, де використовують методи теорії випадкових процесів.

### Література

1. Довгай Б. В. Крайові задачі математичної фізики з випадковими факторами. Монографія / Б. В. Довгай, Ю. В. Козаченко, Г. І. Сливка-Тилищак. — К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. — 175 с.
2. Kozachenko Yu. V. On the increase rate of random fields from space on unbounded domains / Yu. V. Kozachenko, A. I. Slyvka-Tylyshchak // Statistics, optimization and information computing. — June 2014. — Vol. 2. — P. 79–92.
3. Kozachenko Yu. V. The Cauchy problem for the heat equation with a random right part from the space  $Sub_{\varphi}(\Omega)$  / Yu. V. Kozachenko, A. I. Slyvka-Tylyshchak // Applied Mathematics. — 2014. — 5. — P. 2318–2333.

**Снитюк В.Є.<sup>1</sup>, Кришталь В.М.<sup>2</sup>**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка<sup>1</sup>,  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України<sup>2</sup>

## **КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ – НЕОБХІДНА УМОВА ЗБЕРЕЖЕННЯ ЖИТТЯ МІСЬКАНИВ**

Сучасний світ відрізняє стрімка динаміка процесів в економіці та технологіях. Виснаження природних невідновлюваних джерел енергії та ресурсів, зменшення норми прибутку у поєднанні з технологічним прогресом веде до росту кількості відомих та появи нових загроз людству. Як відомо, найбільша кількість людей гине внаслідок дорожньо-транспортних пригод (ДТП), пожеж та хімічних аварій. І, якщо причиною ДТП найчастіше є людський фактор безпосередньо, то до хімічних аварій та пожеж можуть призводити обставини опосередкованої дії. Від того, чи своєчасно буде надана необхідна допомога у повному обсязі, залежать людські життя у першу чергу, а також масштаби матеріальних збитків. Важливим фактором мінімізації втрат при вказаних подіях є оптимальне комплектування аварійно-рятувальної техніки (АРТ).

У великих містах є можливість спеціалізації АРТ, у менших містах, найчастіше, носієм аварійно-рятувального обладнання (АРО) є пожежний автомобіль. Як у першому випадку, так і у другому необхідно розв'язувати задачу визначення оптимального комплекту АРО. Розвиток вітчизняного виробництва АРО і «експансія» на ринок України зарубіжних зразків техніки збільшують ентропію вибору.

У доповіді показано, що розв'язання задачі комплектування АРТ може бути здійснено двома шляхами. Перший з них полягає у тому, що формується множина критеріїв оптимальності того чи іншого елемента АРО, і розв'язується багатокритеріальна оптимізаційна задача. У другому випадку задача комплектування подається як задача колективного вибору, експертами здійснюється ранжування альтернатив АРО та знаходяться колективні переваги на їх множині.

Як перший, так і другий шлях мають свої особливості, переваги та недоліки. У першому випадку необхідно здійснювати суб'єктивний вибір критеріїв, повноту множини яких і адекватність розв'язуваній задачі потрібно ще доводити. Запропоновано такими критеріями вважати ціну, функціональність, надійність та потужність. Найпростіший спосіб розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації – зведення її до однокритеріальної задачі та розв'язання одним або декількома відомими методами: головного критерію, ідеальної точки тощо. Одержані різними методами розв'язки можна узагальнити або використати відомі процедури для порівняння.

У другому випадку необхідності в одержанні цільової функції немає. Достатньо здійснити опитування експертів та ранжування альтернатив комплектів АРО. Порівняно проста на гіпотетичному рівні процедура вимагає виконання ряду попередніх процедур та контролю несуперечливості експертної інформації. Зокрема, для об'єктивізації майбутнього результату необхідно здійснити визначення компетентності експертів, яке може бути проведеним в умовах визначеності, об'єктивної, суб'єктивної або повної невизначеності. На наступному кроці кожен експерт має здійснити порівняльний аналіз запропонованих критеріїв оптимальності та кожної із запропонованих альтернатив АРО за кожним критерієм. Інтегральне врахування одержаних результатів та їх зважене усереднення дозволить одержати найкращий розв'язок. Значна кількість можливих варіантів вимагає реалізації постійної перевірки експертних висновків на несуперечливість.

У доповіді будуть також представлені еволюційні технології розв'язання задачі комплектування АРТ, показані їх переваги та особливості реалізації.

### **Література**

1. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности. – К.: «МП Леся», 2015. – 367 с.

## **ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДБОРЕ ПЕРСОНАЛА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Каждое предприятие сталкивается с необходимостью подбора персонала для достижения глобальных целей. За формирование требований и подбор персонала отвечает кадровая политика предприятия [1]. Сегодня использование традиционных методов подбора персонала для эффективного принятия решений по найму того или иного человека на вакантную должность является не эффективным, т.к. не учитывает комплексные оценки индивидуальности каждого человека или выносят эту проверку на последние этапы принятия решений [2].

Решением данной проблемы, на наш взгляд, станет разработка информационной технологии поддержки принятия решений, позволяющую автоматизировать работу менеджера по подбору персонала. Предложена структура этой технологии. Обсуждены ее особенности.

Показано, насколько важно правильно определить психотип человека и его соответствие предполагаемой должности. Ошибка, допущенная на этом этапе, может проявиться после некоторого времени работы и привести к материальным потерям и демотивации сотрудников.

Так, для учета индивидуальности каждого сотрудника, предложено использовать типирование кандидатов по психотипу. Основные психотипы были выделены швейцарским ученым Карлом Юнгом, ими являются экстравертный, интровертный, рациональный, иррациональный, мыслительный, эмоциональный, ощущающий, интуитивный типы. Эти типы соответствуют двум общим группам экстравертной и интровертной. Зная психотип можно определить, подойдет ли кандидату командная работа или он склонен к индивидуальным заданиям. Менеджеры по подбору персонала используют следующие методы для определения психотипа человека: типирование по поведению, типирование по тестам, типирование по ключевым словам, типирование по внешности, типирование по аспектам – функциям, типирование по структуре психики, проверка по поведению и др. Каждый из этих методов дает различный результат и требуют больших или меньших затрат со стороны предприятия. Так для подбора сотрудников высшего ранга затраты могут быть очень большими.

Показано, что наиболее эффективным методом определения психотипа человека является типирование по внешности. Предложена информационная технология для определению психотипа кандидата на основании анализа изображений лиц. Ее использование позволяет определить психотип человека без его присутствия. Используются современные технологии анализа изображений для определения разреза и выражение глаз, овала лица, формы черепа, челюстей, подбородка и надбровных дуг, формы бровей и губ и др. [2] Именно эти параметры используются при типировании по внешним признакам.

Предложенная система для поддержки принятия решений при найме персонала позволит существенно ускорить процесс оценки кандидатов, исключить субъективность экспертов.

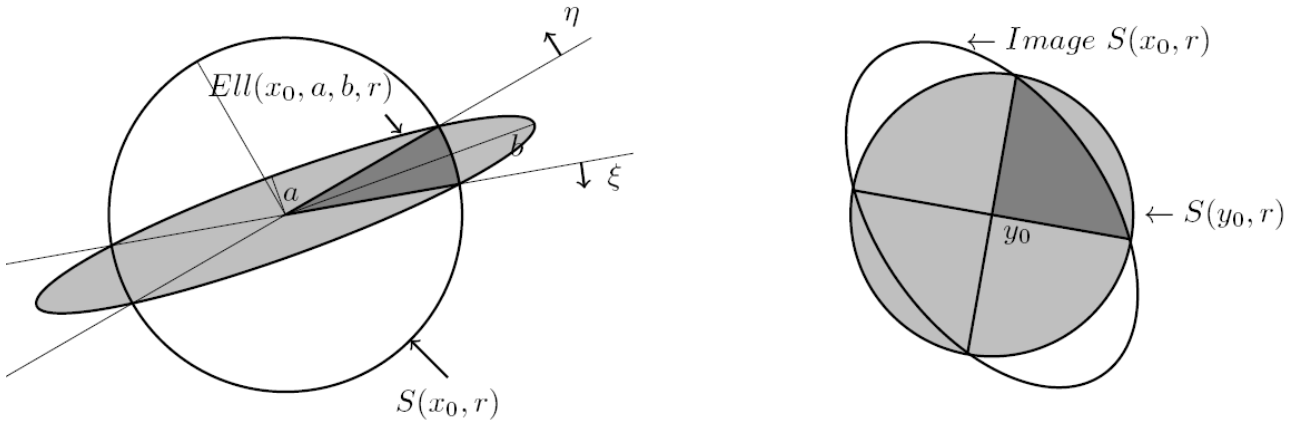
### **Литература**

1. Кравченко К.А. Организационное строительство и управление персоналом крупной компании. - М.: Академический Проект, 2005
2. Денисова А. Нетрадиционные методы подбора персонала: особенности применения и рейтинг популярности // Управление персоналом. – 2007. – № 24.



## ОПТИМАЛЬНЫЙ 2d-ЭЛЛИПСОИД И РАСТЯЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА ПО РАЗНОСТИ НОРМИРОВАННЫХ СУБГРАДИЕНТОВ

Оптимальным 2d-эллипсоидом будем называть минимальный по объему эллипсоид  $Ell(x_0, a, b, r)$  с центром в точке  $x_0$ , который содержит выпуклое тело  $W \in E^n$ , полученное в результате пересечения  $n$ -мерного шара  $S(x_0, r) = \{x: \|x - x_0\| \leq r\}$  и двух полупространств  $P(x_0, \xi) = \{x: (x - x_0, \xi) \leq 0\}$  и  $P(x_0, \eta) = \{x: (x - x_0, \eta) \leq 0\}$ , таких, что  $-1 < (\xi, \eta) < 0$ ,  $\|\xi\| = 1$ ,  $\|\eta\| = 1$  [1, 2 стр. 123–125]. Его проекция на плоскость представлена на рисунке, справа.



Отношение объема  $Ell(x_0, a, b, r)$  к объему шара  $S(x_0, r)$  равно  $q = \sqrt{1 - (\xi, \eta)^2} < 1$ ; длина полуоси в направлении  $\xi - \eta$  равна  $a = r\sqrt{1 + (\xi, \eta)} < r$ ; длина полуоси в направлении  $\xi + \eta$  равна  $b = r\sqrt{1 - (\xi, \eta)} > r$ , а во всех  $n - 2$  ортогональных к  $\xi$  и  $\eta$  направлениях длины полуосей равны  $r$ . Преобразование эллипсоида  $Ell(x_0, a, b, r)$  в "новый" шар  $S(y_0, r)$  радиуса  $r$  (проекция на плоскость представлена на рисунке, слева) реализуется с помощью оператора

$$T_2(\xi, \eta) = R_{\alpha_1} \left( \frac{\xi - \eta}{\|\xi - \eta\|} \right) R_{\alpha_2} \left( \frac{\xi + \eta}{\|\xi + \eta\|} \right), \quad \alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (\xi, \eta)}} > 1, \quad \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (\xi, \eta)}} < 1 \quad (1)$$

и отвечает последовательному применению оператора растяжения пространства  $R_\alpha(\zeta) = I_n + (\alpha - 1)\zeta\zeta^T$ , где  $I_n$  – единичная  $n \times n$ -матрица, в двух ортогональных направлениях: "растяжение" в направлении разности векторов  $\xi$  и  $\eta$  с коэффициентом  $\alpha_1 > 1$  и "сжатие" в направлении суммы векторов  $\xi$  и  $\eta$  с коэффициентом  $\alpha_2 < 1$ .

Лемма 1. Пусть  $n \times n$ -матрица  $B_k$  – такая, что  $\|B_k^{-1}(x_k - x^*)\| \leq r$ ;  $g_1$  и  $g_2$  –  $n$ -мерные векторы, такие, что  $(x_k - x^*, g_1) \geq 0$ ,  $(x_k - x^*, g_2) \geq 0$  и  $-\|B_k^T g_1\| \|B_k^T g_2\| < (B_k^T g_1, B_k^T g_2) < 0$ . Если

$$B_{k+1} = B_k R_{\beta_1} \left( \frac{\xi - \eta}{\|\xi - \eta\|} \right) R_{\beta_2} \left( \frac{\xi + \eta}{\|\xi + \eta\|} \right), \quad \xi = \frac{B_k^T g_1}{\|B_k^T g_1\|}, \quad \eta = \frac{B_k^T g_2}{\|B_k^T g_2\|} \quad (2)$$

где  $\beta_1 = \sqrt{1 + (\xi, \eta)}$  и  $\beta_2 = \sqrt{1 - (\xi, \eta)}$ , то матрица  $B_{k+1}$  обладает следующими свойствами:

(i)  $\|B_{k+1}^{-1}(x_k - x^*)\| \leq r$ ; (ii)  $\det(B_{k+1}) = \det(B_k) \sqrt{1 - (\xi, \eta)^2}$ ; (iii)  $(B_{k+1}^T g_1, B_{k+1}^T g_2) = 0$ .

Лемма 1 имеет следующую интерпретацию. Свойство (i) означает локализацию точки  $y^* = A_k x^*$  в шаре  $S(y_k, r)$  преобразованного пространства  $Y = A_k X$ ,  $A_k = B_k^{-1}$ . Свойство (ii) означает уменьшение объема эллипсоида вида  $Ell(y_k, a, b, r)$  по отношению к объему шара  $S(y_k, r)$  и уменьшение объема будет тем больше, чем более тупым будет угол между векторами  $\xi$  и  $\eta$ . Свойство (iii) означает следующее. Пусть  $g_1$  и  $g_2$  – субградиенты выпуклой негладкой функции  $f(x)$  в точке  $x_k$ . Тогда  $B_k^T g_1$  и  $B_k^T g_2$  есть субградиентами выпуклой негладкой функции  $\varphi_k(y) = f(B_k y)$  в точке  $y_k = A_k x_k$  преобразованного пространства  $Y = A_k X$ . Угол между субградиентами  $B_k^T g_1$  и  $B_k^T g_2$  тупой, а значит в преобразованном пространстве переменных ни один из этих двух антисубградиентов в точке  $y_k$  не является направлением убывания функции  $\varphi_k(y)$ . Преобразование пространства  $Y = A_{k+1} X$ ,  $A_{k+1} = B_{k+1}^{-1}$ , где  $B_{k+1}$  вычислена по формуле (2), ортогонализует субградиенты  $B_{k+1}^T g_1$  и  $B_{k+1}^T g_2$  функции  $\varphi_{k+1}(y) = f(B_{k+1} y)$  в следующем преобразованном пространстве  $Y = A_{k+1} X$ . Возможность их ортогонализации гарантирует условие  $\left( \frac{B_k^T g_1}{\|B_k^T g_1\|}, \frac{B_k^T g_2}{\|B_k^T g_2\|} \right) > -1$ .

Другими словами, свойство (iii) обеспечивает использование антиовражного приема по типу того, который используется в  $r$ -алгоритмах. Субградиенты с тупым углом в текущем пространстве переменных становятся ортогональными в преобразованном пространстве, что позволяет улучшить поверхности уровня овражной функции. При этом коэффициенты растяжения пространства в направлении разности нормированных субградиентов и в направлении суммы нормированных субградиентов определяются углом между субградиентами. Чем более тупым будет угол между ними, тем большим будет коэффициент растяжения пространства в направлении разности двух нормированных субградиентов.

Учитывая, что "сжатие" пространства переменных с коэффициентом  $\alpha_2 < 1$  в направлении суммы векторов  $\xi$  и  $\eta$  только усиливает "растяжение" пространства с коэффициентом  $\alpha_1 > 1$  в направлении разности векторов  $\xi$  и  $\eta$ , то общий коэффициент растяжения пространства переменных в направлении разности нормированных субградиентов можно представить следующей формулой

$$\alpha = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\sqrt{1 - (\xi, \eta)}}{\sqrt{1 + (\xi, \eta)}} = \sqrt{1 - \frac{2(\xi, \eta)}{1 + (\xi, \eta)}} > 1, \text{ где } \xi = \frac{B_k^T g_1}{\|B_k^T g_1\|}, \eta = \frac{B_k^T g_2}{\|B_k^T g_2\|}, -1 < (\xi, \eta) < 0. \quad (3)$$

Формула (3) означает, что если растянуть пространство переменных в направлении разности двух нормированных субградиентов с коэффициентом  $\alpha$ , то в "растянутом" пространстве переменных субградиенты станут ортогональными.

В докладе обсудим использование оператора  $T_2(\xi, \eta)$  в субградиентных методах с преобразованием пространства [2], его замену на одноранговый линейный оператор [3], который обеспечивает точно такое же уменьшение объема локализующего точку минимума эллипсоида в каждом последующем преобразованном пространстве переменных. Приведем результаты минимизации овражных функций с помощью субградиентного метода *amsgr2p* ([2], стр. 294–297), который использует релаксационный шаг (известен как шаг Поляка или шаг Агмона-Мощкина) и априорное знание минимального значения функции.

### Литература

1. Стецюк П.И.  $r$ -алгоритмы и эллипсоиды // Кибернетика и системный анализ. – 1996. – № 6. – С. 113–134.
2. Стецюк П.И. Методы эллипсоидов и  $r$ -алгоритмы. – Кишинэу, Эврика, 2014. – 488 с.
3. Стецюк П.И. Ортогонализирующие линейные операторы в выпуклом программировании. I // Кибернетика и системный анализ. – 1997. – № 3. – С. 97–119.

## **СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ ІЗ РЕЛЕЙНОЮ ФУНКЦІЄЮ КЕРУВАННЯ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Розглядається лінійна система керування

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + C(t)u(\bullet), \quad x(0) = x_0 \quad (1)$$

з функцією керування у структурно-параметричній формі

$$u(\bullet) = \psi_i(t, b_i), \quad t \in [t_i; t_{i+1}], \quad i = 0, 1, \dots, N-1. \quad (2)$$

Тут  $t \in [0; T]$  — часова змінна;  $x(t)$  — вектор фазових координат розмірності  $n$ ;  $A(t)$  та  $C(t)$  — матриці з абсолютно неперервними компонентами;  $\psi_i(t, b_i)$  — задані неперервні вектор-функції розмірності  $m$ ;  $b_i \in [\alpha_i; \beta_i]$  — числові параметри;  $t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$  — точки перемикавання, які можуть бути фіксованими або невідомими.

Задача структурно-параметричної оптимізації полягає у знаходженні параметрів та точок перемикавання функції керування (2) та відповідної траєкторії системи (1) таким чином, щоб мінімізувати критерій якості

$$J(u) = \int_{t_0}^T f_0(x(t), u(\bullet), t) dt + \Phi(x(T)). \quad (3)$$

Один з підходів до розв'язування задач структурно-параметричної оптимізації систем керування заснований на застосуванні варіаційного методу. За його допомогою будуються ітераційні процедури типу градієнтного спуску за обраними параметрами та точками перемикавання [1]. Проте при реалізації подібних методів на практиці виникають певні труднощі, пов'язані, зокрема, із нестійкістю спряженої системи.

У статті [2] обґрунтовано можливість застосування принципу оптимальності Беллмана та методу динамічного програмування до задачі (1)–(3), побудовані рівняння Беллмана в інтегральній та диференціальній формах, встановлені достатні умови оптимальності. У [3] розроблено чисельний алгоритм оптимізації параметрів системи (1) у випадку функції керування вигляду

$$u(\bullet) = b_i, \quad t \in [t_i; t_{i+1}], \quad i = 0, 1, \dots, N-1$$

та фіксованих точок перемикавання.

У даній роботі побудовано алгоритм обчислення невідомих точок перемикавання для системи переривчастого опалення із релейною функцією керування.

### **Література**

1. Бублик Б.Н. Структурно-параметрическая оптимизация и устойчивость динамики пучков / Б.Н.Бублик, Ф.Г.Гарашенко, Н.Ф.Кириченко. – К.:Наукова думка, 1985. – 304 с.
2. Strakhov E.M. Dynamic Programming in Structural and Parametric Optimization / E.M. Strakhov // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2013. – Vol.82, № 3. – PP. 503–512.
3. Страхов Є.М. Структурно-параметрична оптимізація в лінійних системах із фіксованою структурою / Є.М.Страхов, Н.М.Ставицька // XXVI Міжнародна конференція «Проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності»: 24–28 серпня, 2015 : тези доповідей. – Одеса, 2015. – С. 143.

## **ВИКОРИСТАННЯ ЕВОЛЮЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ ДЛЯ НАПРАВЛЕНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

Доцільність використання еволюційних методів в задачах оптимізації пояснюється необхідністю знаходження глобальних оптимумів цільових функцій в багатовимірному просторі незалежних змінних. При цьому традиційні методи оптимізації не є ефективними, оскільки потребують значно більше обчислювальних ресурсів та часу, крім того вони є методами локального пошуку та залежать від вибору початкової точки.

Еволюційні ж методи включають в себе елементи теорії, запропонованої Ч. Дарвіном [1], а саме спадкову змінність, адаптацію та боротьбу за існування, вони є групою багатовимірних, евристичних, стохастичних оптимізаційних методів. Найпопулярніші методи – це генетичний алгоритм та еволюційні стратегії. Метод еволюційних стратегій бере свій початок з ідеї використання мутацій до вектора параметрів, що мають дійсні значення, запропонованої Інго Рехенбергом при вирішенні задачі оптимізації в аеродинаміці в 60-их роках 20 століття, в 1981 році Ханс-Пауль Швевель ввів рекомбінації та провів порівняння з класичними методами оптимізації [2]. Генетичний алгоритм вперше було запропоновано в 1975 році Джоном Холландом, подальший розвиток він отримав у роботах Д. Голдберга, Кенета де Йонга та їх учнів [3].

Проте генетичні алгоритми та еволюційні стратегії, як і їх численні модифікації, мають один загальний недолік, який полягає в тому, що експерт чи дослідник, що проводить експеримент, приймає пасивну участь в процесі пошуку, через що виконується велика кількість недоцільних кроків та збільшується час виконання алгоритму [4]. Крім того, процес пошуку оптимуму уповільнюється постійним використанням рівномірного розподілу. Саме тому пропонується технологія композиційного подолання невизначеності та використання суб'єктивного міркування експерта для пошуку оптимального розв'язку.

Участь дослідника в процесі пошуку оптимального розв'язку досягається за допомогою використання методу аналізу ієрархій Сааті для попарного порівняння потенційних розв'язків, виходячи із значення функції, що оптимізується. Отримані результати дають змогу побудувати функцію належності для таких розв'язків, значення якої вказують на міру їх оптимальності. В залежності від цих значень проводиться відбір перспективних варіантів для створення нової популяції ймовірних розв'язків-нащадків. Кількість нащадків у кожного батьківського елемента пропорційна значенню функції належності. Запропонована процедура повторюється до досягнення умови зупинки.

Переваги методу EvoMax – це відсутність бінарного кодування потенційних розв'язків, а також відсутність впливу заданої точності на формування розв'язків, що збільшує швидкість роботи алгоритму та точність результату, що, разом зі зменшенням кількості невірних кроків, вказує на перевагу методу у порівнянні з класичним.

### **Література**

1. Дарвин Ч. О происхождении видов путём естественного отбора или сохранении благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь. – М.: АН СССР, 1939. – Т.3.
2. Schwefel H. P. Numerical Optimization of Computer Models. – John Wiley&Sons. – 1981. – 398 p.
3. Holland J. Adaptation in natural and artificial systems. – University of Michigan Press, 1975. – 97 p.
4. Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми. Навчальний посібник. – К.: «Маклаут», 2008. – 364 с.

## **ПРОБЛЕМА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ РОЗМІЩЕННІ ВАНТАЖУ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВОДНИМ ТРАНСПОРТОМ**

Розглядається задача розміщення прямокутних контейнерів в трюмах вантажних суден-контейнеровозів. Особливістю такої задачі є те, що поряд з класичним критерієм щільності упаковки, з'являється критерій рівномірності по вазі упаковки вантажу. При цьому критерій рівномірності при розміщенні вантажу є лексикографічно найбільш значущим. Найпростіший варіант критерію рівномірності - відстань від центра ваги вантажу до центральної осі трюму. Більш складним варіантом є ступінь інваріантності щодо певних груп перетворень. Аналогічні задачі можуть виникати і при організації перевезень на повітряному транспорті, залізничних платформах і в інших ситуаціях.

Для подібних задач невідомі алгоритми поліноміальної трудомісткості пошуку оптимальних або близьких до оптимальних розв'язків. Існуючі на сьогодні методи зводяться до простого перебору можливих варіантів розміщення. З огляду на складність задачі рівномірної упаковки вантажу, виправданим є застосування метаевристик для пошуку оптимуму задачі.

Розглянемо алгоритм упаковки вантажу, заснований на фрагментарній моделі [1]. Будемо припускати, що кожен з елементарний фрагментів упаковки є прямокутним паралелепіпедом. При цьому упаковка передбачається одношаровою, а основа трюму - прямокутник заданих розмірів.

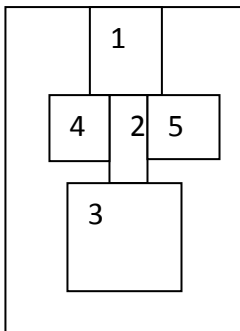


рис.1

Нехай заданий порядок перегляду елементів вантажу. Упаковка буде будуватися за допомогою наступного жадібного алгоритму. Черговий елемент встановлюється таким чином, щоб з одного боку, зберігалася компактність упаковки (максимально щільне розміщення елементів), з іншого боку, розміщення на кожному кроці повинно залишатися максимально рівномірним. Приклад роботи фрагментарного алгоритму наведено на рис.1. Безумовно, кінцевий результат розміщення залежить від вибору початкової перестановки фрагментів.

На підставі запропонованої фрагментарної моделі можна будувати метаевристики для пошуку оптимальних розв'язків задачі. Наприклад, використовувати еволюційний алгоритм [1] або алгоритм мурашиної

колонії [2].

Для реалізації методу, що наведено вище, передбачається використання інтерпретатора Python, за допомогою якого створюється діалогова система підтримки прийняття рішень для задачі упаковки вантажу.

### **Література**

1. Козин И. В. Фрагментарные структуры и эволюционные алгоритмы / И.В.Козин // Питання прикладної математики і математичного моделювання : зб. наук. праць / [ред. кол.: О.М.Кисельова (головний редактор) та ін.]. – 2008. – С. 138-146.
2. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы: теория и применение /С.Д.Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. -2004. № 4.

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ВІД СИМЕТРІЇ КОМБІНАТОРНИХ МНОЖИН

Вступ. Як відомо, симетрія характерна для різноманітних структур як неживої так і живої природи. В комбінаториці та комбінаторній оптимізації також має місце симетрія. В літературі розглядаються симетрії розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини [1]. Ця комбінаторна конфігурація є аргументом цільової функції в різноманітних задачах розбиття, зокрема в задачах класифікації та кластеризації. Для них вводяться класи еквівалентності, однією з умов яких виступає симетрія. Досить ґрунтовно виділяють та досліджують групи симетрії на перестановках, визначають їхній порядок. Також проводиться спроба використати властивість симетрії при прийнятті оптимальних рішень в багатокритеріальній оптимізації, класифікації, кластеризації. Як правило, розглядаються відомі результати з теорії груп та наведено відомі приклади задач оптимізації, в яких має місце симетрія. Але в літературі симетрія упорядкованих комбінаторних множин не аналізується. Закономірність зміни значень цільової функції в залежності від симетрії комбінаторних множин в літературі також не розглядається.

*Загальна математична постановка задачі комбінаторної оптимізації.* Задачі комбінаторної оптимізації задаються однією  $A$  або кількома множинами, наприклад  $A$  та  $B$ . [2]. Вагою назвемо величину, яка визначає залежність, що існує між елементами  $a_s \in A$  та  $b_l \in B$  або між елементами однієї і тієї ж множини,  $s \in \{1, \dots, n\}$ ,  $l \in \{1, \dots, \tilde{n}\}$ ,  $n$  – кількість елементів множини  $A$ ,  $\tilde{n}$  – кількість елементів множини  $B$ . Покладемо, що  $n = \tilde{n}$ . Значення ваг між елементами множин  $A$  та  $B$  задамо однією або двома симетричними або несиметричними матрицями  $C$  та  $Q(w^k)$ , де  $Q(w^k)$  – комбінаторна матриця,  $w^k \in W$  – аргумент цільової функції (комбінаторна конфігурація),  $k \in \{1, \dots, q\}$  – порядковий номер  $w^k$  у їхній множині  $W$ . Структуру вхідних даних змодельємо функціями натурального аргументу  $\varphi(j)|_1^m$  та  $f(j)|_1^m$ , одна з яких комбінаторна  $\beta(f(j), w^k)|_1^m$ , де  $n = n'$  (для симетричної матриці  $m=n(n-1)/2$ ).

Цільову функцію запишемо в такому вигляді:

$$F(w^k) = \sum_{j=1}^m \beta_j(f(j), w^k) \varphi(j). \quad (1)$$

Уведемо системи комбінаторних функцій  $H$  та  $H'$ , де  $\beta(f(j), w^k)|_1^m \in H$  – комбінаторна функція, аргументом якої є перестановка  $w^k \in W$ , утворена з елементів базової множини  $A_n = \{a_1, \dots, a_n\}$ ,  $\beta(f(j), w^i)|_1^m \in H'$  – комбінаторна функція, аргументом якої є перестановка  $w^i \in W'$ , утворена з елементів базової множини  $\tilde{A}_m = \{\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_m\}$ . Якщо  $\beta(f(j), w^1)|_1^m = \beta(f(j), w'^1)|_1^m$ , де  $w^1, w'^1$  – перші перестановки в  $W$ ,  $W'$  і  $\beta(f(j), w^1)|_1^m \in H$ ,  $\beta(f(j), w'^1)|_1^m \in H'$ , то  $H \subset H'$ . Задачу комбінаторної оптимізації, вхідні дані в якій задано функціями  $\beta(f(j), w^k)|_1^m$  та  $\varphi(j)|_1^m$ , назвемо базовою (або задачею системи  $H$ ). Задачу, вхідні дані в якій задано функціями  $\tilde{\beta}(f(j), w^i)|_1^m$  (або  $\vec{\beta}(f(j), w^i)|_1^m$ ), де  $\tilde{\beta}(f(j), w^i) \geq \tilde{\beta}(f(j+1), w^i)$  (або  $\vec{\beta}(f(j), w^i) \leq \vec{\beta}(f(j+1), w^i)$ ), та  $\vec{\varphi}(j)|_1^m$  (або  $\bar{\varphi}(j)|_1^m$ ), де  $\vec{\varphi}(j) \leq \vec{\varphi}(j+1)$  (або  $\bar{\varphi}(j) \geq \bar{\varphi}(j+1)$ ), утворених із  $\beta(f(j), w^k)|_1^m$  і  $\varphi(j)|_1^m$ , назвемо упорядкованою (або задачею системи  $H'$ ).

Комбінаторною конфігурацією назовемо будь-яку сукупність елементів, яка утворюється з усіх або з деяких елементів базової множини  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  [2]. Позначимо її упорядкованою множиною  $w^k = (w_1^k, \dots, w_{\eta^k}^k)$ . Під символом  $w_j^k \in A$  розуміємо як окремі елементи, так і підмножини (блоки),  $\eta^k \in \{1, \dots, n\}$  – кількість елементів у  $w^k$ ,  $W = \{w^k\}_1^q$  – множина комбінаторних конфігурацій. Верхній індекс  $k$  ( $k \in \{1, \dots, q\}$ ) у  $w^k$  позначає порядковий номер  $w^k$  у  $W$ ,  $q$  – кількість  $w^k$  у  $W$ .

Для множини перестановок із усіх видів симетрії виділимо ту, яка описується законами евклідової геометрії. В цьому разі вважатимемо, що перестановка симетрична, якщо вона збігається сама із собою при русі без деформацій. Існує єдиний спосіб перемістити симетричну послідовність так, щоб вона збіглася з початковою. Це – її поворот на  $180^\circ$ . Уведемо таке означення.

*Означення 1.* Інверсією перестановки  $w = (1, 2, \dots, n-1, n)$  назовемо перестановку  $\tilde{w} = (n, n-1, \dots, 2, 1)$ , тобто  $w \in W$  та  $\tilde{w} \in W$  симетричні одна відносно другої.

Отже, множині перестановок властива симетрія. З цього випливає наступне означення.

*Означення 2.* Назвемо прямою та оберненою функції, які симетричні відносно лінії, паралельній осі абсцис або осі ординат. Якщо ці функції монотонні або лінійні то паралельна лінія проходить через точку їхнього перетину.

Пряма та обернена функції мають однакові множини визначення та множини значень.

*Симетрія в комбінаторній оптимізації.* Розглянемо закономірність зміни значень цільової функції (1) в залежності від симетрії множини комбінаторних конфігурацій (розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини та перестановки).

Задачу, аргументом цільової функції в якій є розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини, назовемо основною, а цільову функцію (1) прямою, якщо в ній знаходження оптимального результату проводиться за кількістю зв'язків між елементами однієї і тієї ж підмножини. Задачу із класу розбиття назовемо оберненою до основної, в якій цільова функція обернена до прямої, тобто результат обчислюється за кількістю зв'язків між елементами, що знаходяться в різних підмножинах. Якщо елементи  $a_s, a_t \in A$  знаходяться в різних підмножинах заданого розбиття, то  $\beta_j(f(j), w^k) = 1$ . В іншому разі  $\beta_j(f(j), w^k) = 0$ . Якщо цільова функція в основній задачі (1) набуває найбільшого значення, то в оберненій набуває найменшого значення і навпаки.

З цього можна зробити висновок, що задачам, аргументом цільової функції в яких є розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини, властива симетрія.

Розглянемо задачі, в яких розв'язок знаходиться на множині перестановок.

Якщо аргументом цільової функції є перестановка, то прямою функцією вважаємо (1), а оберненою задамо таким виразом [3]

$$\tilde{F}(w^k) = \prod_{j=1}^m (\beta(f(j), w^t) + \varphi(j)) . \quad (2)$$

*Теорема 1.* Якщо  $\beta(f(j), w^1)|_1^m = (1, \dots, m)$ , а  $\varphi(j)|_1^m = (1, \dots, m)$ , то найбільшого значення цільова функція (1) набуває для перестановки  $w^1 = (1, \dots, m)$ , а найменшого – для перестановки  $\tilde{w}^t = (m, \dots, 1)$ .

*Теорема 2.* Якщо  $\beta(f(j), w^1)|_1^m = (1, \dots, m)$   $\varphi(j)|_1^m = (1, \dots, m)$ , то найбільшого значення цільова функція (2) набуває для перестановки  $\tilde{w}^t = (m, \dots, 1)$ , а найменшого – для перестановки  $w^1 = (1, \dots, m)$ .

Справедливість цієї теореми доведено для системи  $H'$ . А оскільки  $H \subset H'$  при  $\beta(f(j), w^1)|_1^m = \beta(f(j), w^1)|_1^m$ , то вона справедлива і для  $H$ ,  $w^1 = (1, \dots, n)$ ,  $w^1 = (1, \dots, m)$  – перші перестановки у множинах  $W$  та  $\bar{W}$ .

Для певного впорядкування комбінаторних множин (аргумента цільової функції) побудуємо послідовність розв'язків  $F = (F_1, \dots, F_q)$ , отриманих за допомогою прямої цільової функції, та послідовність розв'язків  $\tilde{F} = (\tilde{F}_1, \dots, \tilde{F}_q)$ , отриманих за допомогою оберненої цільової функції. При цьому значення  $F_j$  та  $\tilde{F}_j$  обчислене для одного і того ж аргументу  $w^k \in W$ . Сформулюємо такі теореми.

**Теорема 3.** Для задач комбінаторної оптимізації послідовність розв'язків  $F = (F_1, \dots, F_q)$ , побудованих за допомогою прямої функції, симетрична послідовності розв'язків  $\tilde{F} = (\tilde{F}_1, \dots, \tilde{F}_q)$ , побудованих за допомогою оберненої функції.

**Теорема 4.** В задачах комбінаторної оптимізації, вхідні дані в яких задано прямими та оберненими функціями натурального аргументу, послідовність розв'язків  $F = (F_1, \dots, F_q)$ , отриманої для прямої функції натурального аргументу, симетрична послідовності  $\tilde{F} = (\tilde{F}_1, \dots, \tilde{F}_q)$ , отриманої для оберненої функції натурального аргументу.

2. Наведемо приклади розв'язних задач із класу задачі комівояжера, в яких вхідні дані задано прямими та оберненими функціями натурального аргументу. Закономірність зміни значень цільової функції розглянемо для певного впорядкування підмножин перестановок  $K_1, K_2, \dots, K_{n-2}$ , які виділяються з використанням незалежних від вхідних даних параметрів.

**Теорема 5.** Якщо значення комбінаторної функції (прямої функції натурального аргументу)  $\beta(f(j), w^1) = k^0 j + b$ , або  $\beta(f(j), w^1) = 2^j$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $k^0, b > 0$  – цілі довільні числа, то найбільшого значення цільова функція (1) набуває для перестановки  $w^{i^*} \in K_1$ , а найменшого – для перестановки  $w^{k^*} \in K_{n-2}$ .

Якщо значення оберненої функції натурального аргументу  $\beta(f(j), w^1) = (k^0 m + b) - (k^0 j + b) + (k^0 + b)$ , або  $\beta(f(j), w^1) = 2^{m-j+1}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $k^0, b > 0$  – цілі довільні числа, то найменшого значення цільова функція (1) набуває для перестановки  $w^{i^*} \in K_1$ , а найбільшого – для перестановки  $w^{k^*} \in K_{n-2}$ .

**Теорема 6.** Якщо в задачі комівояжера вхідні дані задано прямою монотонно-незростаючою функцією натурального аргументу, то значення цільової функції (1) на заданому впорядкуванні перестановок підмножинами  $K_1, K_2, \dots, K_{n-2}$  змінюється як кусково-монотонна неспадна. Якщо вхідні дані задано оберненою монотонно-неспадною функцією натурального аргументу до заданої прямої, то значення цільової функції (1) на цьому ж упорядкуванні перестановок змінюється як кусково-монотонна незростаюча функція.

Для задач комбінаторної оптимізації розглянемо як змінюється цільова функція в залежності від транспозиції перестановок (відповідно значень комбінаторних функцій) [4]. Така зміна значень впливає із симетрії комбінаторних множин. Наведемо теореми.

**Теорема 7.** Якщо  $\beta(f(j), w^1)|_1^m = (1, \dots, m)$  та  $\varphi(j)|_1^m = (1, \dots, m)$ , то будь-яка транспозиція переводить  $n-2$  пари значень  $\beta_j(f(j), w^1)$  в інверсне, а значення цільової функції  $F(w^k)$  зменшується по відношенню до  $F(w^1)$ .



**Теорема 8.** Якщо  $\beta(f(j), \tilde{w}^k)|_1^m = (m, \dots, 1)$  та  $\varphi(j)|_1^m = (1, \dots, m)$ , то будь-яка транспозиція переводить  $n-2$  пари значень  $\beta_j(f(j), \tilde{w}^k)$  функції  $\beta(f(j), \tilde{w}^k)|_1^m$  в прямий порядок, а значення цільової функції  $F(w^i)$  по відношенню до  $F(\tilde{w}^k)$  збільшується.

**Теорема 9.** Якщо  $\beta_j(f(j), w) \in R$ ,  $\varphi(j) \in R$ , а цільова функція для  $w^* \in W$  набуває найбільшого значення, то найменше її значення для перестановки  $w^{**} \in W'$  дорівнює

$$F_{\min}(w^{**}) = F_{\max}(w^*) - \sum_{l=1}^{\zeta} \varepsilon_l(w^*) \varepsilon_l.$$

Якщо  $\beta_j(f(j), w) \in R$ ,  $\varphi(j) \in R$ , а цільова функція для  $w^{**} \in W$  набуває найменшого значення, то найбільше її значення для перестановки  $w^* \in W$  дорівнює

$$F_{\max}(w^*) = F_{\min}(w^{**}) + \sum_{l=1}^{\zeta} \varepsilon_l(w^*) \varepsilon'_l, \quad \text{де } \zeta = \lfloor m/2 \rfloor, \quad R - \text{множина дійсних чисел.}$$

$\varepsilon_l(w^*) = |\beta_t(f(t), w^*) - \beta_s(f(s), w^*)|$ ,  $\beta_t(f(t), w^*)$ ,  $\beta_s(f(s), w^*)$  – значення, які операцією транспозиції помінялися місцями в  $\beta(f(j), w^*)|_1^m$ ;  $\varepsilon'_l = |\varphi(t) - \varphi(s)|$ ,  $\varphi(t)$ ,  $\varphi(s)$  – значення, які перемножуються на  $\beta_t(f(t), w^*)$ ,  $\beta_s(f(s), w^*)$  функції  $\beta(f(j), w^*)|_1^m$ .

**Висновок.** Отже, аналіз зміни значень цільової функції показує, що послідовності розв'язків в задачах комбінаторної оптимізації для прямих та обернених функцій (як цільових так і функцій натурального аргументу) – симетричні. Ця властивість в комбінаторній оптимізації пов'язана із симетрією комбінаторних множин (аргументу цільової функції). Також, аналіз зміни значень цільової функції в залежності від транспозиції перестановок (відповідно значень комбінаторних функцій) показує, що послідовність розв'язків, упорядкованих від більшого до меншого  $(F_{\max}, F^*, \dots, F^{**}, F_{\min})$ ,  $F^* \geq F^{**}$  має свою симетрію  $(F_{\min}, F^{**}, \dots, F^*, F_{\max})$ , яка утворена однією і тією ж кількістю транспозицій однакових значень комбінаторної функції  $\beta(f(j), w^*)|_1^m$ .

Отримані результати можна використовувати при розв'язанні задач комбінаторної оптимізації різних класів для аналізу зміни значень цільової функції в залежності від структури вхідних даних з урахуванням симетрії комбінаторних конфігурацій.

## Література

1. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н.Колмогоров, С.В.Фомин. – М.: Наука, 1981. – 543 с.
2. Тимофієва Н.К. Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації. Автореф. дис... докт. техн. наук / Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, 2007. – 32 с.
3. Тимофеева Н.К. Оптимизация функции цели на отрезке натурального ряда / Н.К. Тимофеева / Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова НАН УССР. – К., 1989. – 24 с. Деп. в ВИНТИ 12.12.89, № 7344–В 89. – Реф. в: Математика. – 1990. – № 4.
4. Тимофієва Н.К. Про властивість симетрії в задачі розміщення одногабаритних модулів / Н.К. Тимофієва // Геометричне моделювання та інформаційні технології. – Миколаїв, МНУ ім. В.О. Сухомлинського. 2016. – № 1. – С.93–98.

## ОЦІНКИ НОРМ КВАДРАТИЧНО ГАУССОВИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ В ПРОСТОРІ $L_p(T)$ , $p \geq 1$

В даній роботі представлено результати досліджень квадратично гауссових випадкових процесів, а саме отримано оцінки для норм квадратично гауссових випадкових процесів в просторі  $L_p(T)$ ,  $p \geq 1$ . Даний результат цікавий перш за все тому, що при оцінюванні різних відхилень гауссових випадкових процесів в просторі  $L_p(T)$ ,  $p \geq 1$  нам доводиться мати справу з квадратично гауссовими випадковими процесами. На основі таких оцінок, зокрема, доводяться теореми про відхилення коваріаційної функції гауссового випадкового процесу від його оцінки в просторі  $L_p(T)$ ,  $p \geq 1$ . В роботі (3) було отримано схожі результати, однак тільки для випадку  $p = 2$ . Результати даної роботи можуть бути застосовані для довільних  $p \geq 1$ .

*Теорема:* Нехай  $\{T, A, \mu\}$  – вимірний простір де  $T$  деяка параметрична множина,  $A$  борелівська  $\sigma$ -алгебра,  $\mu$  скінченна міра. І нехай  $Y = \{Y(t), t \in T\}$  – це квадратично гауссів випадковий процес. Припустимо, що  $Y(t)$  вимірний процес. Якщо існує інтеграл Лебега  $C_p = \int_T (EY^2(t))^{\frac{p}{2}} d\mu(t)$  при  $p \geq 1$ , то з ймовірністю 1 існує  $\int_T (Y(t))^p d\mu(t)$  та для

всіх  $\varepsilon \geq \left( \frac{p}{\sqrt{2}} + \sqrt{p \left( \frac{p}{2} + 1 \right)} \right)^p C_p$  справджується нерівність

$$P \left\{ \int_T |Y(t)|^p d\mu(t) > \varepsilon \right\} \leq 2 \sqrt{1 + \frac{\varepsilon^{\frac{1}{p}} \sqrt{2}}{C_p^{\frac{1}{p}}}} \exp \left\{ - \frac{\varepsilon^{\frac{1}{p}}}{\sqrt{2} C_p^{\frac{1}{p}}} \right\}.$$

Подяка: Дане дослідження здійснено в межах програми International Visegrad Fund Scholarship № 51601704.

### Література

1. Buldygin V.V., Kozachenko Yu.V. Metric characterization of random variables and random processes. Amer. Math. Soc., Providence, RI. 2000.
2. Kozachenko Y., Troshki V. A criterion for testing hypotheses about the covariance function of a stationary Gaussian stochastic process, Modern Stochastics: Theory and Applications 2, 1-11. 2015.
3. Kozachenko Y., Fedoryanych T. A criterion for testing hypotheses about the covarians function of a Gaussian stationary process, Theor. Probability and Math. Statist. 69, 2005.- с.85-94.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ОДНОРІДНОГО ТА ІЗОТРОПНОГО ВИПАДКОВОГО ПОЛЯ ВІД ЙОГО МОДЕЛІ

Однією з найважливіших задач теорії випадкових процесів та полів є задача моделювання та апроксимації цих процесів та полів. Існує багато методів побудови моделей випадкових процесів. Для стаціонарних процесів найбільш відомим є метод розбиття та рандомізації спектру, розроблений Михайловим Г.О. та його учнями [2]. Іншими методами користувався Ядренко М.Й. та його учні. При побудові моделей випадкових процесів та полів важливо знати наскільки близькі побудовані моделі до цих процесів та полів в певних метриках. Побудові моделей, що наближають випадкові поля з заданою надійністю та точністю, присвячено ряд робіт Козаченка Ю.В. та його учнів (див. роботи [3], [4]).

В цій роботі розглядається неперервне в середньому квадратичному, гауссове однорідне та ізотропне випадкове поле на  $R^2$ . Для цього поля модифікованим методом розбиття та рандомізації спектру, який був введений в роботах [5], [6], побудована нова модель. При побудові моделей полів за допомогою модифікованого методу розбиття та рандомізації спектру отримуємо моделі, які є субгауссовими. Це є якісною відмінністю цього методу від інших, оскільки при цьому коваріаційна функція моделі співпадає з коваріаційною функцією поля, а для більшості інших методів ця властивість не виконується. В роботі використовується зображення однорідного та ізотропного випадкового поля, запропоноване Ядренком М.Й. в книзі [7]. Важливим завданням при моделюванні випадкових полів є оцінка ймовірності відхилення в рівномірній метриці моделі цього випадкового поля від самого поля на деякому компактi  $T$ , а саме знаходження оцінки для ймовірності

$$P\left\{\sup_{t \in T} |X(t, x) - \tilde{X}(t, x)| > \varepsilon\right\}$$

де  $X(t, x)$  – поле, а  $\tilde{X}(t, x)$  – його модель, тобто оцінка розподілу норми відхилення поля від його моделі. Оскільки,  $X(t, x) - \tilde{X}(t, x) \in Sub(\Omega)$ , то для оцінки надійності та точності побудованої моделі в просторі  $C(T)$  необхідно отримати оцінки супремумів норм відхилень поля від його моделі. Саме цій задачі і присвячена дана робота.

### Література

1. Булигін В.В., Козаченко Ю.В. Метричні характеристики випадкових величин і процесів, «ТВіМС», Київ, 1998.
2. Єрмаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования, «Наука», Москва, 1982.
3. Козаченко Ю.В., Пашко А.О., Розора І.В. Моделювання випадкових процесів та полів. ВПЦ Задруга, Київ, 2007.
4. Козаченко Ю.В., Погоріляк О.О., Тегза А.М. Моделювання гауссових випадкових процесів та процесів Кокса, Карпати, Ужгород, 2012.
5. Трошкі Н.В. Точність та надійність моделі гауссового однорідного та ізотропного випадкового поля у просторі  $L_p(T)$ ,  $p \geq 1$ , Теорія ймовір. та матем. статист. - 2014. - Вип. 90. - с.161-176.
6. N. Troshki Construction models of Gaussian random processes with a given accuracy and reliability in  $L_p(T)$ ,  $p \geq 1$ , Journal of Classical Analysis, Vol. 3, (2013), №2, 157-165.
7. М. Й. Ядренко, Спектральная теория случайных полей, «Вища школа», Киев, 1980.

## ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Надійність є основною перевагою виробничих систем і можливість практично безперервно підтримувати в справному стані. Автоматизація систем надає поняттю надійності величезну значимість. Надійність - властивість об'єкта зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування. Надійність об'єкта полягає у відсутності непередбачених неприпустимих змін його якості в процесі експлуатації і зберігання.

Система автоматичного регулювання із зворотним зв'язком показана на рис. 1. У ній блок називають регулятором *regulator*, - об'єктом регулювання *process*, *r* - керуючим впливом або установкою *reference*, *e* - сигналом неузгодженості або помилки *error*, *u* - вихідний величиною регулятора, *y* - регульованої величиною[1].

Якщо вихідна змінна *u* регулятора описується виразом

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

де *t* - час; *K, T<sub>i</sub>, T<sub>d</sub>* - пропорційний коефіцієнт (безрозмірний), постійна інтегрування (розмірність часу) і постійна диференціювання (розмірність часу) регулятора, то такий регулятор називають ПІД-регулятором.

В окремому випадку пропорційна, інтегральна або диференціальна компоненти можуть бути відсутніми і такі спрощені регулятори називають П, І чи ПІ регуляторами. Поширені також наступні модифікації вираження (1):

$$u(t) = K(e(t) + \frac{1}{T_i'} \int_0^t e(t) dt + T_d' \frac{de(t)}{dt}), \quad (2)$$

$$u(t) = Ke(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (3)$$

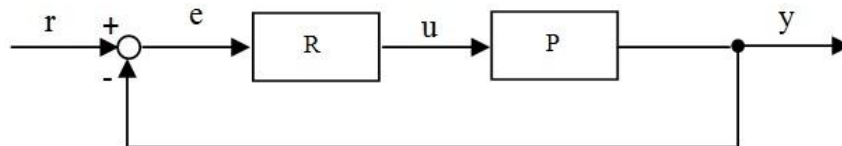


Рис. 1 - ПІД-регулятор в системі зі зворотним зв'язком

Найважливішим аспектом інтелектуального аналізу просторово розподілених об'єктів, включаючи системи теплопостачання є їх кластеризація на основі щільності розподілу ознак [2,3]. Задано множину площ розподілу щільності ознак  $\{p_{ij\beta}\}, \beta \in B$ , просторових координат  $\{a_{ij}\}$  і параметрів  $\{p_{ij\alpha}\}, \alpha \in A$ , для яких характерне  $S_{ij}, i \in I, j \in J$ , тоді критерієм пошуку щільності розподілу ознак може бути реалізація:

Етап 1.

$$p_{\alpha} = \frac{\sum_{i \in I, j \in J} p_{ij\beta} S_{ij}}{\sum_{i \in I, j \in J} S_{ij}} \mu(S_{ij\beta}), p_{ij} > p^*, \quad (4)$$

де  $p^*$  – поріг щільності,  $\mu(S_{ij\beta})$  – функція належності щільності розподілу (4) за деякою площею з  $S_{ij\beta}$ .

Етап 2. Формуємо область  $S_{ij\beta_x}$ , для якої значення квадратичного індексу нечіткості є чітким і набирає вигляду

$$\eta(\tilde{O}) = \frac{2}{\sqrt{n}} e(\tilde{O}, \bar{\tilde{O}}) \xrightarrow{a_{ij}, p > p^*} \min. \quad (5)$$

UML- діаграма класів запропонована на рис. 2.

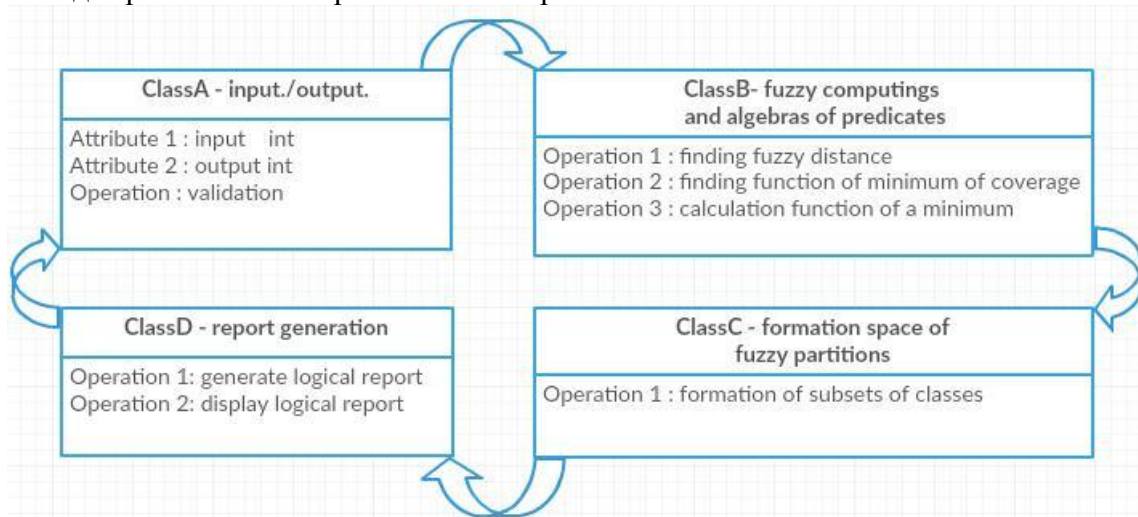


Рис. 2 - UML- діаграма класів:

ClassA – input./output – відповідає за введення даних і їх подальше виведення на екран; ClassB – fuzzy computing’s and algebras of predicates – Фазифікація вхідних даних і операція над нечіткими числами ( обчислення дистанції , знаходження функції мінімуму покриття , розрахунок функції мінімуму );

ClassC – formation space of fuzzy partions – предобробка нечітких чисел для подальшого зручного виведення;

ClassD – report generation – генерація звіту за отриманими даними з подальшим виведенням його через ClassA на екран.

## Література

1. Everitt B. Cluster Analysis/ S. Landau, M.Leese, D.Stahl: John Wiley & Sons Ltd, 2011, -330 р.
2. Кучеренко Е.И. Нечеткое разбиение объектов на основе критериев плотности / Е.И.Кучеренко, С.А.Глушков, И.С.Глушкова // Радиоелектроніка, інформатика, управління, 2016, № 1. – С. 32 - 39.
3. Кучеренко Е.И. Знание-ориентированные интеллектуальные методы принятия решений в условиях неопределенности / Е.И.Кучеренко, М.В.Ходак – Запорожье: Радиоелектроніка, інформатика, управління. Вип. 4(35)2015. – С. 45-51.

## **ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ СТРАТЕГІЧНОМУ ПЛАНУВАННІ**

У слабо структурованих предметних областях, до яких відносяться управління, охорона довкілля, виробництво, соціальна сфера та ін., нагальною є проблема побудови довготермінових не деталізованих планів діяльності цих галузей. Не виникає сумнівів у тому, що при створенні таких стратегічних планів потрібно спиратись на усі наявні знання в певній предметній області. Оскільки, знання в кожній такій області не є повністю формалізованими і, тому, здебільшого, знаходяться лише в головах спеціалістів, то було б нерозважливо при плануванні не використовувати інформацію, отриману від експертів. Тим більше, було б необачним зводити оцінки варіантів планування до кількісних (наприклад, фінансових) показників. Щоб мати реалістичні довготермінові плани, їх потрібно адаптовувати до неминучих змін поточної ситуації та враховувати наявність ресурсів для їхнього здійснення, необхідних у визначений момент. Тому стратегічні плани можуть бути раціональними лише на певному інтервалі часу.

Мета даної роботи – створити технологію, яка б включала формальні механізми побудови стратегічних планів в слабо структурованих предметних областях з залученням груп експертів та інженерів по знаннях.

Враховуючи вище окреслені вимоги до стратегій, а саме потреби в реалістичних та динамічних планах, пропонується при їх побудові використовувати інструментарій розподілу обмежених ресурсів для певних запропонованих заходів. Ресурси розподіляються на заданий момент часу в залежності від потенційного вкладу певного заходу у досягнення стратегічної цілі. Фактично, результати проведеної роботи мають давати відповідь на питання «які заходи мають бути виконані за поточних умов задля найефективнішого досягнення стратегічної мети?».

Існуючий арсенал методів цільового динамічного оцінювання альтернатив [1, 2] та аналізу ієрархій [3] задали орієнтовний напрямок для досліджень, проте, для стратегічного планування, деякі аспекти потребували детальнішої розробки.

Розроблена технологія побудови стратегії передбачає декілька етапів.

### **1) Побудова бази знань (БЗ).**

Цей етап реалізовано у вигляді веб-орієнтованої програмної системи, яка дозволяє особі, що приймає рішення (ОПР), інженерам по знаннях та експертам працювати віддалено для створення БЗ без необхідності збиратись разом у певному місці.

Цей етап включає ряд під-етапів:

#### **а. Підбір груп експертів для проведення експертизи.**

Задача вибору експертів у загальному випадку покладається на ОПР та на інженерів по знаннях. Причому, в рамках експертизи при вирішенні різних питань формуються різні групи спеціалістів, найбільш компетентних в певній галузі.

#### **б. Побудова (у ході діалогу з експертами) ієрархії цілей, яка описує галузь.**

На цьому під-етапі ОПР формулює стратегічну ціль, яка у ході проведення експертиз інженерами по знаннях підлягає декомпозиції на локальні цілі (фактори), що суттєво впливають на її досягнення. У ході декомпозиції віддалено працюючі експерти узгоджують свої думки щодо складу множин факторів впливу на ту чи іншу ціль і приходять до консенсусу в кожному питанні. Інженери по знаннях, маючи функції організаторів експертиз, для кожної декомпозиції локальної цілі формують окрему групу експертів. Створена програмна система дозволяє різним експертним групам працювати одночасно, при цьому кожен з експертів може бути включеним до різних груп. Перевагою віддаленого підходу є те, що в групі можуть співпрацювати і надавати свої знання спеціалісти, які часом бувають

несумісними при безпосередньому особистісному контакті (робота передбачає анонімність експертів і це, в свою чергу, виключає диктаторський вплив думок певних “авторитетів”). Коло долучених до експертизи спеціалістів може бути значно розширене завдяки можливості у системі кожному обирати найбільш зручну мову для спілкування, тобто в експертизі можуть приймати участь спеціалісти, які, навіть, не змогли б спілкуватись між собою без перекладача.

Рішення про достатній рівень деталізації і припинення подальшої декомпозиції стратегічної цілі приймають організатори експертизи у випадку, коли нижній рівень ієрархії цілей складатимуть лише цілі (фактори), які представляють собою готові до реалізації конкретні заходи (проекти).

Приклад зображення графу ієрархії цілей, яку було побудовано з метою розроблення системи кількісних та якісних показників для аналізу та оцінки ефективності виконання Плану заходів з розвитку космічної діяльності та виробництва космічної техніки на 2013 рік за замовленням Державного космічного агентства України, зображено на рис.1 як екранну форму системи підтримки прийняття рішень (СППР) «Солон» [1]. Демонстраційна версія СППР доступна на сайті Лабораторії СППР (<http://dss-lab.org.ua/>).

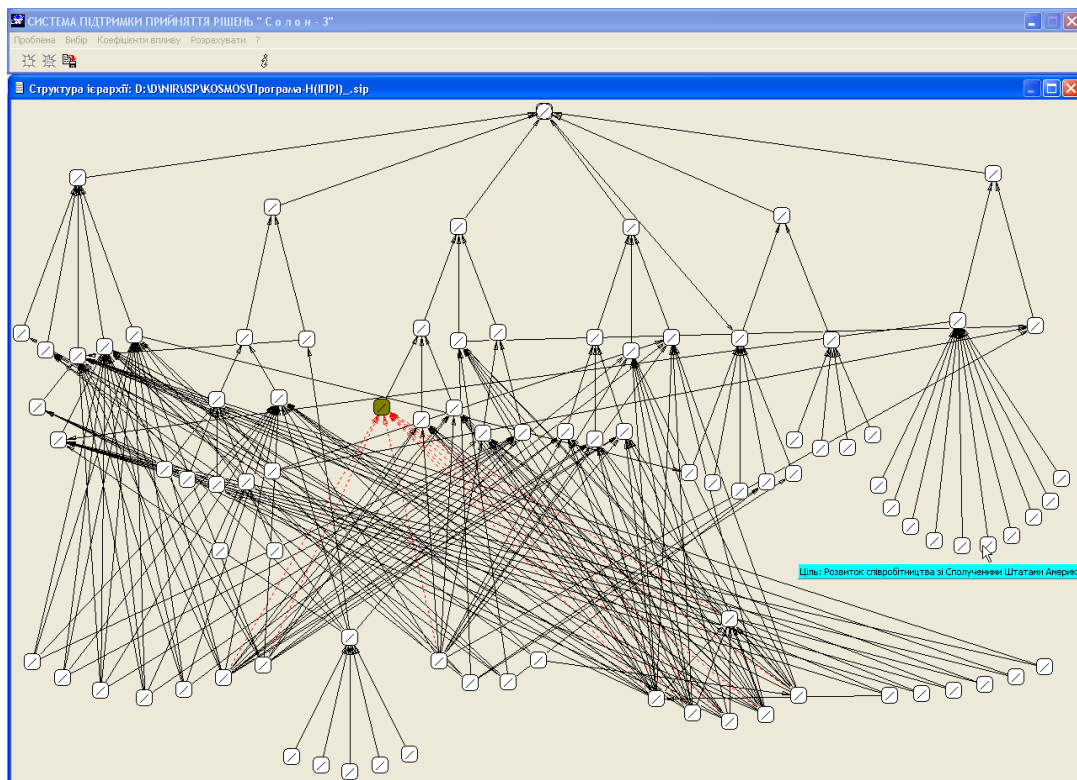


Рис. 1 Екранна форма СППР «Солон». Вигляд ієрархії цілей

#### в. Оцінка експертами відносних впливів цілей в ієрархії.

Відносний вплив кожної цілі в графі ієрархії визначається інженером по знаннях у випадку наявності достовірних знань про цей вплив на досягнення певної цілі, або ж групою експертів шляхом парних порівнянь впливів цілей (факторів).

Задля підвищення достовірності результатів експертизи, розроблено спеціальний програмний інструментарій, який надає експерту можливість виконувати кожне окреме парне порівняння у вербальній шкалі оцінювання, яка найбільш адекватно відображає думку експерта про питання, що обговорюється, та рівень впевненості його/її у власних знаннях [4, 5]. Програмний інструмент дозволяє у ході оцінювання поступово збільшувати рівень деталізації шкали, і вже остаточну оцінку надати в найбільш прийнятній шкалі (рис. 2).





Рис. 2 Поступове уточнення рівня детальності шкали парних порівнянь

Результатом даного під-етапу є відносні величини взаємних впливів цілей, які отримуються у результаті агрегації індивідуальних парних порівнянь експертів в рамках групи. Агрегацію пропонується проводити розробленим Циганком В.В. комбінаторним методом [6], переваги якого в ефективності, у порівнянні з іншими методами, підтверджено відповідним експериментальним дослідженням [7].

Слід зауважити, що агрегацію можна виконувати лише при достатній узгодженості експертних суджень. Для оцінки рівня узгодженості парних порівнянь пропонується використовувати Подвійно-ентропійний індекс узгодженості [8], який на основі сформованого спектра експертних оцінок ваг кожного із впливів визначає ступінь узгодженості та відповідає усім поставленим вимогам, що позитивно відрізняє його від інших відомих індексів. У випадку недостатньої узгодженості метод передбачає можливість підвищувати рівень узгодженості шляхом зворотного зв'язку з експертами.

На цьому побудова БЗ закінчується і пропонується етап побудови оптимальної стратегії на основі знань закладених у БЗ.

## 2) Визначення оптимальної стратегії.

Очевидно, що чим більше вагомість певного проекту, чи заходу, тим суттєвіше він впливає на досягнення стратегічної цілі. Тому, спрямування ресурсів на цей проект приносить вагоміші та відчутніші результати. В той же час, не варто виділяти на проект ресурсів менше, ніж необхідно для його старту та існування. Отже, в якості оптимальної стратегії пропонується обирати оптимальний варіант розподілу ресурсів між проектами (тобто той, який забезпечує найбільш ефективне досягнення стратегічної цілі). На рис.3 зображено екранну форму СППР «Солон» для гіпотетичного прикладу розподілу ресурсів.

Розподіл ресурсів між проектами						
Загальна кількість ресурсів		1 000 000,00	з точністю до	10,00	(значення не менше 5,26)	
№	Назва проекту	R min	% min	R max	% max	виділено
1	Будівництво кораблів класу "корвет"	100000	25	300000	100	282360,000
2	Державна програма «Ліси України»	1000	30	3000	100	0,000
3	Державна програма реалізації Договору з відкритого неба	1000	80	1300	100	0,000
4	Забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки арсеналів, баз та складів озброєння, ракет і боєприпасів ЗСУ	20000	20	50000	100	46070,000
5	Забезпечення житлом військовослужбовців, осіб рядового і начальницького складу органів внутрішніх справ, крим	10000	10	80000	100	53830,000
6	Заходи щодо створення ракетного комплексу	20000	50	50000	100	50000,000
7	Національна програма інформатизації	5000	80	7000	100	6160,000
8	Облаштування та реконструкція державного кордону	60	25	200	100	60,000
9	Оборонна програма розвитку ОВТ	50000	10	500000	100	434080,000
10	Створення військово-транспортного літака Ан-70 та його закупівля за державним оборонним замовленням	150000	40	300000	100	115380,000
11	Утилізація звичайних видів боєприпасів, не придатних для подальшого використання і зберігання	30000	50	45000	100	0,000
12	Утилізація компонентів рідкого ракетного палива	8000	70	12000	100	0,000

Рис. 3 Приклад розрахованого розподілу ресурсів між проектами

З екранної форми можна бачити, що для кожного проекту, що претендує на фінансування уводять експертні оцінки: мінімально необхідна кількість ресурсів для існування проекту



(R min), відсоток виконання проекту при мінімальному фінансуванні (% min), кількість ресурсів, що запитується (R max) та запланований відсоток виконання при цьому (% max – зазвичай, дорівнює 100%). Після виконання розрахунків за допомогою Генетичного алгоритму (кнопка <Розподілити>), величини виділених ресурсів розміщуються в колонці «виділено».

Список рекомендованих дій для ОПР у вигляді набору рекомендованих заходів із розрахованими обсягами фінансування буде базисом для оптимального стратегічного плану досягнення поставленої мети у довготерміновій перспективі в рамках наявних обмежених ресурсів.

Запропоновано технологію стратегічного планування у слабко структурованих предметних областях, яка ґрунтується на використанні апарату експертної підтримки прийняття рішень. Для формування баз знань, які характеризують предметну область з її стратегічною та локальними цілями, заходами, проектами та для визначення наявності їхніх взаємних впливів та відносної вагомості в контексті конкретної задачі, необхідно залучати фахівців-експертів. Запропонована технологія дозволяє на основі побудованої бази знань шляхом цілеспрямованого пошуку з допомогою Генетичного алгоритму серед раціональних варіантів визначати розподіл ресурсів для напрямів діяльності, що прагне забезпечити найефективніше досягнення стратегічної мети.

### Література

1. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект [Текст] / В.Г.Тоценко; ИПРИ НАНУ. – К.: Наукова думка, 2002. – 382 с.
2. Циганок В.В. Удосконалення методу цільового динамічного оцінювання альтернатив та особливості його застосування / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2013. – Т. 15, № 1. – С.90-99.
3. Saaty T.L. Relative measurement and its generalization in decision making. Why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors. The Analytic Hierarchy/Network Process, Statistics and Operations Research, – 2008. – Vol. 102(2), pp.251-318.
4. Циганок В.В. Агрегація групових експертних оцінок, що отримані у різних шкалах / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – т.13. – №4.– С.74-83.
5. Tsyganok V.V. Using Different Pair-wise Comparison Scales for Developing Industrial Strategies / V.V.Tsyganok, S.V.Kadenko, O.V.Andriichuk // Int. J. Management and Decision Making. – 2015. – Vol. 14, No.3. – pp.224-250.
6. Циганок В.В. Комбінаторний алгоритм парних порівнянь зі зворотним зв'язком з експертом / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2000. – Т.2, №2. – С.92-102.
7. Tsyganok V.V. Investigation of the aggregation effectiveness of expert estimates obtained by the pair-wise comparison method / V.V.Tsyganok // Mathematical and Computer Modelling – 2010. – Vol.52(3-4). – pp. 538-544.
8. Olenko A. Double Entropy Inter-Rater Agreement Indices / Andriy Olenko & Vitaliy Tsyganok // Applied Psychological Measurement. – 2016. – v.40(1). – pp.37-55.

## ВЛАСТИВОСТІ ЛЕКСИКОГРАФІЧНО ВПОРЯДКОВАНИХ ПЕРЕСТАНОВОК

Перестановки відіграють важливу роль в математиці та інформатиці. Зокрема в задачах комбінаторики, дискретної математики, багатьох оптимізаційних задачах [2–4]. Так в класичній задачі про комівояжера та квадратичній задачі про призначення перестановки є прямим об'єктом дослідження. Як вказувалося в [1], від вдалого вибору лексикографічного впорядкування змінних задачі залежить ефективність роботи точних та наближених методів лексикографічного напрямленого перебору. Чим ближче в лексикографічному розумінні буде розташований оптимальний розв'язок задачі в даному лексикографічному порядку до лексикографічного екстремуму множини допустимих значень, тим швидше він буде отриманий. Але кожному лексикографічному порядку відповідає певна перестановка індексів змінних. Тому проблема перегляду, аналізу та перетворення перестановок в процесі розв'язання багатьох задач, зокрема задач дискретної оптимізації, є дуже важлива та актуальна. Але не слід забувати, що навіть при відносно невеликій розмірності перестановки їх загальна кількість є великою. Так, наприклад, кількість перестановок розмірності 50 представляє собою 65-и розрядне ціле десяткове число.

В роботі розглядається альтернативний спосіб представлення перестановок, який дозволяє над впорядкованими перестановками задати різноманітні алгебраїчні та логічні операції. Якщо усі перестановки однієї розмірності впорядкувати за лексикографічним зростанням, то можна помітити певну закономірність в їх розташуванні, яка дозволяє використовувати замість звичайного представлення перестановок інший вигляд. На рис. 1 представлено структурну схему перетворення звичайної перестановки до такого спеціального вигляду. Рис. 2 містить структурну схему алгоритму для оберненого перетворення до перестановки звичайного виду.

$p = \text{PermutationToPosition}(\pi, \text{Ord})$	$\pi = \text{PositionToPermutation}(p, \text{Ord})$
<i>Input:</i> $\pi$ – перестановка, $\text{Ord}$ – базова перестановка. <i>Output:</i> $p$ – позиційне представлення.	<i>Input:</i> $p$ – позиційне представлення, $\text{Ord}$ – базова перестановка. <i>Output:</i> $\pi$ – перестановка.
<pre> for(int i = 0; i &lt; n - 1; i++){     <math>p_i = \text{Index of } \pi_i \text{ in Ord};</math>     <math>\text{Ord} = \text{Ord} \setminus \{\pi_i\};</math> } <math>p_{n-1} = 0;</math> </pre>	<pre> for(int i = 0; i &lt; n; i++){     <math>\pi_i = \text{Ord}_{p_i};</math>     <math>\text{Ord} = \text{Ord} \setminus \{\pi_i\};</math> } </pre>

Рис. 1 Алгоритм перетворення перестановки до позиційного виду.

Рис. 2 Алгоритм перетворення позиційного представлення перестановки до стандартного.

*Означення 1.* Вектор цілих чисел  $p = (p_0, p_1, \dots, p_{n-1})$ , отриманий в результаті роботи алгоритму  $p = \text{PermutationToPosition}(\pi, \text{Ord})$  назовемо *позиційним представленням перестановки*  $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{n-1})$

Легко бачити, що довільний цілочисловий вектор  $p = (p_0, p_1, \dots, p_{n-1})$ , у якого кожна координата  $p_i \in \{0, 1, \dots, n-i-1\}$ ,  $i = 0, 1, \dots, n-1$ , є позиційним представленням деякої перестановки  $\pi$ . Усі позиційні представлення перестановок розмірності 4, які впорядковані лексикографічно, представлено на рис. 3. Базова перестановка  $\text{Ord}$  в алгоритмах  $\text{PermutationToPosition}$  та  $\text{PositionToPermutation}$  визначає яким чином будуть впорядковані перестановки. Іншими словами, базова перестановка визначає пріоритети елементів згідно яких відбувається лексикографічне впорядкування усього набору перестановок даної

розмірності. Причому, впорядкований набір перестановок завжди буде починатися з базової перестановки  $Ord$ .

$p$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
	0	0	1	1	2	2	0	0	1	1	2	2	0	0	1	1	2	2	0	0	1	1	2	2
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Рис 3. Позиційне представлення перестановок розмірності 4.

Так, якщо  $Ord = (0, 1, \dots, n-1)$  – тривіальна перестановка, тоді усі перестановки будуть впорядковано в порядку лексикографічного зростання, як це показано на рис. 4.

$\pi$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
	1	1	2	2	3	3	0	0	2	2	3	3	0	0	1	1	3	3	0	0	1	1	2	2
	2	3	1	3	1	2	2	3	0	3	0	2	1	3	0	3	0	1	1	2	0	2	0	1
	3	2	3	1	2	1	3	2	3	0	2	0	3	1	3	0	1	0	2	1	2	0	1	0
№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Рис. 4 Лексикографічно впорядковані перестановки розмірності 4.

**Теорема 1.** Для довільної перестановки  $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{n-1})$  та базової перестановки  $Ord$  існує одне і тільки одне позиційне представлення  $p = (p_0, p_1, \dots, p_{n-1})$ , що визначається алгоритмами  $PermutationToPosition$  та  $PositionToPermutation$ .

Виявляється, що якщо перестановки розглядати в позиційному виді, тоді є можливість проводити з ними алгебраїчні операції додавання, відшукування різниці, множення та ділення так, що результуюча перестановка завжди буде займати «правильне» місце серед усіх перестановок, які впорядковані за базовою перестановкою  $Ord$ . В роботі представлені деталізовані структурні схеми таких операцій та здійснюється їх обґрунтування.

**Теорема 2.** Для довільного позиційного представлення  $p$  його порядковий номер  $IndexOf(p)$  у лексикографічно впорядкованому наборі усіх позиційних представлень

визначається як  $IndexOf(p) = \sum_{j=0}^{n-2} p_j (n-j-1)!$ .

Аналізуючи алгебраїчні операції над позиційними представленнями перестановок доводиться, що між операціями додавання та множення на множині всіх позиційних представлень перестановок  $n$ -го порядку та операціями суми та добутку по модулю  $n!$  існує ізоморфне відображення, тобто, якщо  $p^1, p^2$  – довільні позиційні представлення певних перестановок, тоді  $IndexOf(p^1 + p^2) = IndexOf(p^1) + IndexOf(p^2)$  та  $IndexOf(p^1 * p^2) = IndexOf(p^1) * IndexOf(p^2)$ .

Отримані в роботі результати дозволяють по новому розглянути вже відомі та будувати нові алгоритми для розв'язання задач в яких явно чи неявно використовуються перестановки. В таких алгоритмах певний напрямлений перегляд перестановок можна замінити напрямленим переглядом деякої впорядкованої множини цілих чисел, кожне значення з яких є індексом певної перестановки у множині перестановок впорядкованих за базовою перестановкою  $Ord$ .

### Література

1. Чупов С.В. Новые подходы к решению задач дискретного программирования на основе лексикографического поиска // Кибернетика и систем. анализ. – 2016. – № 4. – С. 43–54.
2. Кнут Д. Искусство программирования, том 3. Сортировка и поиск. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 824.
3. Андерсон Дж. Дискретная математика и комбинаторика. – М.: «Вильямс», 2006. – С. 960.
4. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика. – М.: «Мир», 1990. – С. 440.

## **МОДЕЛЮВАННЯ РЕЙТИНГІВ ДЛЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ**

В умовах зростання вимог до якості та ефективності управління економічними системами все більшої актуальності і значущості набувають рейтингові інструменти впливу. В умовах сучасного розвитку підприємницьких структур, вважаємо актуальним дослідження рейтингів як важливого напрямку підвищення ефективності рейтингового управління.

3. Під рейтинговим управлінням розуміють концепцію прийняття рішень потенційними користувачами на підставі використання рейтингів у процесі реалізації функцій управління. Тобто, рейтингове управління є процесом, у якому рейтинг використовується для аналізу, контролю, обліку, прогнозування та регулювання діяльності економічних систем. Тому методику обчислення рейтингу можна інтерпретувати як модель рейтингового управління, результатом якої є індикатор стану економічної системи.

4. Суттєвою характеристикою процесу рейтингового управління є те, що рейтингова оцінка одночасно виступає і як інструмент, і як ціль управління. Вибір моделі обчислення рейтингу залежить від конкретної стратегії управління (реалізації стратегії планування).

Методика складання рейтингів включає кілька етапів:

1. Постановка завдання. Перш ніж братися до складання рейтингу, потрібно не тільки знати, які об'єкти до нього ввійдуть, але й розуміти, з якою метою конкретний рейтинговий продукт буде використано - від цього чималою мірою залежить вибір методики.

2. Визначення найважливіших параметрів, що характеризують об'єкт. Двома основними способами такого визначення є: а) експертні оцінки; б) опитування цільової аудиторії.

3. Визначення відносної значимості кожного параметра. Після того як обрані характеристики оцінювання об'єкту, необхідно з'ясувати, наскільки важливий кожний із параметрів, якою є його питома вага. Часто сукупну важливість усіх факторів вважають за одиницю, а відносну значимість кожної окремої характеристики виражають у частках одиниці. Як і виділення параметрів ранжирування, визначення питомої ваги можна здійснювати або виходячи з рекомендацій людей, яких у даній області вважають авторитетами, або спираючись на думку певної цільової аудиторії.

4. Збирання інформації.

5. Обробка інформації. Обробка інформації для рейтингування полягає у визначенні підсумкових показників для кожного об'єкта рейтингування та ранжирування їх у відповідності з отриманими результатами від найбільших до найменших.

6. Оприлюднення результатів. Тут можливі три варіанти:

- наводять і сам рейтинг, і методику його складання, і однофакторні рейтинги по кожному з параметрів (ідеальний варіант).

- наводять тільки рейтингові позиції і числові показники по кожному параметру для кожного із об'єктів рейтингування (найпоширеніший спосіб).

- наводять верхню частину рейтингу без указівки конкретного місця об'єктів рейтингування (якщо методика є достатньо сумнівною).

### **Література**

1. Рейтинговое управление экономическими системами: монографія / О.И. Богатов, Ю.Г. Лысенко, В.Л. Петренко, В.Г. Скобелев. – Донецк: Юго-Восток, 1999. – 110 с.
2. Горский П. Положение об аналитическом рейтинге рангового типа // Електронний ресурс: Режим доступу [www.pavel.gorskiy.ru](http://www.pavel.gorskiy.ru).

## **ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ ЗМІН ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Проблема економічного розвитку на інноваційній основі в умовах динамічних змін зовнішнього середовища є однією з актуальних проблем підприємств та сучасної економічної науки. Проявом розбалансованості процесів, які відбуваються в суспільному бізнес-середовищі є некерованість процесами розвитку і прогнозування результатів інноваційної діяльності що обумовлюється нестабільним впливом зовнішнього середовища.

Метою роботи є формалізація управління економічним розвитком підприємств із перетворенням інформації стану в інформації управління в умовах нестабільності та багатокритеріальності.

Сучасним процесам економічного розвитку притаманні принципово нові методологічні орієнтири на принципах використання інформаційних технологій з урахуванням ймовірнісних уявлень про можливі виробничі ситуації, які викликані коливанням зовнішнього середовища.

В основі концепції інформаційного забезпечення економічного розвитку підприємств в умовах динамічних змін зовнішнього середовища полягає верифікація наступних гіпотез:

- оптимізація функцій управління інноваційної діяльності сприяє економічному зростанню за рахунок раціонального використання фінансових і матеріальних ресурсів підприємства;
- активізація процесів управління інноваційною сферою економіки визначає стійкість функціонування виробництва в умовах конкурентного ринку;
- забезпечення інноваційної активності підприємств досягається шляхом інтелектуалізації і компетенцій персоналу, які персоніфіковані в особі;
- рівень інноваційної активності визначається необхідною базою знань і механізмами реалізації існуючого інтелектуального потенціалу;
- досягнення балансу між витратами на інноваційну діяльність і попитом на якісну продукцію ґрунтується на зв'язку між параметрами функціонування складних економічних систем, масштабами впровадження і типологією мотивації інноваційного розвитку, в якій усі процеси і явища розглядаються у контексті інформаційних взаємодій.

При розробці концепції рішення ситуаційних задач управління інноваційними процесами і економічного зростання підприємств, що функціонують у складних умовах динамічних змін зовнішнього середовища, необхідно для кожного типу конкретної ситуації знайти відповідну послідовність процедур управління, яка включає в себе інформаційне забезпечення, сукупність критеріїв і методи прийняття рішень.

Існуюча система критеріїв прийняття управлінських рішень залишає відкритою проблему вибору критерію ситуаційного управління з урахуванням різних інтересів та досліджень корпоративних цілей в умовах невизначеності, що призводить до неоднозначності вибору оптимального рішення у різних інформаційних ситуаціях.

Ситуації, що виникають в процесі роботи в більшості випадків непередбачувані через динамічність зміни зовнішнього середовища, впливу чинників, порушень в системі управління. Змістовий сенс концепції ситуаційного управління в умовах невизначеності полягає в забезпеченні вибору найбільш переважних альтернатив з множин наявних альтернатив управління з урахуванням ситуації, що склалася.

Інформаційне забезпечення концепції економічного розвитку підприємств в умовах динамічних змін зовнішнього середовища виявляє наявність зокрема двох аспектів

зацікавленості еволюції об'єкта інтересів і вибору його структури третього аспекту інтересів, якій пов'язаний з необхідністю діагностики ситуації в залежності від спостереження стану. У відповідності з цими трьома аспектами, в інформаційній структурі пропонується завдання відповідних множин: множин керуючих альтернатив, множин структурних альтернатив, множин альтернатив діагностики, до яких повинні бути доставлені функція корисності та перехідна функція.

Запропоновано інформаційне забезпечення концепції економічного розвитку підприємств в умовах динамічних змін зовнішнього середовища.

Новизною прийняття рішень у запропонованій концепції ситуаційного управління є комбіноване використання методів оптимізації та методів багатокритеріальної класифікації. Якщо оптимізація є основою зіставлення об'єктів між собою, то багатокритеріальна класифікація реалізується шляхом зіставлення об'єкту з класами з метою вибору одного з них. На відміну від загальної задачі класифікації де відносини між класами довільні, при ситуаційному управлінні необхідне встановлення переваг між класами.

Концепція управління економічним розвитком підприємств постулює наявність в апараті управління конкретних реальних цілей. Процедура управління вважається формалізованою, якщо визначена і однозначно представлена послідовність елементарних актів її реалізації.

В запропонованій концепції ситуаційного управління визначається вибір управлінських альтернатив, які є кількісними характеристиками, що представляють апріорні відношення суб'єкту до стану системи, цільова орієнтація якої спрямована на зниження факторів суб'єктивності і невизначеності в системах підтримки прийняття рішень.

Обрані правила управління і діагностики взаємопов'язані певним чином і тому найкраще управлінське рішення може бути отримане при досягненні деякого сталого компромісу між максимальною очікуваною корисністю і мінімальним ризиком. Пошук і використання подібної рівноваги є внутрішньою метою управління.

Застосування в управлінні принципів інформаційного забезпечення математичного моделювання інноваційних процесів, причинно-наслідкових зв'язків інноваційної діяльності в технологічному розвитку виробництва і сфери послуг дозволить активізувати інноваційну активність шляхом врахування умов невизначеності і ризику в процесі прийняття рішень, знизити виробничі витрати і посилити позиції підприємств на конкурентному ринку.

## Література

1. Трухаев Р.И. Методы принятия решений в условиях неопределенности / Р.И.Трухаев. - М.: Наука, 1981. – 258 с.
2. Шарко А.В. Оптимизация принятия решений по управлению инновационной деятельностью предприятия в условиях неопределенности / А.В.Шарко, В.В.Крючковський, И.Ф.Погребняк // Економічні інновації. – 2012. – Вип. 47. – С. 313-320.
3. Шарко А.В. Организационные аспекты использования информации в сетях Байеса при анализе инновационных проектов / А.В.Шарко, М.В.Шарко, Е.Г.Васильченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 08-12 вересня 2014 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 102-104.
4. Шарко А.В. Системная методология построения информационных технологий ситуационного управления социально-экономическими объектами / А.В.Шарко, М.В.Шарко // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI 2015: Матеріали міжнародної наукової конференції, 24-26 травня 2015 р. – Залізний Порт, 2015 – С. 350-351.

# ГРАНИЧНІ ТЕОРЕМИ ДЛЯ МАКСИМУМУ СУМ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

Перші результати граничних теорем для максимуму сум були отримані М. Кацом та П. Єрдешем [1], вони привели до побудови теорії слабкої збіжності мір у функціональних просторах[2],[3]. Ставиться задача дослідження умов, при яких має місце слабка збіжність максимуму сум незалежних випадкових процесів і знаходиться її розв'язок у просторі  $C[0,1]$ .

Нехай  $X=\{X(s), s \in [0,1]\}$  – деякий випадковий процес (в.п.), а  $\Gamma = \{\Gamma(s), s \in [0,1]\}$  – гаусівський в.п., визначені на ймовірнісному просторі  $(\Omega; \Sigma; \mathbf{P})$ , зі значеннями в  $\mathbb{R}$  такі, що для будь-яких  $s, t \in [0,1]$   $\mathbf{E}X(s) = \mathbf{E}\Gamma(s) = 0$  і  $\mathbf{E}X(s)X(t) = \mathbf{E}\Gamma(s)\Gamma(t) =: R(s, t)$ . (1)

Розглянемо сепарабельний функційний банахів простір  $B = \{x = x(s), s \in [0, 1]\}$ . Казатимемо, що в.п. належить  $B$  майже напевне (м.н.), якщо його вибірккові функції належать  $B$  м.н. Припустимо, що  $\Gamma$  належать  $B$  м.н. і введемо випадкову функцію двох змінних

$$W(s, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Gamma_n(s) F_n(t), s, t \in [0,1] \quad (2)$$

де  $(\Gamma_n)$  – послідовність незалежних копій процесу  $\Gamma$ , а  $F_n(t)$  – пікоподібні функції Фабера-Шаудера (які є інтенралами відповідних функцій Гаара  $H_n(u)$ ), точніше  $F_n(t) = \int_0^t H_{n-1}(u) du$ .

Позначимо через  $(X_n)$  послідовність незалежних копій процесу  $X$  і покладемо

$$S_n(s) = \sum_{k=1}^n X_k(s), S_0 = 0, \bar{S}_n(s) = \max_{0 \leq k \leq n} S_k(s), n \geq 1. \text{ Має місце наступна}$$

Лема 1. ([4], Лема 3). Скінченновимірні розподіли випадкового процесу  $\frac{\bar{S}_n(s)}{\sqrt{n}}$  збігаються до скінченновимірних розподілів процесу  $\bar{W}(s) = \max_{t \in [0,1]} W(t, s)$ .

Якщо в.п.  $S_n(s)$  та  $W(s)$  належать просторові  $B$  м.н., то природно поставити задачу дослідження умов, за яких має місце слабка збіжність у цьому просторі: при  $n \rightarrow \infty$

$$\frac{\bar{S}_n(\cdot)}{\sqrt{n}} \rightarrow \bar{W}(\cdot). \quad (3)$$

Простір  $C[0,1]$  складається з неперервних на відрізу  $[0,1]$  функцій з рівномірною нормою.

Введемо такі позначення  $T_h = \{(s, t) \in [0,1]^2 : |s - t| \leq h, h > 0\}$ ;

$$d_p(s, t) = \left( \mathbf{E} |X(s) - X(t)|^p \right)^{1/p}, s, t \in [0,1], p \geq 1, d_p(h) = \sup_{T_h} d_p(s, t).$$

Теорема 1. Якщо випадкові процеси  $X$  та  $\Gamma$  задовольняють умову (1) і для деякого  $p \geq 2$

$$\sum_{n=1}^{\infty} 2^{n/p} d_p(2^{-n}) < \infty, \quad (4)$$

то  $X$ ;  $\Gamma$  та  $\bar{W}$  належать  $C[0,1]$  м.н. і в  $C[0,1]$  має місце слабка збіжність (3).

## Література

1. Erdos E., Kac M. On certain limit theorems in the theory of probability // Bull. Amer. Math. Soc. - 1946. - 52. - P. 292--302.
2. Гихман И.И., Скороход А.В. Теория случайных процессов, т. 1. - Москва: Наука, 1971. - 664 с.
3. Биллингсли. П. Сходимость вероятностных мер. -- Москва: Наука, 1977. - 352~с.
4. Мацак. И.К. Деякі граничні теореми для максимуму сум незалежних випадкових процесів // Укр. мат. журн. - 2008. - 60, №12. - С. 1664-1674.

## **НЕЧІТКА ОЦІНОЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ВИПУСКНИКА ВНЗ ЯК РЕЗУЛЬТАТУ НАВЧАННЯ**

Організація освітнього процесу на засадах компетентнісного підходу передбачає впровадження технологій оцінювання рівня компетентності випускника. Згідно освітньої програми підготовки, кожен випускник ВНЗ повинен володіти низкою ключових та професійних компетентностей, перелік яких наводиться в освітній програмі для кожної дисципліни. Тому, з метою визначення рівня компетентності випускника, пропонується розробка комплексної системи оцінювання, де в якості вхідних показників можна використати оцінки, одержані в процесі підготовки фахівця у ВНЗ за певним освітнім рівнем.

Для оцінювання рівня компетентності випускника як результату навчання доцільно використати методологічну схему на основі теорії нечітких множин. Нехай маємо множину показників, значення яких відображають результати освітньої діяльності випускника вузу, причому, часткові і узагальнені показники представляються нечіткими множинами. Потрібно побудувати нечітку оціночну модель з урахуванням багаторівневої структури оцінювання, різної значимості показників, а також нечітких відношень сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії.

Підхід до побудови нечіткої оціночної моделі для визначення рівня компетентності полягає в наступному. Вся множина показників розбивається за рівнями ієрархії. На кожному рівні ієрархії показники утворюють підмножини, кожна з яких відповідає показникам суміжного з ним більш високого рівня ієрархії. На першому рівні знаходиться підмножина з одного інтегрального показника – рівень компетентності випускника, на другому – рівні компетентності за циклами підготовки, на третьому – рівні компетентності по дисциплінах. Кожному показнику приписується вага.

Таким чином, нечітка оціночна модель визначення рівня компетентності випускника ВНЗ у формалізованому вигляді може бути представлена так:

$$R = f_R(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (1)$$

$$X_1 = f_{X_1}(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k_1}),$$

$$\vdots$$

$$X_n = f_{X_n}(x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nk_n}), \quad (2)$$

де  $R$  – рівень компетентності випускника вузу;  $X_i, i = 1, 2, \dots, n$  – рівень компетентності по  $i$ -у циклу підготовки,  $n$  – кількість циклів;  $k_i, i = 1, 2, \dots, n$  – кількість оцінок в  $i$ -у циклі;  $x_{ij}$  – рівень компетентності по  $j$ -й дисципліні в  $i$ -у циклі. Оцінка рівня компетентності по дисципліні  $x_{ij}$  може бути обчислена за формулою  $x_{ij} = Kw_K + Dw_D + Ow_O, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, k_i$ , де  $K, D, O$  – рівні сформованості когнітивного, діяльнісного та операційного компонентів компетентності, відповідно, а  $w_K, w_D, w_O$  – їх вагові коефіцієнти, причому  $w_K + w_D + w_O = 1$ . Співвідношенням (1)-(2) відповідає нечітке логічне рівняння, яке дає змогу визначити рівень компетентності випускника вузу  $R$ , використовуючи алгоритми нечіткого логічного виведення класифікації.

Пропонована нечітка оціночна модель дає можливість врахувати усі показники, які використовуються при визначенні рівня компетентності, має гнучку ієрархічну структуру, забезпечує можливість нечіткого представлення показників, враховує різну їх значимість за рахунок використання ваги показника, містить необхідний набір засобів формалізації для створення інформаційної технології і забезпечення її програмної реалізації.



## ПАРАЛЕЛЬНІ АЛГОРИТМИ З АВТОНОМНИМИ ГІЛКАМИ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДАНИХ

Зазвичай цифрову фільтрацію великих масивів даних необхідно здійснювати в режимі реального часу. Тому з цією метою потрібно розробляти ефективні паралельні алгоритми, орієнтовані на реалізацію на сучасних широко доступних високопродуктивних обчислювальних системах. Такими системами є кластери та багатоядерні комп'ютери [1, 2].

Нами розглядається двовимірна задача цифрової фільтрації (ЗЦФ). Загалом вона полягає у виконанні деякої кількості переобчислень згладжування масиву значень  $N$  змінних через рухоме вікно заданого розміру [3].

Для організації паралельних обчислень під час розв'язання сформульованої ЗЦФ використовуємо синхронний метод. Унаслідок цього одержуємо паралельний алгоритм (позначимо його  $A1$ ), згідно з яким всі значення змінних для переобчислення на  $t$ -му кроці беруться виключно з  $(t-1)$ -го кроку. Однак, під час реалізації на кластері або багатоядерному комп'ютері такий алгоритм вимагатиме додаткових часових затрат для забезпечення синхронізації обчислень у гілках. Тому на підставі використання ідей методу пірамід стосовно розпаралелювання циклів [4] для виконання синхронного методу обчислень запропоновано алгоритм (позначимо його  $A2$ ), в якому паралельні гілки є повністю автономними [5].

Зазначимо, що паралельний алгоритм  $A2$  (як і  $A1$ ) задає виконання  $N$  гілок  $i$ , звідси ж, потребує для своєї реалізації  $N$  окремих обчислювальних пристроїв (процесорів, ядер). Однак, в реальних обчислювальних системах, зокрема кластерах, кількість одночасно працюючих процесорів (ядер) та обчислювальних вузлів є обмеженою і наперед визначеною. Тому для розв'язання ЗЦФ доцільніше розробляти алгоритми з обмеженим паралелізмом [3], в яких кількість паралельно виконуваних гілок  $P$  є меншою за  $N$ . Такий алгоритм з автономними гілками (позначимо його  $A3$ ) нами запропоновано для розв'язання двовимірної задачі фільтрації на підставі алгоритму  $A2$ .

Позначимо через  $A$  послідовний алгоритм реалізації синхронного методу обчислень під час розв'язання двовимірної ЗЦФ.

*Твердження.* Алгоритми  $A$ ,  $A1$ ,  $A2$  та  $A3$  є еквівалентними за інформаційним графом.

Доведення цього твердження впливає із аналізу терм-історій (дерев) згаданих алгоритмів під час обчислення значення деякої змінної на заданому кроці.

На підставі наведеного твердження одержано оцінки прискорення, які показують достатньо високу ефективність запропонованих паралельних алгоритмів з автономними гілками для розв'язання двовимірної задачі фільтрації.

### Література

1. Рейтинговий список найпотужніших обчислювальних систем світу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.top500.org](http://www.top500.org).
2. Український національний грид. Базовий координаційний центр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.ung.in.ua](http://www.ung.in.ua).
3. Анисимов А.В., Яджак М.С. Построение оптимальных алгоритмов массовых вычислений в задачах цифровой фильтрации // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – № 4. – С. 3–14.
4. Вальковський В.О., Яджак М.С. Проблеми подальшого розвитку та модифікації методу пірамід для розпаралелювання циклів // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 2000. – 43, № 1. – С. 68–75.
5. Яджак М.С. Паралельний метод виконання цифрової фільтрації даних на кластерних системах // Матеріали міжнар. наук. конф. «Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів». – Рівне: РВВ РДГУ, 2015. – С. 188.

## МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ МАКСИМАЛЬНОЇ ВИКОНУВАНOSTІ ТА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ

Задача максимальної виконуваності полягає в знаходженні вектору значень, при якому кількість виконаних диз'юнктивів з набору  $C_1, \dots, C_m$  буде найбільшою.

Для кожного диз'юнкту  $C_i$  введемо допоміжну булеву змінну  $z_i$ :

$$\sum_{j \in C_i^+} y_j + \sum_{j \in C_i^-} (1 - y_j) \geq z_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

Тоді модель ЦЛП має вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m z_i &\rightarrow \max \\ \sum_{j \in C_i^-} y_j - \sum_{j \in C_i^+} y_j + z_i &\leq |C_i^-|, \quad i = 1, \dots, m, \\ 0 \leq y_j &\leq 1, y_j \in \mathbb{Z}, \quad j = 1, \dots, n, \\ 0 \leq z_i &\leq 1, z_i \in \mathbb{Z}, \quad i = 1, \dots, m, \\ y_j, z_i &- \text{цілі}, \quad j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Найефективніші методи щодо розв'язання даної задачі, як показує практика - це методи пошуку з поверненням та ймовірнісні методи. Ймовірнісні методи реалізують присвоєння значень змінним на основі аналізу вхідної інформації, та інформації здобутої в процесі розв'язування задачі. Методи пошуку з поверненням в свою чергу реалізують пошук перебором, з можливістю відтинання конфліктних напрямків і як варіант дозволяють накладати штрафи на непрогресуючі шляхи.

Наприклад глобальний керований пошук використовує штрафи, що дозволяють міняти напрямок руку. Керований пошук використовує модифіковану функцію локального пошуку  $g(s)$ , що має наступний вигляд [1]:

$$h(s) = g(s) + \lambda \cdot \sum_{i=1}^M p_i \cdot I_i(s), \text{ де}$$

$p_i$  - параметр штрафу,  $\lambda$  - параметр регуляризації,

$$g(s) = \# \{c_i \mid c_i \text{ приймає хибне значення при значенні істинності } s\} \quad [2]$$

$$I_{f_i}(s) = \begin{cases} 1, & \text{якщо диз'юнкт } C_i \text{ не виконується розв'язком } s \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Параметр регуляризації  $\lambda$  вказує на відносну важливість штрафів по відношенні до ціни розв'язку і грає значну роль у відшуканні розв'язку, тому що дає змогу контролювати вплив інформації на процес пошуку.

Одним з методів, на яких базується більша частина сучасних SAT та MaxSAT обчислювачів є метод CDCL. DPLL-алгоритм, що лежить в основі CDCL-алгоритму, використовує пошук з поверненням, на кожному кроці якого відбувається вибір змінної і присвоєння їй значення (0 або 1) для подальшого розгалуження, після чого спрощена формула проходить рекурсивну перевірку на виконуваність. У разі, коли зустрічається конфлікт, тобто, отримана формула є невиконуваною, включається механізм повернення [3], при якому скасовуються розгалуження, в яких для змінної були випробувані обидва значення. Якщо пошук повертається до розгалуження першого рівня, вся формула оголошується невиконуваною.

Диз'юнкти, використовувані в алгоритмі, діляться на виконувані, коли серед включених до диз'юнкту значень є 1, невиконувані - всі значення нульові, одиничні - всі

нулі, крім однієї змінної, якій значення ще не присвоєно, і невирішені - всі інші. Однією з найважливіших складових методу є правило одиничного диз'юнкту, при якому вибір змінної і її значення однозначний.

CDCL використовує деякі прийоми що робить його досить потужним методом [4]:

- запам'ятовування нових диз'юнктів в ході пошуку з поверненням.
- використання конфліктів для отримання і запам'ятовування нових диз'юнктів.
- періодичний перезапуск пошуку з поверненнями.

З групи ймовірнісних методів розглянемо метод глобального рівноважного пошуку. В основі методу ГРП лежить "температурний цикл" [5]. В ньому проводиться серія стартів пошуку найкращого розв'язку. Даний цикл та його повторення дозволяють зручно чергувати режими диверсифікації та інтенсифікації області пошуку розв'язків, що в підсумку приводить до високої ефективності методу. Задамо числа  $K$  та  $\mu_0 < \mu_1 < \dots < \mu_K$ . Нехай множина  $\tilde{S}$  є деякою підмножиною розв'язків задачі знайдених методом глобального рівноважного пошуку, а також

$$\tilde{S}_j^1 = \{x : x \in \tilde{S}, x_j = 1\}, \quad \tilde{S}_j^0 = \{x : x \in \tilde{S}, x_j = 0\}.$$

Для  $k = 0, \dots, K$  визначимо наступні величини:

$$\tilde{Z}_k = \sum_{x \in \tilde{S}} \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{F}_k = \sum_{x \in \tilde{S}} f(x) \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{E}_k = \frac{\tilde{F}_k}{\tilde{Z}_k},$$

а для  $k = 0, \dots, K$  і  $j = 1, \dots, n$  - такі величини

$$\tilde{Z}_{kj}^1 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^1} \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{F}_{kj}^1 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^1} f(x) \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{E}_{kj}^1 = \frac{\tilde{F}_{kj}^1}{\tilde{Z}_{kj}^1}$$

$$\tilde{Z}_{kj}^0 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^0} \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{F}_{kj}^0 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^0} f(x) \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{E}_{kj}^0 = \frac{\tilde{F}_{kj}^0}{\tilde{Z}_{kj}^0}$$

$$\tilde{p}_{kj} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \tilde{p}_{0j}}{\tilde{p}_{0j}} \exp\left\{-0.5 \sum_{i=0}^{k-1} (\tilde{E}_{ij}^0 + \tilde{E}_{i+1j}^0 - \tilde{E}_{ij}^1 - \tilde{E}_{i+1j}^1)(\mu_{i+1} - \mu_i)\right\}}$$

Дані значення отримані з апроксимації розподілу Больцмана. Остання формула - це вираз для обчислення ймовірностей генерації розв'язків задачі.

Слід зазначити що ймовірнісні методи загалом складаються з двох етапів пошуку: генерацію розв'язків та пошуку локального максимуму в околі цього розв'язку. Тому такі методи можна якісно комбінувати з іншими методами, не обов'язково ймовірнісними, де на першому етапі ймовірнісний метод очікує дані розв'язків від іншого методу.

### Література

1. Chris Voudouris, Edward Tsang. "Guided Local Search".
2. Patrick Mills, Edward Tsang. "Guided Local Search for solving SAT and weighted MAX-SAT Problems".
3. Audemard, Gilles; Bordeaux, Lucas; Hamadi, Youssef; et al. (2008). "A Generalized Framework for Conflict Analysis" in Lecture Notes in Computer Science. SAT: 21-27, Springer.
4. Armin Biere, Marijn Heule, Hans van Maaren and Toby Walsch. Chapter 4. "Conflict-Driven Clause Learning SAT Solvers" // Handbook of Satisfiability. — IOS Press, 2008.
5. Шило В.П. "Метод глобального равновесного поиска" // Кибернетика и систем. Анализ. — 1999. - № 1. — С. 74-81.
6. Hamadi, Y. "Combinatorial Search: From Algorithms to Systems" — Springer Berlin Heidelberg, 2013. — 152 p.

## **КОНТРОЛІНГ У СИСТЕМІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

В сучасних умовах невизначеності особливої актуальності набуває впровадження в теорію і практику управління промисловим підприємством організаційних основ та інструментів контролінгу.

У науковій літературі контролінг розглядають як функцію підтримки прийняття рішень на підприємстві, яка передбачає збирання, підготовку, обробку, перерозподіл інформації; планування, орієнтоване на досягнення цільових показників; контроль досягнення цілей; інші управлінські заходи [1; 2; 3]. Крім того, контролінг є функцією сервісу для менеджменту і використовується для розробки планів підприємства, акумулювання інформації з метою прийняття управлінських рішень.

Розглядаючи контролінг як функцію підтримки процесу управління, логічним буде включати в нього ті види управлінської діяльності, які забезпечують досягнення поставлених перед підприємством цілей. Отже, контролінг як функціональна галузь управління охоплює в першу чергу підтримку процесів планування, контролю і регулювання, координацію та інформаційно-аналітичне забезпечення.

Варто відзначити, що зменшення диференціації функцій менеджменту підвищує вагомість контролінгу. Наприклад, якщо функція планування отримує організаційне оформлення у вигляді спеціалізованого відділу, контролінг забезпечує консультативно-методичну підтримку процесу планування; в іншому випадку контролінг виконує функцію планування на промисловому підприємстві і стає відповідальним за її результати. Завдяки контролінгу стає можливим так управляти аналітичними і контрольно-коригувальними процесами, щоб у максимальній мірі виключити помилки, прорахунки і небажані відхилення, забезпечуючи підприємству економічне і фінансове благополуччя.

Досліджуючи систему менеджменту як підсистему управління промисловим підприємством, ми погоджуємося з вченою І. Гусевою, яка розглядає менеджмент і контролінг як взаємопов'язані складові загальної системи управління [2]. Оскільки система менеджменту відповідальна за прийняття рішень і результат, то вона є провідною, управляючою по відношенню до контролінгу. При цьому контролінг інтегрує всі функції менеджменту, координує їх і, не підмінюючи собою управління підприємством, переводить його на якісно новий рівень.

Аналогічної точки зору дотримується Є. Складар, який стверджує, що контролінг знаходить точки дотику між функціональними складовими менеджменту, створюючи єдину систему управління і адаптує цю систему відповідно до вимог зовнішнього середовища [2].

Таким чином, за своїм функціональним наповненням і роллю в процесі управління, контролінг є інтегруючою і координуючою підсистемою управління; він забезпечує інструментальну і методичну базу підтримки прийняття рішень на підприємстві.

### **Література**

1. Контролінг – від теорії до реалізації на практиці: Монографія / В.В. Прохорова та ін. Харківський національний економічний ун-т. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2006. – 200 с.
2. Гусева И. Менеджмент и контроллинг в системе управления предприятием / И. Гусева // Проблемы теории и практики управления. – 2009. – №3. – С. 88 – 91.
3. Складар Е.Н. Теоретические основы формирования системы интегрированного контроллинга на промышленном предприятии / Складар Е.Н., Зверкович И.О., Хрычикова Т.Д. // Проблемы теории и практики управления. – 2005. – №2. – С. 9 – 15.

## **АНАЛІЗ ДИНАМІКИ КР-ІНДЕКСУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ БУР**

Нерегулярні варіації магнітного поля створюються внаслідок впливу сонячного вітру (сонячної плазми) на магнітосферу Землі. Цей вплив викликає зміну її динаміки й, відповідно, магнітосферних струмів, що проявляється на поверхні планети. Виділяють наступні впливи сонячної плазми не тільки на екосистеми, але й на техногенні системи: вплив космічної радіації на апаратуру космічних апаратів, літаків, радіаційна загроза для космонавтів та екіпажів висотних літаків; зміни в умовах розповсюдження радіохвиль, перешкод у системах зв'язку й навігації, що утворюються іоносферою; зміна орбіт супутників через нагрівання верхніх шарів атмосфери; виникнення геоіндукованих струмів у лініях електропередач та зв'язку та ін.; модифікація хімічного складу та властивостей атмосфери; вплив на біологічні об'єкти та людину. Характеристики магнітосферної динаміки описують за допомогою геомагнітних індексів, одним з яких є Кр –індекс (при значенні  $K_p > 4$  настає сонячна буря), який використовується для загальної (планетарної) характеристики збуреності магнітосфери [1-6].

Тому аналіз динаміки Кр-індексу (Рис. 1) для підтримки прийняття рішень з попередження сонячних бур є актуальною задачею.

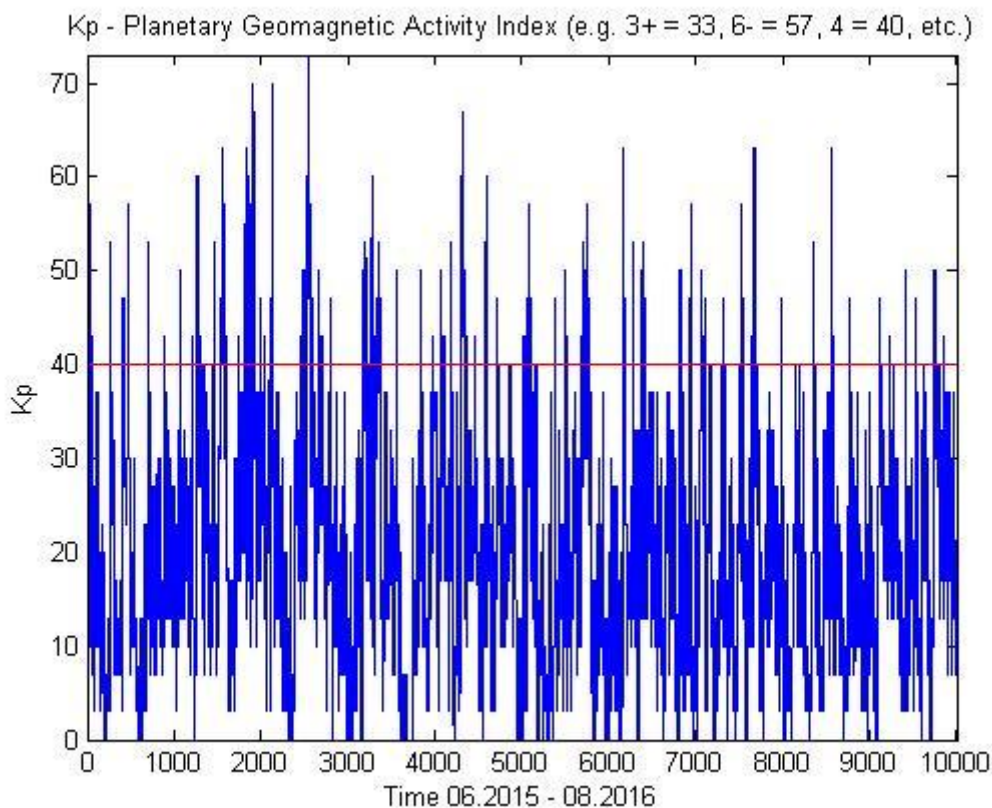


Рис. 1. Часовий ряд Кр-індексу з 06.2015 – 08.2016

На основі даних Кр-індексу [7], досліджено кореляційну розмірність заданого часового ряду на основі методу Грасбергера і Прокаччіа (Рис. 2). Побудовано автокореляційну функцію та знайдено  $\tau$  – час затримки (за першим нулем автокореляційної функції) (Рис. 3). Чисельні дослідження показали, що насичення відбувається при значенні розмірності фазового простору  $F \approx 7$ , а значення кореляційної розмірності близько  $D \approx 3$  ( $F \approx 2D + 1$ ).

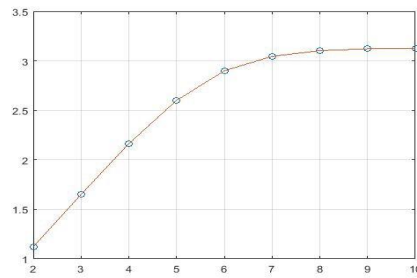


Рис 2. Залежність кореляційної розмірності й фазового простору Кр-індексу

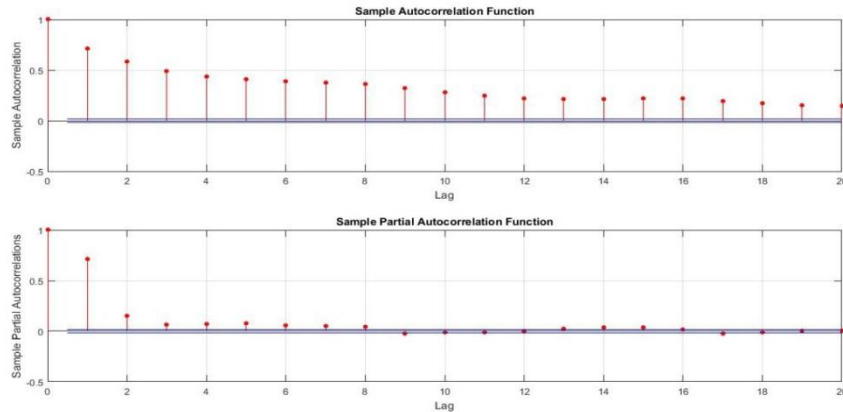


Рис. 3. Автокореляційна функція для Кр-індексу

1. Температура протонів й їх тиск має сильну залежність від швидкості сонячної плазми й густини відповідно.
2. Кореляційна розмірність дозволяє продовжити аналіз часового ряду на стійкість та виявлення хаотичної динаміки шляхом знаходження спектру показників Ляпунова; провести прогнозування за Кр-індексом сонячних бур для підтримки прийняття рішення з їх попередження.

## Література

1. Акасофу С. И. Солнечно-земная физика / С. И. Акасофу, И. С. Чепмен // Мир. – 1975. – Ч. 1. – С. 384.
2. Balikhin M. Identification of Linear and Nonlinear processes in Space Plasma Turbulence / M. Balikhin, I. Bates, S. N. Walker // Advances in Space Research. 28, Issue 5. – 2001. – P. 787–800.
3. Yatsenko V. O. Geomagnetic Dst-index forecast based on bilinear models and nonlinear filtering techniques / V. O. Yatsenko, J. V. Prutsko, S. O. Cheremnykh // 10-я Украинская конференция по космическим исследованиям. Сборник тезисов. – К. : Освіта України, 2010. – С. 108.
4. Semeniv O. The combined approach for space weather prediction with a guaranteed method and evolutionary algorithm / Semeniv O. // Journal of physical studies. V.19, No. 3 (2015) 3003(8p.)
5. Parnowski A.S. Regression modeling of geomagnetic activity. Journal of physical studies. V.15, No. 2 (2011) 2002(8p.)
6. Яценко В. О., Черемних С. О. Прогнозування геомагнітного DST-індексу на базі білінійних моделей та методів нелінійної фільтрації. НаУКМА. Том 113. Фіз.-мат. науки. – С.56-58.
7. GSFC/SPDF OMNIWeb інтерфейс на <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ДО 80-РІЧЧЯ АКАДЕМІКА НАН УКРАЇНИ І.В. СЕРГІЄНКА	4
МАТЕМАТИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 50!	6
<i>Boldyreva Valeria, Zhmykhova Tetiana</i> SOME RESULTS FOR THE PROBABILITY OF NON-RUIN BY MHULL OF TOP INSURANCE COMPANIES OF UKRAINE	8
<i>Chapko R.</i> ON THE GREEN'S FUNCTION TECHNIQUE FOR THE BOUNDARY RECONSTRUCTION IN THE POTENTIAL THEORY	10
<i>Gayvoronska Galina, Solomitsky Maxim</i> DECISION THEORY METHODS USAGE FOR ACCESS NETWORKS SYNTHESIS PROBLEMS SOLVING	13
<i>Kosolap A.</i> RECENT ADVANCE IN GLOBAL OPTIMIZATION	15
<i>Mikhailyk Victor, Sergienko Ivan</i> METHODS FOR LOWER ESTIMATES OF APPROXIMATION RATIO OF REOPTIMIZATION FOR DISCRETE OPTIMIZATION	17
<i>Pankratova N.D.</i> MATHEMATICAL PROVISION OF THE DECISION-MAKING FOR THE SAFETY OF COMPLEX ENGINEERING OBJECTS OPERATION IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY AND MULTIFACTORIAL RISKS	20
<i>Yatsenko V.A.</i> THE INFLUENCE OF THE FREE SPACE ENVIRONMENT ON THE SUPERLIGHT-WEIGHT THERMAL PROTECTION SYSTEM: MODELING, OPTIMIZATION, AND RISK ANALYSIS	24
<i>Yerokhin A., Nechyporenko A.</i> DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SLEEP APNEA DETECTION	26
<i>Андрашко Ю.В., Кузка О.І.</i> РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ ПРО (R,P)-ЦЕНТРОЇД МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ПОШУКУ ІЗ ЗАБОРОНАМИ	28
<i>Антоненко Н.А., Желдак Т.А.</i> ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА	30
<i>Арсирий Е.А., Антощук С.Г., Бабалунга О.Ю., Ядрова М.В.</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА СИСТЕМ	32
<i>Асланов О.М.</i> МЕТОД АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ В УМОВАХ ЧАСТИХ ЗМІН ЇХ ПАРАМЕТРІВ	34
<i>Ахметшина Л.Г.</i> СЕГМЕНТАЦИЯ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФАЗЗИФИКАЦИИ И ОРТОГОНАЛЬНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ	36
<i>Бабицев С.А.</i> ТЕХНОЛОГИЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВЫСОКОРАЗМЕРНЫХ ДАННЫХ С ПОЗИЦИЙ ИНДУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	38
<i>Бакурова А.В., Ропало Г.М.</i> ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПЛАНУ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ МЕРЕЖІ АПТЕК	40
<i>Барабаш О.В., Мусієнко А.П.</i> МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ АДРЕСНО- АНАЛОГОВИХ ПОЖЕЖНИХ ДАТЧИКІВ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ВНУТРІШНІХ ТЕСТОВИХ ПЕРЕВІРОК	42
<i>Березовський О.А.</i> ДОСТАТНЯ УМОВА ОТРИМАННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЕКСТРЕМУМУ НЕОПУКЛОЇ КВАДРАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ДВОЇСТИМ ПІДХОДОМ	43
<i>Бігдан В.Б., Криковлюк О.О., Чорний Ю.М.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ОСТРІВНОЇ МОДЕЛІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ В ІМІТАЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАХ	44
<i>Бігдан В.Б., Пенеляєв В.А., Чорний Ю.М.</i> ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ В ІМІТАЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАХ	46

<i>Білощицький А.О., Кучанський О.Ю., Безмогоричний Д.М., Кузьомко А.С., Пίδα С.В.</i>	48
КОНЦЕПЦІЯ РОЗБУДОВИ GameHub – ІНФРАСТРУКТУРИ В УКРАЇНСЬКИХ УНІВЕРСИТЕТАХ	
<i>Бодянський Є.В., Бойко О.О.</i>	50
ЕВОЛЮЦІЙНА ANARX-МОДЕЛЬ НА ОСНОВІ НЕО-ФАЗЗИ ВУЗЛІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ НЕЛІНІЙНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ	
<i>Бодянский Е.В., Дидык А.А.</i>	52
РОБАСТНЫЙ АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ	
<i>Бодянский Е.В., Струков В.М., Узлов Д.Ю.</i>	54
ОБ ОДНОЙ МЕТРИКЕ В ПРОСТРАНСТВЕ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ С РАЗНОТИПНЫМИ ПРИЗНАКАМИ	
<i>Бодянський Є.В., Винокурова О.А., Кобилін І.О., Мулеса П.П.</i>	56
АДАПТИВНА НЕЧІТКА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БАГАТОВИМІРНИХ КОРОТКИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ З НЕРІВНОМІРНИМ ТАКТОМ КВАНТУВАННЯ	
<i>Бодянський Є.В., Винокурова О.А., Пелешко Д.Д., Плісс І.П.</i>	58
АДАПТИВНЕ ГЛИБИННЕ НАВЧАННЯ БАГАТОВИМІРНОЇ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ	
<i>Боярчук Д.О., Шило П.В.</i>	60
РОЗВ’ЯЗАННЯ КВАДРАТИЧНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ	
<i>Брига А.Ю., Гренджа В.І.</i>	61
ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ З ЛЕКСИКОГРФІЧНИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ, ЯКІ МІСТЯТЬ АЛЬТЕРНАТИВНІ СКЛАДОВІ	
<i>Возна Н.Я., Пастух Т.І., Воронич А.Р., Білінський В.С.</i>	62
МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ ЕНТРОПІЙНО-СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ	
<i>Возна Н.Я., Процюк Г.Я., Пітух І.Р., Николайчук Я.М.</i>	64
МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СТРУКТУРИЗОВАНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНІВ ПРОМИСЛОВИХ ОБ’ЄКТІВ В ІНТЕРАКТИВНИХ КОМП’ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ	
<i>Волинський О.І., Албанський І.Б., Гуменний П.В., Тустановський С.В.</i>	66
ФОРМАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ШЛЯХІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ШВИДКОДІЮЧИХ СПЕЦПРОЦЕСОРІВ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ В РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СИСТЕМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	
<i>Волошин О.Ф., Кудін В.І., Ковальов Д.І.</i>	68
ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ В КИЇВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА	
<i>Волошин О.Ф., Кудін В.І., Кулик В.В.</i>	70
БАЛАНСОВІ МОДЕЛІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ ТА МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ РІШЕНЬ	
<i>Гайворонська Г.С., Сахарова С.В.</i>	74
ЗАДАЧА ВЫБОРУ ЕТАЛОННЫХ КЛАССОВ ИНФОКОМУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ	
<i>Гамоцька С.Л.</i>	76
РАНЖУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ РИЗИКІВ В ІТ-ПРОЕКТІ	
<i>Гарасим Я.С., Остудін Б.А., Шунькін Ю.В.</i>	78
ЧИСЕЛЬНЕ РОЗВ’ЯЗУВАННЯ ДЕЯКИХ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ ПОТЕНЦІАЛУ В ЕЛЕКТРОННІЙ ОПТИЦІ	
<i>Гече Ф.Е., Батюк А.Є., Бучок В.Ю.</i>	80
ВЛАСТИВОСТІ ЯДЕР БУЛЕВИХ НЕЙРОФУНКЦІЙ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗУ НЕЙРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ	
<i>Глебена В.Ф., Ольховенко С.І., Кормош О.В.</i>	82
ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПОЧЕРКОЗНАВЧОЇ ЕКСПЕРТИЗИ	
<i>Глебена М.І., Цегелик Г.Г.</i>	84
АПАРАТ НЕКЛАСИЧНИХ МАЖОРАНТ І ДІАГРАМ НЬЮТОНА ФУНКЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ ЗМІННОЇ	
<i>Гнатієнко Г.М., Маляр М.М., Поліщук А.В.</i>	86
СИНТЕЗ ПРІОРИТЕТІВ ПРИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОМУ ОЦІНЮВАННІ	
<i>Гожий А.П., Калинина И.А., Чирун Л.Б.</i>	88
ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕДУР ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	



<i>Гожий В.О.</i> СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФІНАНСОВОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВ	89
<i>Головач Й.І., Міца О.В., Оришич С.С.</i> СИНТЕЗ ОДНОГО КЛАСУ ТЕПЛООБМІННИХ СИСТЕМ, ЯК ЗАДАЧА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	91
<i>Гомозов Є.П.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗНИХ ОЦІНОК ДЕРИВАТИВІВ	93
<i>Горбачук В.М., Чумаков Б.М., Сирку А.А.</i> СТОХАСТИЧНИЙ АНАЛІЗ АКТИВНОГО РЕЗЕРВУ	94
<i>Григорків В.С.</i> КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	96
<i>Григорків М.В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ФУНКЦІЙ ЕКОНОМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ	97
<i>Гром Н.В., Семенова Н.В.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДВОПРОДУКТОВОЇ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ТЕРМІНАХ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	98
<i>Гуляницький Л.Ф.</i> ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИКЛАДНИХ МЕТОДІВ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	100
<i>Гуляницький Л.Ф., Рясна І.І.</i> ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ОЗНАЧЕННЯ НЕЧІТКИХ КОМБІНАТОРНИХ ОБ'ЄКТІВ	103
<i>Гупал А.М.</i> СИММЕТРИЧНИЙ КОД И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МУТАЦИИ	104
<i>Гупал Н.А.</i> СИММЕТРИЧНИЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД	106
<i>Дейнеко А.О., Долотов А.І., Куценко Я.В., Плісс І.П., Чигрин Д.Р.</i> НЕЧІТКЕ КЛАСТЕРУВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ	108
<i>Демидюк М.В., Гошовська Н.В.</i> ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ В ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДВОЛАНКОВИМ МАНІПУЛЯТОРОМ	110
<i>Домрачев В.М., Третиник В.В., Палеха Ю.І.</i> ЗАСТОСУВАННЯ SAS ENTERPRISE MINER ДЛЯ АНАЛІЗУ ДІЯЛЬНОСТІ БАНКІВСЬКОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	112
<i>Донченко В.С., Назарага І.М., Тарасова О.В.</i> КОРТЕЖНІ ОПЕРАТОРИ В ЗАДАЧАХ ГРУПУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З МАТРИЧНИМИ "ВЕКТОРАМИ ОЗНАК"	114
<i>Доценко С.І., Семенов В.В.</i> ДЖОН НЭШ И ТЕОРИЯ ИГР	116
<i>Дяченко М.П., Людвиченко В.О.</i> ПРО ФОРМУЛУ ОБЧИСЛЕННЯ ЗАРОБІТНОЇ ПЛАТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОЦІНОК ВАРТОСТІ ПРОЖИТКОВОГО МІНІМУМУ	118
<i>Журбенко Н.Г.</i> О ДВУХ МОДИФИКАЦИЯХ $\tau$ -АЛГОРИТМА	120
<i>Зайченко Ю.П., Зайченко О.Ю.</i> МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ	121
<i>Землянський О.М., Биченко А.О., Джулай О.М.</i> ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОТИПОЖЕЖНИМ ЗАХИСТОМ	123
<i>Зінченко О.В., Желдак Т.А.</i> ПОБУДОВА РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТОРА З УРАХУВАННЯМ МУЛЬТИКОЛІНЕАРНОСТІ	124
<i>Ильяш Л.И.</i> ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ	126
<i>Івохін Є.В., Апанасенко Д.В.</i> ОДИН СПОСІБ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ СКЛАДЕНИХ НЕЧІТКИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ МНОЖИН ВЕКТОРНОГО РІВНЯ	128
<i>Івохін Є.В., Махно М.Ф.</i> ПРО ОДИН ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕЧІТКОЇ ЗАДАЧІ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДІВ	129
<i>Івохін Є.В., Науменко Ю.О.</i> МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РЕКЛАМИ ЯК ПРОЦЕСУ АГРЕГАЦІЇ, ОБМЕЖЕНОЇ ДИФУЗІЄЮ	130
<i>Капустей М.М., Слюсарчук П.В.</i> ПРО БЛИЗЬКІСТЬ ЩІЛЬНОСТЕЙ РОЗПОДІЛІВ ДВОХ СУМ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН	131

<i>Каревіна Н.П., Бердник М.Г.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК УЗАГАЛЬНЕНОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ НЕЙМАНА ТЕПЛООБМІНУ КУСКОВО-ОДНОРІДНОГО ЦИЛІНДРА, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ	132
<i>Касім А.М., Касім М.М.</i> ІНТЕГРОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ РІЗНОГО ПРОСТОРОВОГО БАЗУВАННЯ	134
<i>Коваленко О.В., Кряжич О.О.</i> ОПИС ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МОЖЛИВИХ НАПРЯМКІВ ЗОЙТЕНДЕЙКА	137
<i>Коваленко О.Є.</i> ОБРОБКА МОДАЛЬНОСТЕЙ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ	139
<i>Козаченко Ю.В., Петранова М.Ю.</i> МОДЕЛЮВАННЯ КВАЗІ ПРОЦЕСУ ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА В ПРОСТОРАХ $C([0, T])$ ТА $L_p([0, T])$	141
<i>Козин И.В., Канаева Н.В., Зиновеева М.И.</i> ВЛИЯНИЕ НАЛОГА НА ПОВЕДЕНИЕ ИГРОКОВ В МАТРИЧНЫХ ИГРАХ	142
<i>Козин И.В., Максишко Н.К., Перепелица В.А.</i> ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ФРАГМЕНТАРНОЙ МОДЕЛИ	143
<i>Коломис О.М., Луц Л.В.</i> АЛГОРИТМИ ОБЧИСЛЕННЯ ОЦІНОК ВЗАЄМНО КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ	145
<i>Кондрук Н.Е.</i> ДЕЯКІ МІРИ СХОЖОСТІ ОБ'ЄКТІВ	147
<i>Крак Ю.В., Бармак О.В., Багрій Р.О., Стеля І.О.</i> ДО РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ КОМУНІКАЦІЇ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕННЯМИ	148
<i>Кривонос Ю.Г., Крак Ю.В., Кузнецов В.О., Отрощенко О.П.</i> ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ МІМІЧНИХ ПРОЯВІВ В СИСТЕМАХ ІНТЕРАКТИВНОГО ВИВЧЕННЯ ЖЕСТОВОЇ МОВИ	150
<i>Круліковський Б.Б., Давлетова А.Я., Івасьєв С.В.</i> МЕТОД ТА СПЕЦПРОЦЕСОРИ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЙ ХЕММІНГОВОГО ПРОСТОРУ У ЗАДАЧАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	152
<i>Кузка О.І.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ВИКОНАННЯ РОБІТ В БАГАТОСТАДІЙНИХ ЗАДАЧАХ	154
<i>Лавер В.О.</i> ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ АРИФМЕТИКИ ПРИ УЗАГАЛЬНЕННІ ЗАДАЧ РОЗПОДІЛУ	155
<i>Лаптин Ю.П.</i> ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПО ПЕРЕМЕННЫМ И ТОЧНЫЕ ШТРАФНЫЕ ФУНКЦИИ	156
<i>Лебедєва Т.Т., Семенова Н.В., Сергієнко Т.І.</i> УМОВИ ОПТИМАЛЬНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ У ВЕКТОРНИХ ЗАДАЧАХ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	158
<i>Левчук О.М., Коцовський В.М., Фур В.Ю.</i> СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ВИБОРУ СТРІЛЬЦЯ ДЛЯ УЧАСТІ У ПРОВІДНИХ ЗМАГАННЯХ	161
<i>Литвиненко В.І., Таїф М.А., Фефелов А.О., Лурье І.А.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ГЕННОЇ РЕГУЛЯТОРНОЇ МЕРЕЖІ З ГІБРИДНОГО АЛГОРИТМУ КЛОНАЛЬНОГО ВІДБОРУ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ЕКСПРЕСІЇ ГЕНІВ	163
<i>Лізунов П.П., Білощицький А.О., Чала Л.Е., Кучанський О.Ю.</i> ЗНАХОДЖЕННЯ НЕПОВНИХ ДУБЛІКАТІВ МАТЕМАТИЧНИХ ФОРМУЛ	165
<i>Луц В.К.</i> РОЗРОБКА ПЕРЕТВОРЕНЬ З ВЛАСТИВОСТЯМИ ФІЛЬТРАЦІЇ	166
<i>Максимів О.П., Рак Т.С., Меньшикова О.В., Пелешко Д.Д.</i> ВИКОРИСТАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОЛУМ'Я У ВІДЕОПОТОЦІ	167
<i>Малець Р.</i> ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ ТЕРМОПРУЖНОСТІ ТОНКОСТІННИХ ТІЛ, ПОДАТЛИВИХ ДО ЗСУВІВ ТА СТИСНЕННЯ	169
<i>Мальшико С.А.</i> ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ СППР «NEWSCAPE»	170

<i>Маляр-Газда Н.М., Газда Р.Е.</i> ПІДХІД ЩОДО ОЦІНКИ ВАЖКОСТІ СТАНУ ХВОРИХ З ГОСТРИМ ПАНКРЕАТИТОМ	172
<i>Маринець В.В.</i> КРАЙОВА ЗАДАЧА ГУРСА-ДАРБУ ДЛЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ВИЩОГО ПОРЯДКУ В ОБЛАСТІ ЗІ СКЛАДНОЮ СТРУКТУРОЮ КРАЮ	174
<i>Маринець К.В.</i> НАБЛИЖЕНЕ ІНТЕГРУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ МОДИФІКОВАНИМИ ПОСЛІДОВНИМИ НАБЛИЖЕННЯМИ	175
<i>Марко М.Я., Цегелик Г.Г.</i> ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ ВИЗНАЧЕНОСТІ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ЗАДАЧ	176
<i>Мартин Є.В., Малець І.О., Придатко О.В.</i> РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІДГОТОВКИ ПРОЦЕСІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	178
<i>Маїтталір С.В.</i> ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ВИДЕО В ЗАДАЧЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА	180
<i>Мисько Ю.П., Нестерчук М.О., Ніколенко В.В.</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ АЛГОРИТМІВ РОЗПІЗНАВАННЯ НА ДЕЯКИХ КЛАСАХ НАВЧАЛЬНИХ ВИБІРОК	182
<i>Михальов О.І., Кузнецов В.І., Євтушенко Г.Л.</i> СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА БАЗІ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗА	184
<i>Млавець Ю.Ю., Синявська О.О.</i> ДЕЯКИЙ КРИТЕРІЙ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗИ ПРО ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА ХЮРСТА	187
<i>Мулеса О.Ю., Миронюк І.С., Слабкий Г.О.</i> ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБ В ШВИДКИХ ТЕСТАХ №1 І №2 ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ НА ВІЛ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПЛАНУВАННЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ЗАХВОРЮВАННЯ	188
<i>Мулеса О.Ю., Миронюк І.С.</i> НЕЧІТКА ПРОДУКЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ПРОТИДІЇ ЕПІДЕМІЇ ВІЛ/СНІДУ ЯК КОМПОНЕНТ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ В ОХОРОНІ ЗДОРОВ'Я	189
<i>Мурга М.О.</i> ПРОСТІР ЗІ ЗМІННИМ БАЗИСОМ ПРИНАЛЕЖНОСТЕЙ ОЗНАКАМ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	191
<i>Невмержицкий А.В.</i> СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПЕРЕМЕННЫХ УРАВНЕНИЯ $X^m + Y^m = Z^m$ В МНОЖЕСТВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ	193
<i>Нікітіна А.О.</i> ПРО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ДО ЗАДАЧІ АВТОМАТИЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ	195
<i>Николайчук Л.М.</i> ФОРМАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЙРО-МОДЕЛІ СУБ'ЄКТА ПРАВА	196
<i>Огурцов М.І., Ходзінський О.М.</i> ПРО ФОРМАЛІЗАЦІЮ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ОБСТЕЖЕННІ ТЕРИТОРІЇ	198
<i>Оліх В.Я., Сегін А.І.</i> АЛГОРИТМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ	200
<i>Онищенко А.М., Кудін Г.І.</i> МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН В МОДЕЛІ ТИПУ ЛЕОНТЬЄВА-ФОРДА	202
<i>Пащинська Н.М., Путренко В.В.</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ НА ОСНОВІ КЛАСИФІКАЦІЇ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЕВА РІШЕНЬ	203
<i>Пашко А.О.</i> ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В ЗАДАЧАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	205
<i>Перепелица В.А., Терещенко Э.В.</i> О СВОЙСТВЕ ПОЛНОТЫ ДВУКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ	207
<i>Перова І.Г., Бразжникова Є.М., Бойко О.О.</i> ДІАГНОСТУЮЧА НЕЙРО-ФАЗЗИ СИСТЕМА ЗІ ЗМІННОЮ КІЛЬКІСТЮ ВХОДІВ ТА ВИХОДІВ	209

<i>Петрик М.Р., Сергієнко І.В., Фресар Ж., Петрик О.Ю.</i> ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОЕФІЦІЄНТІВ КОМПЕТИТИВНОЇ ДИФУЗІЇ В СЕРЕДОВИЩАХ ЧАСТИНОК НАНОПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ГРАДІЄНТНИХ МЕТОДІВ	211
<i>Пецько В.І., Міца О.В., Матяшовська Б.О., Шумило Н.Я.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ОДНОГО З ТИПІВ ВІДРІЗАЮЧИХ ОПТИЧНИХ ФІЛЬТРІВ	213
<i>Пичугина О.С., Яковлев С.В.</i> О СТРОГИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ В ЗАДАЧАХ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ	215
<i>Повідайчик М.М., Шулла Р.С., Шпонтак І.Я.</i> ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ОПТИМАЛЬНОЇ ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ЛІСОПИЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ НЕГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ	217
<i>Повідайчик О.С.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ У ПРОЦЕСІ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	219
<i>Погоріляк О.О.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ	220
<i>Поліщук В.В.</i> ТЕХНОЛОГІЯ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ РОБОТИ ВЕНЧУРНИХ ФОНДІВ	221
<i>Полачек Е.М., Міца О.В.</i> ВИКОРИСТАННЯ ФРЕЙМВОРКУ LARAVEL ЯК ОДИН З ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ САЙТІВ	222
<i>Провотар О.І., Провотар Т.М.</i> ДЕЯКІ ПРАКТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН	224
<i>Прокопчук Ю.А., Белецкий А.С.</i> ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЯ	225
<i>Прокопчук Ю.А.</i> КОГНИТИВНЫЕ ИЛИ «ОСМЫСЛЕННЫЕ» ИЗМЕРЕНИЯ НА БАЗЕ СИСТЕМ СМЫСЛОПОРОЖДЕНИЯ	227
<i>Пузирьов В.Є., Каминіна О.В.</i> СТАБІЛІЗАЦІЯ МАЛИХ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА ЗМІННОЇ ДОВЖИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕМПФЕРА ПАСИВНОГО ТИПУ	229
<i>Романенко В.Д., Мілявський Ю.Л.</i> МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ДИНАМІКОЮ СКЛАДНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВАРІЮВАННЯ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ	230
<i>Саваневич В.Е., Хламов С.В., Брюховецкий А.Б., Погорелов А.В.</i> СОЛІТЕС - ОБНАРУЖЕНИЕ ОКОЛОНУЛЕВОГО ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ	232
<i>Сарай Н.М., Шапочка І.В.</i> ПРО МОДУЛЯРНІ МАТРИЧНІ ЗОБРАЖЕННЯ ЗНАКОЗМІННОЇ ГРУПИ ЧЕТВЕРТОГО СТЕПЕНЯ	234
<i>Сегін А.І., Заставний О.М.</i> ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ НАПРУГ	235
<i>Селіванова А.В.</i> ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ОПЕРАТОРСЬКИХ РІШЕНЬ У КОМП'ЮТЕРНОМУ ТРЕНАЖЕРІ	237
<i>Семенов В.В.</i> СХОДИМОСТЬ НОВОГО ВАРИАНТА МЕТОДА ЗЕРКАЛЬНОГО СПУСКА ДЛЯ ВАРИАЦИОННЫХ НЕРАВЕНСТВ	239
<i>Семенова Н.В., Ломага М.М.</i> ЗАДАЧІ ЛЕКСИКОГРАФІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ІЗ СЕПАРАБЕЛЬНИМИ ФУНКЦІЯМИ КРИТЕРІЇВ	241
<i>Сергієнко І.В., Шило В.П., Роцин В.О.</i> ПРО РОЗВ'ЯЗАННЯ СКЛАДНИХ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ	242
<i>Сидор А.І., Николайчук Я.М., Возна Г.В.</i> ЗАДАЧА ТА ПРОЦЕСОР РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ У ХЕММІНГОВОМУ ПРОСТОРІ	243
<i>Сливка-Тилищак Г.І.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНОК ДЛЯ РОЗПОДІЛУ СУПРЕМУМУ ВИПАКОВИХ ПОЛІВ З ПРОСТОРУ $Sub_{\varphi}(\Omega)$ В НЕСКІНЧЕННІЙ ОБЛАСТІ ДО РОЗВ'ЯЗКІВ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ	245

<i>Снитюк В.Є., Кришталь В.М.</i> КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ – НЕОБХІДНА УМОВА ЗБЕРЕЖЕННЯ ЖИТТЯ МЕШКАНЦІВ МІСТ	247
<i>Сотов В.О., Антощук С.Г.</i> ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДБОРЕ ПЕРСОНАЛА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ	248
<i>Стецюк П.И.</i> ОПТИМАЛЬНЫЙ 2d-ЭЛЛИПСОИД И РАСТЯЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА ПО РАЗНОСТИ НОРМИРОВАННЫХ СУБГРАДИЕНТОВ	249
<i>Страхов Є.М., Коломійчук Н.М.</i> СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ ІЗ РЕЛЕЙНОЮ ФУНКЦІЄЮ КЕРУВАННЯ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	251
<i>Супрун О.О.</i> ВИКОРИСТАННЯ ЕВОЛЮЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ ДЛЯ НАПРАВЛЕНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	252
<i>Терешко Я.В.</i> ПРОБЛЕМА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ РОЗМІЩЕННІ ВАНТАЖУ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВОДНИМ ТРАНСПОРТОМ	253
<i>Тимофієва Н.К.</i> ЗАЛЕЖНІСТЬ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ВІД СИМЕТРІЇ КОМБІНАТОРНИХ МНОЖИН	254
<i>Трошкі В.Б.</i> ОЦІНКИ НОРМ КВАДРАТИЧНО ГАУССОВИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ В ПРОСТОРІ	258
<i>Трошкі Н.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ОДНОРІДНОГО ТА ІЗОТРОПНОГО ВИПАДКОВОГО ПОЛЯ ВІД ЙОГО МОДЕЛІ	259
<i>Ходак М.В., Кучеренко Є.І.</i> ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ	260
<i>Циганок В.В., Роїк П.Д.</i> ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ СТРАТЕГІЧНОМУ ПЛАНУВАННІ	262
<i>Чупов С.В.</i> ВЛАСТИВОСТІ ЛЕКСИКОГРАФІЧНО ВПОРЯДКОВАНИХ ПЕРЕСТАНОВОК	266
<i>Шаркаді М.М., Магула-Цубера Л.М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ РЕЙТИНГІВ ДЛЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ	268
<i>Шарко О.В., Шарко М.В.</i> ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ ЗМІН ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	269
<i>Шелуденко А.С.</i> ГРАНИЧНІ ТЕОРЕМИ ДЛЯ МАКСИМУМУ СУМ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ	271
<i>Штимак А.Ю.</i> НЕЧІТКА ОЦІНОЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ВИПУСКНИКА ВНЗ ЯК РЕЗУЛЬТАТУ НАВЧАННЯ	272
<i>Яджак М.С.</i> ПАРАЛЕЛЬНІ АЛГОРИТМИ З АВТОНОМНИМИ ГІЛКАМИ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДАНИХ	273
<i>Янович О.І.</i> МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ МАКСИМАЛЬНОЇ ВИКОНУВАНOSTІ ТА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ	274
<i>Ярема В.І., Попик М.М.</i> КОНТРОЛІНГ У СИСТЕМІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	276
<i>Яценко В.О., Іванов С.М., Макаричев М.В.</i> АНАЛІЗ ДИНАМІКИ КР-ІНДЕКСУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ БУР	277

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- |                                     |                           |                         |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Boldyreva Valeria 8                 | ГечеФ.Е. 80               | Коваленко О.Є. 139      |
| Chapko R. 10                        | Глебена В.Ф. 82           | Ковальов Д.І. 68        |
| Kosolap A. 15                       | Глебена М.І. 84           | Козаченко Ю.В. 141      |
| Mikhailyk Victor 17                 | Гнатієнко Г.М. 86         | Козин І.В. 142, 143     |
| Nechyporenko A. 26                  | Гожий А.П. 88             | Коломис О.М. 145        |
| Pankratova N.D. 20                  | Гожий В.О. 89             | Коломійчук Н.М. 251     |
| Solomitsky Maxim 13                 | Головач Й.І. 91           | Кондрук Н.Е. 147        |
| Yerokhin A. 26                      | Гомозов Є.П. 93           | Кормош О.В. 82          |
| Zhmykhnova Tetiana 8                | Горбачук В.М. 94          | Коцовський В.М. 161     |
| Албанський І.Б. 66                  | Гошовська Н.В. 110        | Крак Ю.В. 148, 150      |
| Андрашко Ю.В. 28                    | Гренджа В.І. 61           | Кривонос Ю.Г. 150       |
| Антоненко Н.А. 30                   | Григорків В.С. 96         | Криковлюк О.О. 44       |
| Антошук С.Г. 32, 248                | Григорків М.В. 97         | Кришталь В.М. 247       |
| Апанасенко Д.В. 128                 | Гром Н.В. 98              | Круліковський Б.Б. 152  |
| Арсирій Е.А. 32                     | Гуляницький Л.Ф. 100, 103 | Кряжич О.О. 137         |
| Асланов О.М. 34                     | Гуменний П.В. 66          | Кудін В.І. 68, 70       |
| Ахметшина Л.Г. 36                   | Гупал А.М. 104            | Кудін Г.І. 202          |
| Бабалунга О.Ю. 32                   | Гупал Н.А. 106            | Кузка О.І. 28, 154      |
| Бабичев С.А. 38                     | Давлетова А.Я. 152        | Кузнецов В.І. 184       |
| Багрій Р.О. 148                     | Дейнеко А.О. 108          | Кузнецов В.О. 150       |
| Бакурова А.В. 40                    | Демидюк М.В. 110          | Кузьомко А.С. 48        |
| Барабаш О.В. 42                     | Джулай О.М. 123           | Кулик В.В. 70           |
| Бармак О.В. 148                     | Дидык А.А. 52             | Куценко Я.В. 108        |
| Батюк А.Є. 80                       | Долотов А.І. 108          | Кучанський О.Ю. 48, 165 |
| Безмогоричний Д.М. 48               | Домрачев В.М. 112         | Кучеренко Є.І. 260      |
| Белецький А.С. 225                  | Донченко В.С. 114         | Лавер В.О. 155          |
| Бердник М.Г. 132                    | Доценко С.И. 116          | Лаптин Ю.П. 156         |
| Березовський О.А. 43                | Дяченко М.П. 118          | Лебедєва Т.Т. 158       |
| Биченко А.О. 123                    | Євтушенко Г.Л. 184        | Левчук О.М. 161         |
| Бігдан В.Б. 44, 46                  | Желдак Т.А. 30, 124       | Литвиненко В.І. 163     |
| Білінський В.С. 62                  | Журбенко Н.Г. 120         | Лізунов П.П. 165        |
| Білощицький А.О. 48, 165            | Зайченко О.Ю. 121         | Ломага М.М. 241         |
| Бодяньський Є.В. 50, 52, 54, 56, 58 | Зайченко Ю.П. 121         | Лурье І.А. 163          |
| Бойко О.О. 50, 209                  | Заставний О.М. 235        | Луц В.К. 166            |
| Боярчук Д.О. 60                     | Землянський О.М. 123      | Луц Л.В. 145            |
| Бражникова Є.М. 209                 | Зиновеева М.И. 142        | Людвиченко В.О. 118     |
| Брила А.Ю. 61                       | Зінченко О.В. 124         | Магула-Цубера Л.М. 268  |
| Брюховецький А.Б. 232               | Ільяш Л.И. 126            | Макаричев М.В. 277      |
| Бучок В.Ю. 80                       | Іванов С.М. 277           | Максимів О.П. 167       |
| Винокурова О.А. 56, 58              | Івасьєв С.В. 152          | Максишко Н.К. 143       |
| Возна Г.В. 243                      | Івохін Є.В. 128, 129, 130 | Малець І.О. 178         |
| Возна Н.Я. 62, 64                   | Калинина І.А. 88          | Малець Р. 169           |
| Волинський О.І. 66                  | Каминіна О.В. 229         | Мальшко С.А. 170        |
| Волошин О.Ф. 68, 70                 | Канаєва Н.В. 142          | Маляр М.М. 86           |
| Воронич А.Р. 62                     | Капустей М.М. 131         | Маляр-Газда Н.М. 172    |
| Газда Р.Е. 172                      | Каревіна Н.П. 132         | Маринець В.В. 174       |
| Гайворонська Г.С. 13, 74            | Касім А.М. 134            | Маринець К.В. 175       |
| Гамоцька С.Л. 76                    | Касім М.М. 134            | Марко М.Я. 176          |
| Гарасим Я.С. 78                     | Кобилін І.О. 56           | Мартин Є.В. 178         |
|                                     | Коваленко О.В. 137        | Матяшовська Б.О. 213    |

Махно М.Ф. 129	Плісс І.П. 58, 108	Супрун О.О. 252
Машталир С.В. 180	Повідайчик М.М. 217	Таїф М.А. 163
Меньшикова О.В. 167	Повідайчик О.С. 219	Тарасова О.В. 114
Миронюк І.С. 188, 189	Погорелов А.В. 232	Терешко Я.В. 253
Мисько Ю.П. 182	Погоріляк О.О. 220	Терещенко Э.В. 207
Михальов О.І. 184	Полачек Е.М. 222	Тимофієва Н.К. 254
Мілявський Ю.Л. 230	Поліщук А.В. 86	Третиник В.В. 112
Міца О.В. 91, 213, 222	Поліщук В.В. 221	Трошкі В.Б. 258
Млавець Ю.Ю. 187	Попик М.М. 276	Трошкі Н.В. 259
Мулеса О.Ю. 188, 189	Придатко О.В. 178	Тустановський С.В. 66
Мулеса П.П. 56	Провотар О.І. 224	Узлов Д.Ю. 54
Мурга М.О. 191	Провотар Т.М. 224	Фефелов А.О. 163
Мусієнко А.П. 42	Прокопчук Ю.А. 225, 227	Фресар Ж. 211
Назарага І.М. 114	Процюк Г.Я. 64	Фур В.Ю. 161
Науменко Ю.О. 130	Пузирьов В.Є. 229	Хламов С.В. 232
Невмержицкий А.В. 193	Путренко В.В. 203	Ходак М.В. 260
Нестерчук М.О. 182	Рак Т.Є. 167	Ходзінський О.М. 198
Николайчук Л.М. 196	Роїк П.Д. 262	Цегелик Г.Г. 84, 176
Николайчук Я.М. 64, 243	Романенко В.Д. 230	Циганок В.В. 262
Нікітіна А.О. 195	Ропало Г.М. 40	Чала Л.Е. 165
Ніколенко В.В. 182	Рошин В.О. 242	Чигрин Д.Р. 108
Огурцов М.І. 198	Рясна І.І. 103	Чирун Л.Б. 88
Оліх В.Я. 200	Саваневич В.Е. 232	Чорний Ю.М. 44, 46
Ольховенко С.І. 82	Сарай Н.М. 234	Чумаков Б.М. 94
Онищенко А.М. 202	Сахарова С.В. 74	Чупов С.В. 266
Оришич С.С. 91	Сегін А.І. 200, 235	Шапочка І.В. 234
Остудін Б.А. 78	Селіванова А.В. 237	Шаркаді М.М. 268
Отрошенко О.П. 150	Семенов В.В. 116, 239	Шарко М.В. 269
Палеха Ю.І. 112	Семенова Н.В. 98, 158, 241	Шарко О.В. 269
Пастух Т.І. 62	Сергієнко І.В. 17, 211, 242	Шелуденко А.С. 271
Пашинська Н.М. 203	Сергієнко Т.І. 158	Шило В.П. 242
Пашко А.О. 205	Сидор А.І. 243	Шило П.В. 60
Пелешко Д.Д. 58, 167	Синявська О.О. 187	Шпонтан І.Я. 217
Пепеляєв В.А. 46	Сирку А.А. 94	Штимак А.Ю. 272
Перепелица В.А. 143, 207	Слабкий Г.О. 188	Шулла Р.С. 217
Перова І.Г. 209	Сливка-Тилищак Г.І. 245	Шумило Н.Я. 213
Петранова М.Ю. 141	Слюсарчук П.В. 131	Шунькін Ю.В. 78
Петрик М.Р. 211	Снитюк В.Є. 247	Яджак М.С. 273
Петрик О.Ю. 211	Сотов В.О. 248	Ядрова М.В. 32
Пецко В.І. 213	Стеля І.О. 148	Яковлев С.В. 215
Пида С.В. 48	Стецюк П.И. 249	Янович О.І. 274
Пичугина О.С. 215	Страхов Є.М. 251	Ярема В.І. 276
Пітух І.Р. 64	Струков В.М. 54	Яценко В.О. 24, 277

Підписано до друку 14.09.2016 р.  
Формат 60х84. Гарн. тип Таймс.  
Папір офсетний №1. Ум.-друк. арк. 18.  
Обл.-вид. арк. 18,2. Наклад 400 прим. Замовл. № 67.  
Віддруковано з оригінал-макету.

Приватне підприємство «Інвазор»  
Свідоцтво серія АОО № 385608  
88000, м. Ужгород, вул. Мукачівська, 20  
тел.: (0312) 67 16 24