

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



Міжнародний науковий симпозіум

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РІШЕННЯ**

IX Міжнародна школа-семінар  
**ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**



**МАТЕРІАЛИ** школи-семінару

15-20 квітня 2019 р.  
Україна, Ужгород

За ред. Л.Ф. Гуляницького

# **Міжнародний науковий симпозіум «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РІШЕННЯ»**

## **ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Матеріали  
ІХ міжнародної школи-семінару

15-20 квітня 2019 року, Україна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДВНЗ «УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

УДК 004.9

ББК 73

T26

*Науковий редактор: Гуляницький Л.Ф., д.т.н, професор*

*Програмний комітет:* Волошин О.Ф. (співголова), Гуляницький Л.Ф. (співголова), Зайченко Ю.П. (співголова), Литвинов В.В. (співголова), Бодяньський Є.В., Верлань А.Ф., Винокурова О.А., Воронін А.М., Гнатієнко Г.М., Григорків В.С., Гупал А.М., Задірака В.К., Згуровський М.З., Івохін Є.В., Кіріченко Л.О., Котов В.М., Литвиненко В.І., Любчик Л.М., Маляр М.М., Марков К., Михальов О.І., Оксіук О.Г., Пелешко Д.Д., Семенова Н.В., Сергієнко І.В., Снитюк В.Є., Соломон Д.І., Субботін С.О., Тесля Ю.М., Тимченко А.А., Хапко Р.С., Хіміч О.М., Чикрій А.О., Шило В.П., Яджак М.С., Яковлев С.В.

*Організаційний комітет:* Маляр М.М. (співголова), Снитюк В.Є. (співголова), Млавець Ю.Ю., Мулеса П.П., Повідайчик М.М., Поліщук В.В., Шаркаді М.М., Кондрук Н.Е., Красовська Г.В., Іларіонов О.Є., Гамоцька С.Л., Єгорова О.В., Биченко А.О., Джулай О.М., Землянський О.М.

*Секретар конференції:* Красовська Г.В.

T26 Міжнародний науковий симпозіум «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РІШЕННЯ». Теорія прийняття рішень: праці міжнар. школи-семінару, 15-20 квітня 2019 р., Ужгород / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», та [ін.]; наук. ред. Л.Ф. Гуляницький.

У збірнику представлені тези доповідей 9-ї Міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень – 2019». Розглядаються філософські, теоретичні та прикладні аспекти теорії прийняття рішень, що відображають результати, проблеми і перспективи залучення і взаємопроникнення знань із різних наукових дисциплін для створення інформаційних систем та комп'ютерних технологій.

Leonid F. Hulianytskyi (Ed.)

# **International Scientific Symposium «INTELLIGENT SOLUTIONS »**

## **Decision Making Theory**

International School-Seminar  
Ukraine, Uzhhorod, April 15-20, 2019

Proceedings

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
STATE HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION «UZHHOROD NATIONAL UNIVERSITY»  
V.M. GLUSHKOV INSTITUTE OF CYBERNETICS OF NAS OF UKRAINE  
TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV  
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE «IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC  
INSTITUTE»

UDC 004.9  
ББК 73  
Т26

*Volume editor:* Leonid F. Huliannytskyi, Dr.Sc., Prof.

*Program Commettee:* O. Voloshyn (co-chair), L. Huliannytskyi (co-chair), Yu. Zaichenko (co-chair), V. Lytvynov (co-chair), Ye. Bodyanskyi, A. Verlan, O. Vynokurova, A. Voronin, H. Hnatienko, V. Hryhorkiv, A. Hupal, V. Zadyraka, M. Zhurovskyi, Ye. Ivokhin, L. Kirichenko, V. Kotov (Belorus), V. Lytvynenko, L. Liubchyk, M. Malyar, K. Markov (Bulgaria), O. Mykhalov, O. Oksiuk, D. Peleshko, N. Semenova, I. Serhiienko, V. Snytyuk, S. Subbotin, Yu. Teslia, A. Tymchenko, R. Khapko, O. Khimich, A. Chykrii, V. Shylo, M. Yadzhak, S. Yakovliev,

*Organizing Commette:* M. Malyar (co-chair), V. Snytyuk (co-chair), Yu. Mlavets, P. Mulesa, M. Povidaichyk, V. Polishchuk, M. Sharkadi, Kondruk N.E., O. Yehorova, S. Gamotska, O. Ilarionov, O. Dghulai, A. Bychenko, O. Zemlianskyi.

*Conference Secretary:* Hanna V. Krasovska

INTELLIGENT SOLUTIONS. Decision Making Theory: Proceedings of the International School-Seminar, April 15-20, 2019, Uzhhorod, Ukraine / Ministry of Education and Science of Ukraine, Uzhhorod national university and [etc]; Leonid F. Huliannytskyi (Editor).

This book includes abstracts of the 9th International School-Seminar " Decision Making Theory – 2019". The philosophical, theoretical and applied aspects of the decision making theory reflecting the results, problems and prospects of attraction and interpenetration of knowledge from various scientific disciplines for the creation of information systems and computer technologies are considered.

## Preface · Передмова

Історія розвитку теорії прийняття рішень налічує вже не одне десятиліття. Але нині перед нею відкриваються нові горизонти розвитку, що обумовлюється виникненням потреб в нових математичних моделях і методах підтримки прийняття рішень, від якості яких часто залежить не лише ефективність функціонування тих чи інших сфер людської діяльності, серед яких екологія, медицина, енергетика, макроекономіка, а і сталий розвиток цивілізації.

Розвиток комп'ютерної математики, штучного інтелекту та інформаційних технологій обумовлюють перехід на нову ступінь розвитку теорії прийняття рішень і підходів до використання її результатів на практиці. Розгляд окремих проблем і методів їх вирішення замінюється системним дослідженням процесів і об'єктів, залученням і взаємопроникненням знань із різних наукових дисциплін, чим, зокрема, пояснюється об'єднання під егідою Міжнародного наукового симпозиуму "Інтелектуальні рішення" школи-семінару "Теорія прийняття рішень" та конференції "Обчислювальний інтелект".

Міжнародні школи-сеінари "Теорія прийняття рішень", які започатковані в 2002 р. і незмінно проходять в гостинному Ужгороді, стали тим творчим майданчиком, на якому фахівці із різних країн обговорювали і аналізували перспективи та напрями розвитку математичних моделей і методів підтримки прийняття рішень, нові задачі та сфери їх виникнення. При формуванні програми ІХ школи-сеінару "Теорія прийняття рішень", відображенням якої є цей збірник праць, також ставилася задача оглянути найважливіші теоретичні результати і методи теорії прийняття рішень у тісній єдності із аналізом важливих засад і результатів реалізації у сучасних інформаційних технологіях та застосування цієї теорії на практиці.

Вітаючи учасників ІХ Міжнародної школи-сеінару "Теорія прийняття рішень" від імені програмного комітету Симпозиуму, маю тверду впевненість, що участь у її роботі широкого кола науковців, зокрема, в сфері оптимізації, математичного моделювання, обчислювальної математики, диференціальних рівнянь, теорії ймовірності, математичної економіки, матиме синергетичний ефект і сприятиме вирішенню багатьох нагальних питань теорії прийняття рішень та проблем застосування її математичного апарату в різних прикладних сферах.

Бажаю творчої роботи, плідних дискусій і професійного взаємозбагачення як під час засідань, так і в кулуарах Симпозиуму!

**Співголова Програмного комітету  
Міжнародного наукового симпозиуму  
"Інтелектуальні рішення"  
доктор технічних наук**

**Гуляницький Л.Ф.**



## Table of contents · Зміст

### Plenary talks · Пленарні доповіді

<i>Горбачук В.М., Дунаєвський М.С., Сирку А.А., Сулейманов С.Б.</i> До розробки сучасних конкурсів	15
<i>Гуляницький Л.Ф.</i> Алгоритми оптимізації мурашиною колонією з диверсифікованим пошуком	17
<i>Лебедєва Т.Т., Семенова Н.В., Сергієнко Т.І.</i> Коректність векторних задач з необмеженою допустимою множиною	22
<i>Самохвалов Ю.Я.</i> Доказательство резолюционного типа в нечеткой логике	26
<i>Стецюк П.І., Савицький В.В.</i> Пошук дефектів в регулярних зображеннях	31

### Section 1 · Philosophical and methodological aspects of decision making theory Філософські та методологічні основи теорії прийняття рішень

<i>Hnatiienko H.M., Vialkova V.I.</i> Methods of determination of the relative competence of sources of information in the tasks of experts avaluation	35
<i>Волошин О.Ф., Кулик В.В., Коробова М.В.</i> Морфологічний аналіз розвитку ринків в контексті моделі «витрати-випуск»	37
<i>Лапко О.В., Проватар Т.М., Саввакін В.Д.</i> Методологічні засади конкретної алгоритміки	39
<i>Прокопчук Ю.О., Самойлов С.П.</i> Критичний аналіз концепцій «A Standard Model of the Mind»	41
<i>Скіцько В.І.</i> Аспекти прийняття рішень в умовах цифрової економіки	43
<i>Тимченко А.А., Снитюк В.Є., Єгорова О.В.</i> Системний аналіз технологічної послідовності: синтез, аналіз, прийняття рішень	45

### Section 2 · Mathematical models and methods of support making, optimization of decisions and their application Математичні моделі та методи підтримки прийняття і оптимізації рішень та їх застосування

<i>Dunaievskiy M.S.</i> Modeling impact of decentralization onto economic growth and stability	49
--	----



<i>Ermolieva T.Y., Ermoliev Y.M., Høglund L., Winiwarter W., Gorbachuk V.M., Knopov P.S.</i> Robust Decision support system for the integrated Tisza River basin nutrients management under climate change and extreme precipitation events	51
<i>Hnatiienko H.M., Hnatiienko V.H.</i> Heuristic algorithm for determining compromise rankings on a set of individual expert rankings	53
<i>Korobova M.V., Kulian V.R., Yunkova O.O.</i> Stock portfolio optimization under restrictions .....	55
<i>Kovalyov Yu., Shmelova T.</i> Decision making in air navigation sociotechnical system: emerging research and opportunities .....	57
<i>Kulishova N.Ye.</i> Using the extended multidimensional neo-fuzzy system for corresponding points finding in the problem of visual tracking	61
<i>Антонюк А.О., Антонюк Н.Г.</i> До мінімізації на множині матриць	63
<i>Бакурова А.В., Терещенко Е.В.</i> Онтологія прийняття рішень	65
<i>Барановська Л.В., Барановська Г.Г.</i> Про інтегро-диференціальні ігри переслідування з чистим запізненням	67
<i>Бєбко І.С., Кудін В.І., Онищенко А.М., Ростомян Е.С.</i> Алгоритмізація методів базисних матриць у дослідженні матричних еколого-економічних моделей	68
<i>Бєлых Т.В., Губий Е.В., Зоркальцев В.И.</i> Анализ надежности энергоснабжения	70
<i>Бойко Н.В., Доценко С.И.</i> О взаимном страховании финансовых рисков при реализации проектов	72
<i>Брила А.Ю.</i> Знаходження досяжних оптимальних розв'язків парето-паретівських задач з інтервальними оцінками	74
<i>Бычков И.В., Зоркальцев В.И., Кузеванова Е.Н., Мокрый И.В.</i> Математическое моделирование функционирования экосистемы озера Байкал	75
<i>Гомозов Є.П., Заїка Т.С.</i> Модель оцінки портфелю деривативів на енергоринку на «добу вперед»	77
<i>Гомозов Є.П., Мезерна М.В.</i> Сучасні проблеми визначення ризиків та крахів фінансових ринків	78
<i>Двірна О.А.</i> Розв'язування задач векторної оптимізації на комбінаторних конфігураціях без додаткових обмежень	79
<i>Журбенко Н.Г.</i> Построение билинейного классификатора на основе алгоритма проекции на политоп	81
<i>Заболотній С.В., Мозілей С.О.</i> Особливості побудови опорних планів мультимодальної транспортної задачі з обмеженнями за вантажопідйомністю	83
<i>Иваньо Я.М., Петрова С.А., Вараница-Городовская Ж.И.</i> Оптимизация получения продовольственной продукции в условиях неблагоприятных климатических событий	85
<i>Івохін Є.В., Аджубей Л.Т., Ваєрик П.Р.</i> Побудова реалістичних соціальних графів інформаційної взаємодії на основі аналізу публічних сторінок соціальної мережі	87
<i>Кісельова О.М., Притоманова О.М., Гринченко В.О., Сергєєв О.С.</i> Про двоетапну неперервно-дискретну задачу розбиття-розподілення з розміщенням центрів у множинах простої структури	89
<i>Козін І.В., Терешко Я.В.</i> Задача рівноважного розміщення точкових об'єктів	91
<i>Колечкіна Л.М., Ховбєнь С.В.</i> Порівняльний аналіз деяких методів комбінаторної оптимізації	93
<i>Лукьянов И.О., Литвиненко Ф.А., Коваль В.П.</i> О выборе размера начальной популяции для параллельной версии многопопуляционного генетического алгоритма	95

<i>Любченко Г.О., Гриша О.В.</i> Завдання складання розкладу перевезень у специфічних умовах недовизначеності показників	97
<i>Максим В.В., Андрашко Ю.В.</i> Задача оптимального розміщення регіональних представництв	99
<i>Маляр М.М., Мулеса П.П., Шаркаді М.М.</i> Нечітке моделювання знань	101
<i>Марко М.Я., Цегелик Г.Г.</i> Трикритеріальна задача планування виробництва продукції	103
<i>Мулеса О.Ю., Петюшка М.Р.</i> Нечіткі методи колективного вибору	105
<i>Нагірна А.М.</i> Підхід до розв'язання комбінаторної задачі умовної оптимізації	107
<i>Петрик М.Р., Михалик Д.М., Петрик О.Ю., Баран О.І.</i> Високопродуктивні методи моделюванні та ідентифікації адсорбції багатокомпонентних систем в нанопористих середовищах	109
<i>Присяжнюк О.В.</i> Досвід організації дослідницької роботи студентів при вивченні курсу «Системний аналіз та теорія прийняття рішень»	111
<i>Рошин В.О., Шило П.В., Боярчук Д.О.</i> Наближені алгоритми розв'язання задачі про покриття	113
<i>Рясна І.І.</i> Про адекватність нечітких моделей задач оптимізації за наявності якісної та кількісної інформації	114
<i>Семенова Н.В., Ломага М.М., Семенов В.В.</i> Дослідження задач парето-лексикографічної оптимізації з квазіопуклими функціями критеріїв	116
<i>Сергеєнко І.В., Шило В.П.</i> Про підвищення ефективності методів дискретної оптимізації	118
<i>Стецюк П.І., Івлічев А.В.</i> Метод еліпсоїдів та Octave-програма emshor	119
<i>Терендій О.В.</i> Інформаційна модель процесу прийняття рішень у заданій предметній області	121
<i>Тимофієва Н.К.</i> Про семантику в штучному інтелекті	123
<i>Ус С.А., Коряшкіна Л.С., Станіна О.Д.</i> Двоетапна неперервно-дискретна задача розподілу за наявністю фіксованих ланцюгів поставок	125
<i>Фернос Н.В., Карбівничий В.О., Єгорова О.В.</i> Постановка задачі розміщення об'єктів роздрібної торгівлі	127
<i>Шарифов Ф.А.</i> Приложения расширенного полиматроида	129
<i>Шило В.П., Чупов С.В.</i> Паралельні наближені алгоритми розв'язання квадратичної задачі про призначення	131
<i>Яковлев С.В.</i> Евклидова комбинаторная оптимизация: современное состояние и перспективы	133

### **Section 3 · Intelligent systems and information technology of decision making**

#### **Інтелектуальні системи та інформаційні технології підтримки прийняття рішень**

<i>Biloshchytskyi A., Kuchansky A., Biloshchytska S.</i> A new method for evaluation of higher education institutions	137
<i>Mikhalyov A.I., Kuznetsov V.I., Yevtushenko H.L.</i> A new approach to system modeling and using the DSS nootron with multi-criteria decision analysis methods in complex structure problems solving	139
<i>Naderan M., Zaychenko Yu.</i> Diagnosis cancer using deep learning methods	142
<i>Polishchuk V., Kelemen M.</i> Neuro-fuzzy informational model of assessment of developers of start-up project	144
<i>Бовді В.А., Лавер В.О.</i> THELMA — пакет GAP SYSTEM для роботи з	146

пороговими функціями	
<i>Броварець О.О.</i> Функціональна структура інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу	147
<i>Возняк А.Т., Бегун В.В.</i> Розробка заходів запобігання пожежі в торгово-розважальних центрах на основі імовірнісного моделювання	151
<i>Головач Й.І., Міца О.В.</i> Електронний українсько-угорський (угорсько-український) математичний словник	154
<i>Злепко С.М., Тимчик С.В., Криворучко І.О., Паламарчук М.І.</i> Інформаційна технологія низько інтенсивної світлової корекції функціонального стану вояків збройних сил України	156
<i>Кондрук Н.Е.</i> Використання різних видів мір подібності в кластерному аналізі	158
<i>Корольов В.Ю., Огурцов М.І., Ходзінський О.М.</i> Задачі маршрутизації груп безпілотних літаючих апаратів	160
<i>Кравченко О.В., Уманець І.С.</i> Застосування штучного інтелекту при дослідженні впливу зовнішньої інформації на учасника веб-спільноти в умовах поведінкової економіки	162
<i>Кудін В.І., Кошель А.В.</i> Застосування методу асоціативних правил при аналізі ринкового кошика	164
<i>Кулик А.В.</i> Проблеми та перспективи розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в економіці	166
<i>Литвинов В.В., Стоянов Н., Трунова О.В., Скитер І.С.</i> Ідентифікація нестандартної поведінки корпоративних інформаційних систем з використанням штучних нейро-імунних мереж	168
<i>Лялецький О.В., Бабич А.О., Петрович Г.Л.</i> Мовні та інтерфейсні засоби системи автоматизації дедукції та їх розвиток	170
<i>Максимов А.Є., Триус Ю.В.</i> Проектування і створення модуля підтримки прийняття рішень для web-орієнтованої інформаційної системи ІТ-компанії	172
<i>Малець І.О., Придатко О.В., Борзов Ю.О., Смотри О.О.</i> Методи підтримки та прийняття колективних рішень	174
<i>Маляр М.М., Поліщук А.В.</i> Модель оцінювання експертних знань	176
<i>Пасічник М.С.</i> Модель онтології прийняття судових рішень	178
<i>Пелешко Д., Винокурова О., Максимів О., Оскерко С.</i> Технологія детектування та розпізнавання полум'я у відеопотоці на базі генератора гіпотез та глибокого навчання	180
<i>Ропало Г.М.</i> Онтологічний підхід до управління розвитком мережі аптек	184
<i>Сайко В.Г., Наритник Т.М.</i> Особливості алгоритма розрахунку енергетичного бюджету радіолінії телекомунікаційної системи терагерцового діапазону для 5G	186
<i>Сатур Л.М., Новікова В.В.</i> Сучасні програмні засоби для подання й обробки інформації систем підтримки прийняття рішень	188
<i>Селіванова А.В., Винник А.С.</i> Рекомендаційна система підвищення якості навчальних планів та дисциплін	190
<i>Скукіс О.Є.</i> Автоматизована інформаційна система розв'язання задач дискретної оптимізації	192
<i>Смотри О.О., Бурак Н.Є., Головатий Р.Р., Антоненко І.О.</i> Впровадження автоматизованих інформаційно-аналітичних систем в роботу служб доставки товарів	194
<i>Фалькевич В.Г., Киричек Г.Г.</i> Оптимізація системи з використанням front end технологій	196

**Section 4 ·****Applied algebra problems,  
differential and probabilistic models****Прикладні задачі алгебри, диференціальні та ймовірнісні  
моделі**

<i>Бортош М.Ю.</i> Незвідні канонічно циклічні матриці над комутативним локальним кільцем	199
<i>Капустей М.М., Пойда М.Ю.</i> Швидкість збіжності в центральній граничній теоремі в термінах середніх псевдомоментів	200
<i>Маринець В.В., Гецько О.М., Козутич О.І.</i> Про одну модифікацію методу Зейделя дослідження крайової задачі Дарбу-Гурса для нелінійного хвильового рівняння	201
<i>Мич І.А., Ніколенко В.В., Варцаба О.В.</i> Екваціональні і сигнатурні решітки одного класу алгебр	203
<i>Млавець Ю.Ю., Синяєвська О.О.</i> Інтервальне оцінювання параметра коваріаційної функції негауссового випадкового процесу у моделі з похибкою	205
<i>Пасічник Т.В., Жировецький В.В.</i> Умови періодичності розв'язків диференціального рівняння Льєнара	207
<i>Сливка-Тилищак Г.І., Михасюк М.М.</i> Задача Коші для рівняння теплопровідності на площині з випадковими факторами з простору Орліча	209

**Section 5 · Tasks of computational mathematics, applied mechanics and optimization of computations****Задачі обчислювальної математики, прикладної механіки та оптимізація обчислень**

<i>Hart L.L., Baleyko N.V., Temchenko S.S.</i> About efficiency of high-accuracy quadrature formulas	213
<i>Глебена М.І., Цегелик Г.Г.</i> Метод мажорантного типу відшукування нулів будь-якої функції на заданому проміжку	215
<i>Гупал А.М., Островський О.В., Располов В.Б.</i> Практичне опанування методами комп'ютерної математики в навчальному курсі «Біоінформатика»	217
<i>Доценко Н.А.</i> Дослідження критеріїв готовності майбутніх агроінженерів до професійної діяльності	219
<i>Коцювський В.М., Микоряк І.І., Юрченко М.В.</i> Спектральний алгоритм навчання поліноміальних порогових елементів	221
<i>Олійник А.П., Незамай Б.С.</i> Використання апарату звичайних диференціальних рівнянь при моделюванні економічних та екологічних систем	223
<i>Повідайчик М.М., Олашин Д.С.</i> Деякі підходи до використання закладами вищої освіти технології блокчейн	225
<i>Поліщук О.Д.</i> Про збіжність проєкційних методів розв'язання інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду у випадку розімкнених граничних поверхонь	226
<i>Семенюта М.Ф.</i> Неповні врівноважені системи, методи побудови	228
<i>Стовба В.О., Жмуд О.О.</i> Субградієнтний метод Поляка у перетвореному просторі змінних	229
<i>Яджак М.С.</i> Паралельний метод розв'язання задач цифрової фільтрації на кластерах	231



# Plenary talks



УДК 519.8

<sup>1</sup> **В.М. Горбачук**доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,  
старший науковий співробітник<sup>2</sup> **М.С. Дунаєвський**

магістр, аспірант

<sup>3</sup> **А.А. Сирку**

магістр, аспірант

<sup>4</sup> **С.-Б. Сулейманов**

магістр, аспірант

<sup>1-4</sup> *Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, м.Київ*

## ДО РОЗРОБКИ СУЧАСНИХ КОНКУРСІВ

**Вступ.** Конкурс – це гра, де його учасники (конкурсанти) докладають витратних і безповоротних зусиль, щоб дістати приз(и) з ненульовою ймовірністю. Наприклад, політичні партії прагнуть перемогти на виборах, витрачаючи ресурси на політичні кампанії. Позивач і відповідач намагаються виграти справу, покриваючи витрати на своїх юристів. Армії планують військові операції, купуючи озброєння і наймаючи своїх солдатів. Лобісти стараються переконати осіб, які приймають рішення, готуючи гучні промови. Студенти конкурують за стипендії, не шкодуючи часу на навчання. Спортсмени змагаються, щоб перемогти чи перевершити світовий рекорд, невпинно тренуючись. Претенденти на робоче місце пробують отримати роботу, повністю розкриваючи свої можливості на атестації. Аналогічні процеси відбуваються під час телевізійних вікторин, громадських закупівель, конкурсів у наукових дослідженнях і розробках тощо. Фактично конкурс – це механізм розміщення на рівноправних засадах, який має централізована влада чи децентралізований ринок.

У науковій літературі спочатку досліджувалися такі конкурси, як гонитва за рентою та лобізм, а потім вивчалися інші види конкурсів.

Серед конкурсів виділяються дві великі категорії – а) конкурси, які стаються природним чином для розв'язання конфлікту чи спору (політичні кампанії, судові справи, війни, просування), і б) конкурси, які плануються й організуються певним розробником для досягнення деякої цілі (стипендії, спортивні події, атестації, телевізійної чи мережевої вікторини, громадські закупівлі, гранти на дослідження і розробки). У категорії б) розробник може планувати конкурс заздалегідь, обираючи, скажімо, число учасників.

При формалізації конкурсу виділяють ряд елементів: 1) число (number) конкурсантив (агентів)  $N = \{1, \dots, n\}$ ; 2) зусилля  $G_i \in R_+$  конкурсанта  $i$  (ці зусилля можуть бути багатомірними); 3) приз із цінністю (value)  $V_i$  для конкурсанта  $i$  (ця цінність може бути нефіксованою, а її гетерогенність може визначатися гетерогенністю граничних витрат (класів) конкурсантив); 4) відображення  $p_i(G_1, \dots, G_n)$  зусиль усіх конкурсантив у ймовірність (probability)



отримання призу (частку загального призу) для конкурсанта  $i$ , яке називається функцією успіху конкурсу (contest success function, CSF); 5) ставлення конкурсантів до ризику, яке вважатимемо нейтральним (загалом конкурсанти є несхильними до ризику); 6) функція витрат на зусилля, яку вважатимемо лінійною з незворотними граничними витратами, рівними 1 (витрати можуть частково відшкодуватися переможцю).

Якщо  $G_i \neq 0 \forall i$ , то конкурс називають платним для всіх учасників (all-pay contest). Якщо  $G_i \neq 0$  лише для переможця конкурсу, то конкурс називають платним для переможця (winner-pay contest).

Конкурс можна виразити грою у нормальній формі, де гравець  $i$  – це конкурсант, його стратегія – це його витрати, його виграш – це сподівана корисність  $\Pi_i = p_i(G_1, \dots, G_n) V_i - G_i$ . Для таких ігор відоме поняття  $(G_1^*, \dots, G_i^*, \dots, G_n^*)$  рівноваги Неша (Нобелівського лауреата 1994 р.), який узагальнив ідею Курно про те, що рівновагою є ситуація, яку не вигідно змінювати самостійно будь-якому конкурсанту  $i$  (без союзників):

$$\Pi_i(G_1^*, \dots, G_i^*, \dots, G_n^*) \geq \Pi_i(G_1^*, \dots, G_{i-1}^*, G_i, G_{i+1}^*, \dots, G_n^*) \quad \forall G_i \in R_+, \quad \forall i \in N.$$

Відоме також альтернативне поняття, що враховує обмежену раціональність конкурсантів. Виділяють кілька основних типів CSF із застосуваннями до економетричних моделей. У платному для всіх учасників конкурсі чи аукціоні (all-pay-auction, APA) конкурсант, який докладає найбільших зусиль, здобуває приз із ймовірністю 1; якщо ж кілька конкурсантів докладають найбільших зусиль, то зазвичай вважають, що вони мають однакову ймовірність здобути приз:

$$p_i(G_1, \dots, G_i, \dots, G_n) = \begin{cases} 1 \Leftarrow G_i > \max\{G_1, \dots, G_{i-1}, G_{i+1}, \dots, G_n\} \equiv G^i; \\ \frac{1}{m} \Leftarrow G_j = \max\{G_1, \dots, G_n\}, i, j \in J \subseteq N, |J| = m; \\ 0 \Leftarrow G_i < G^i; \end{cases}$$

тут  $|J|$  означає число різних індексів на множині  $J$ . APA не має рівноваги у чистих стратегіях. При даному векторі  $(\bar{G}_1, \dots, \bar{G}_n)$  зусиль кожний конкурсант  $i$  має стимул зменшувати свої витрати  $\bar{G}_i$ , коли це не впливає на  $p_i$ :  $G_i = \bar{G}^i + \varepsilon < \bar{G}_i$  при  $\bar{G}_i > \bar{G}^i$ , де  $\varepsilon$  – нескінченно мале додатне число;  $G_i = 0$  при  $\bar{G}_i < \bar{G}^i$ . З іншого боку, вибір  $\bar{G}_i = 0$  кожним конкурсантом не дає стійкої рівноваги, бо тоді можна перемогти нескінченно малими зусиллями.

**Висновки.** Людське суспільство розвивалося через різноманітні соціальні взаємодії, де природний відбір (конкурси категорії а)) доповнювався соціальним (конкурсами категорії б)). Оскільки в сучасному суспільстві роль конкурсів категорії б) зростає, то зростає відповідальність рішень людиною [1].

#### Список використаних джерел

1. Горбачук В.М., Макаренко О.С. Особливості прийняття рішень людиною для розв'язання складних міждисциплінарних проблем // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2017. – № 3. – С. 73–87.

УДК 519.8

**Л.Ф. Гуляницький**

Доктор технічних наук, зав. відділу

*Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, Київ*

## АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ МУРАШИНОЮ КОЛОНІЄЮ З ДИВЕРСИФІКОВАНИМ ПОШУКОМ

**Вступ.** Останнім часом розробники прикладних алгоритмів оптимізації все частіше використовують парадигми, що нав'язані природою [1]. Серед відомих алгоритмів ройового інтелекту (swarm intelligence) в комбінаторній оптимізації найбільшого поширення набули алгоритми оптимізації мурашиною колонією (ОМК) [2-3].

Мурашині алгоритми – це багатоагентні системи, де поведінка кожного агента, який називається штучною мурахою, або просто мурахою, заснована на поведінці справжніх мурашок. Вони успішно застосовуються для розв'язування багатьох типів задач комбінаторної оптимізації, починаючи з класичної задачі комівояжера. Далі пропонується новий алгоритм ОМК із диверсифікацією пошуку шляхом розгляду варіантів продовження побудови фрагменту розв'язку, що враховують не одну, як зазвичай, а декілька вершин, які можуть бути включені в цей маршрут; він є розвитком ідей, поданих у [4].

**Загальна схема ОМК.** В алгоритмах ОМК формується спеціальна модель задачі, що розв'язується, тому вони належать до класу моделє-орієнтованих методів. Така модель задачі подається у вигляді певного зваженого графа  $G(V, E)$ , де  $v_i \in V, i=1, \dots, n$ , – вершини, що відповідають компонентам розв'язку, а  $e_j \in E, e_j = (v_i, v_j), v_i, v_j \in V$ , – ребра, які відповідають можливим з'єднанням (переходам) між відповідними вершинами. Для кожного ребра може бути визначена функція вартості з'єднання, можливо, залежна від деякого параметра часу.

Умови задачі, що розв'язується, можуть породжувати набір обмежень  $\Pi = \Pi(V, E, t)$  для елементів  $V$  та  $E$ , які визначають припустимість зав'язків між компонентами та з'єднаннями, а в підсумку – і побудованого з них розв'язку.

Розв'язки задачі оптимізації можуть бути подані як припустимі шляхи на графі  $G$ . Алгоритми ОМК можуть використовуватися для знаходження припустимих шляхів мінімальної вартості, що задовольняють обмеженням задачі. Вартість – значення цільової функції –  $f(x)$ , що відповідає розв'язку  $x$ , є функцією всіх вартостей з'єднань, які належать цьому розв'язку.

Мурахою в таких алгоритмах фактично є параметричний рандомізований жадібний алгоритм, який покроково будує з множини компонент (вершин чи ребер графа задачі) припустимий розв'язок задачі. У своїй роботі він використовує евристичну інформацію та феромонний слід, які характеризують ребра (рідше – вершини) графа задачі.

Евристична інформація (зазвичай позначається  $\eta_j$ ) – це числове значення, що не залежить від знайдених на попередніх кроках розв'язків і відображає ступінь бажаності включення в побудований фрагмент розв'язку того чи іншого нового ребра графа моделі  $e_{ij} \in E$ . Евристичні значення  $\eta_j$  базуються на апіорній інформації, що відображає умови конкретної задачі та надається джерелом, відмінним від мурах; вони можуть залежати від часу (ітерації)  $t$ .

Рівень феромону (феромонний слід)  $\tau_{ij}$ , що відповідає ребру  $e_{ij} \in E$ , – це додатне число, яке показує, наскільки часто мурахами використовувалося це ребро на попередніх кроках чи при формуванні повного розв'язку. Феромонні сліди є для мурах довготривалою пам'яттю щодо всього процесу пошуку. Залежно від вибраного способу подання задачі, феромонні сліди можуть відповідати всім дугам задачі або тільки деяким з них.

У мурашиних алгоритмах популяція агентів (або мурашок) спільно розв'язує сформульовану задачу оптимізації, використовуючи вищезазначене подання на графі моделі задачі.

Отже, основні компоненти обчислювальної схеми мурашиних алгоритмів такі: модель задачі, що подається спеціальним графом; феромонні значення; евристична інформація; пам'ять (локальна та глобальна). Загальну обчислювальну схему алгоритмів ОМК можна подати так [5].

**procedure** *ACO* ( $x$ )

*ініціалізація\_алгоритму;*

**while** критерій\_завершення\_не\_задоволений **do**

*формування\_популяції\_мурах;* {поточне покоління}

**foreach** мураха\_з\_популяції **do** {життєвий цикл мурахи}

*ініціалізація\_мурахи;*

*M* = оновлення\_пам'яті\_мурахи;

**while** поточний\_стан  $\neq$  повний\_розв'язок **do**

*A* = локальна\_матриця\_мурашиних\_маршрутів;

*сформувати\_множину\_припустимих\_вершин;*

*r* = обчислити\_ймовірність\_переходів(*A*, *M*, *P*);

наступний\_стан = правило\_прийняття\_рішення(*r*, *P*);

*перейти\_в\_наступний\_стан*(наступний\_стан);

**if** онлайнове\_покрокове\_оновлення\_феромону **then**

*відкласти\_феромон\_на\_відвіданій\_дугі;*

*поновити\_матрицю\_мурашиних\_маршрутів\_A;*

**endif**

*M* = оновити\_внутрішній\_стан;

**endwhile**

**if** онлайнове\_відстрочене\_оновлення\_феромону **then**

**foreach** відвіданої\_дуги\_побудованого\_розв'язку **do**

*відкласти\_феромон\_на\_відвіданій\_дугі;*

*оновити\_матрицю\_мурашиних\_маршрутів\_A;*

**endforeach**

**endif**

*завершити\_діяльність;*

**endforeach**

*випаровування\_феромону;*

*оновлення\_рекорду* ( $x$ );

*дії\_Демона;* {необов'язково}

endwhile  
end

На етапі ініціалізації здійснюються початкові налаштування: вибір значень параметрів алгоритму (зокрема кількості мурах  $m$  у колонії), задання значень феромонного сліду. Після утворення нового покоління мурах їх розміщують довільно у вершинах  $V$  графа  $G$ . Зазначені вершини є початковими фрагментами маршрутів.

На кожному кроці конкретна мураха досліджує *найближчих* сусідів тієї вершини графа задачі, якою закінчується побудований нею на даний момент фрагмент маршруту. Отже, для кожної мурахи  $k$  із популяції здійснюється: *a)* формування підмножини припустимих вершин  $N_i^k \subseteq N_i$  із множини вершин, сусідніх для тієї вершини  $i \in V$ , яка є останньою в поточному фрагменті маршруту; *b)* обчислення ймовірності  $p_{ij}^k$  переходу від вершини  $i$  до довільної припустимої вершини  $j \in N_i^k$  як функції від значень феромону  $\tau_{ij}$  на ребрі  $(i, j) \in E$  та евристичної інформації  $\eta_j$ ; *c)* імовірнісний вибір чергової припустимої вершини  $s \in N_i^k$ , включення її в кінець маршруту, що будується; *d)* модифікація значень  $\tau_{ij}$ , якщо вибрано онлайн оновлення феромону.

Коли всі мурахи завершують роботу, може здійснюватися модифікація феромонних значень для певних дуг графа  $G$  (офлайн оновлення), а також випаровування феромону (зниження значень  $\tau_{ij}$  з метою диверсифікації пошуку) для всіх його ребер, якщо такі дії не поєднані з оновленням феромону.

**Диверсифікація пошуку в ОМК.** Пропонується підхід для формування маршруту, при якому мурахи на кожному кроці використовують інформацію не тільки з одного ребра, що може бути включене у фрагмент розв'язку, а також і інформацію з більшої кількості можливих ребер. Отже, на кожній ітерації мураха може додати до шляху одразу декілька вершин або, іншими словами, може зробити декілька «кроків».

Для двокрокової версії алгоритму ОМК для кожної мурахи  $k$  за наявності уже побудованого фрагменту розв'язку  $y = (\dots, i)$  формується множина ще невідвіданих ребер  $(i, s), (s, j)$ ,  $s \in N_i^k$ ,  $j \in N_s^k$ , де  $N_s^k$  – множина припустимих для мурахи  $k$  вершин графа задачі за умови, що до існуючого фрагмента розв'язку додана вершина  $s$ ,  $y^+ = (\dots, i, s)$ , та обчислюється ймовірність переходу від вершини  $i$  до вершини  $j$  через вершину  $s$  з урахуванням евристичної інформації та поточних значень феромону. Для двокрокового алгоритму ОМК перехід  $k$ -ої мурахи з вершини  $i$  в  $j$  через вершину  $s$  на поточній ітерації  $t$  здійснюється з ймовірністю, що може розраховуватися за наступною формулою:

$$p_{ij}^k = \frac{[\tau_{is}(t) + \tau_{sj}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t) + \eta_{sj}(t)]^\beta}{\sum_{r \in N_{ij}^k} [\tau_{ir}(t) + \tau_{rj}(t)]^\alpha [\eta_{ir}(t) + \eta_{rj}(t)]^\beta},$$

де  $N_{ir}^k = \{l : l \in N_i^k, j \in N_r^k\}$ .

Якщо  $\epsilon$  переходить і на один крок, і на два, то слід ці ймовірності пронормувати так, щоб у сумі була одиниця.

Тому ймовірність переходів на один крок від вершини  $i$  до вершини  $j$ ,  $j \in N_i^k$ , та на два кроки від вершини  $i$  до іншої вершини  $j$  через вершину  $r$ ,  $r \in N_i^k$ ,  $j \in N_r^k \setminus i$ , буде визначатися так:

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \eta_{ij}(t)^\beta}{\sum_{r \in N_i^k} \tau_{ir}(t)^\alpha \eta_{ir}(t)^\beta + \sum_{r \in N_{ir}^k} [\tau_{ir}(t) + \tau_{rj}(t)]^\alpha [\eta_{ir}(t) + \eta_{rj}(t)]^\beta}, & \text{якщо } j \in N_i^k, \\ \frac{[\tau_{is}(t) + \tau_{sj}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t) + \eta_{sj}(t)]^\beta}{\sum_{r \in N_i^k} \tau_{ir}(t)^\alpha \eta_{ir}(t)^\beta + \sum_{r \in N_{ir}^k} [\tau_{ir}(t) + \tau_{rj}(t)]^\alpha [\eta_{ir}(t) + \eta_{rj}(t)]^\beta}, & \text{якщо } j \in N_r^k. \end{cases}$$

Можливість перегляду інформації на декілька кроків вперед дозволяє підвищити ймовірність уникнення субоптимальних розв'язків в багатьох задачах, а отже, отримувати більш якісний результуючий розв'язок. Ця стратегія може бути використана у будь-якій модифікації мурашиного алгоритму, що робить її універсальним засобом покращення ефективності алгоритмів ОМК, створюючи умови для диверсифікації пошуку. Крім того, як і інші алгоритми ОМК, пропонувані модифіковані алгоритми можуть успішно застосовуватися при створенні гібридних метаевристик [5-7].

Ефективність запропонованої модифікації алгоритмів ОМК досліджувалася шляхом аналізу результатів обчислювального експерименту із розв'язування ряду прикладних задач комівояжера (ЗК) із бібліотеки TSPLIB [8] у порівнянні з макс-мінним алгоритмом (MAX-MIN Ant System – MMAS) – однією із найкращих модифікацій ОМК [2,5,9]. Було вибрано ряд ЗК з відомими оптимальними розв'язками розмірності від 497 до 657. Кожна задача розв'язувалася стандартним та модифікованим алгоритмом MMAS 20 разів і порівнювалися середні значення відносної похибки (відхилення довжини знайденого маршруту від довжини оптимального). При розв'язуванні задач застосовані наступні параметри: коефіцієнт впливу феромону  $\alpha = 1$ ; коефіцієнт впливу відстані  $\beta=2$ ; коефіцієнт вивітрювання феромону  $\rho=0.5$ ; умова завершення роботи алгоритму – виконання 2000 ітерацій; кількість мурах була еквівалентна кількості міст в задачі. У всіх розрахунках були отримані кращі результати у порівнянні з класичним алгоритмом MMAS: використання двокрокової версії дозволило збільшити точність результатів на 0.02%–0.05% у залежності від задачі. Варто підкреслити, що класичний алгоритм теж знаходив високоточні розв'язки, похибка яких була в межах 0.25%–0.3%.

Таким чином, експериментальні дані підтверджують доцільність застосування запропонованої модифікації алгоритмів ОМК у випадках, коли точність отриманих результатів важливіша за швидкість знаходження розв'язку

і навіть найменше її підвищення дає суттєвий ефект, як, наприклад, при серійному виробництві чи в затратних проектах.

**Висновки.** У багатьох прикладних задачах комбінаторної оптимізації навіть незначне покращення точності має дуже важливе значення, що і обумовлює потребу в розробці алгоритмів, які дозволяють досягти цього. Пропонований підхід дозволяє розширити сферу пошуку в алгоритмах ОМК, створюючи умови для знаходження покращених розв'язків шляхом уникнення передчасної збіжності – однієї із найгостріших проблем для більшості прикладних алгоритмів комбінаторної оптимізації.

Напрямами подальших досліджень можуть стати питання порівняльного аналізу практичної ефективності алгоритмів, розроблених на основі пропонованого підходу, та інших відомих прикладних алгоритмів комбінаторної оптимізації. Такий аналіз доречно провести і при розв'язуванні задач комбінаторної оптимізації із різних класів. Перспективним також є використання модифікованих алгоритмів ОМК – як представників моделє-орієнтованих методів – у гібридних метаевристиках, зокрема, у кооперативних метаевристиках [6,7,10].

#### Список використаних джерел

1. Pinteа C. (2014). *Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
2. Dorigo M., Stützle T. (2019). Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances. *Handbook of Metaheuristics (M. Gendreau, J.-Y. Potvin eds.)*. Cham: Springer International Publishing AG, pp. 311-352.
3. Штовба С.Д. (2005). Муравьиные алгоритмы: теория и применение. *Программирование*, №4, с. 1-16.
4. Гуляницький Л.Ф. (2017). Диверсифікація пошуку в алгоритмах оптимізації мурашиними колоніями. *Теорія оптимальних рішень*, с. 47–57.
5. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. (2016). *Прикладні методи комбінаторної оптимізації*. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет".
6. Blum, C., Puchinger J., Raid, G. R., Roli A. (2011). Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey. *Applied Soft Computing*, **11**, 6, pp. 4135-4151.
7. Huliannytskyi L.F., Sirenko S.I. (2010). Hybrid Metaheuristic Combining Ant Colony Optimization and H-method. *Swarm Intelligence: Proceedings 7th International Conference ANTS 2010 (Brussels, Belgium, September 8-10, 2010) (Eds. M.Dorigo et. al.)*. Lecture Notes in Computer Science. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, V. 6234/2010, pp. 568–569.
8. TSPLIB – library of sample instances for the TSP: <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95>.
9. Stützle T., Hoos H.H. (2000). MAX-MIN ant system. *Future Gen. Comput. Systems*, **16** (8), pp. 889–914.
10. Huliannytskyi L.F., Sirenko S.I. (2010). Cooperative model-based metaheuristics / *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, **36**, pp. 33-40.

УДК 519.8

<sup>1</sup>**Т.Т. Лебедєва**

Кандидат екон. наук, старший науковий співробітник

<sup>2</sup>**Н.В. Семенова**

Доктор фіз.-мат. наук, провідний науковий співробітник

<sup>3</sup>**Т.І. Сергієнко**

Кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник

<sup>1-3</sup> *Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ*

## КОРЕКТНІСТЬ ВЕКТОРНИХ ЗАДАЧ З НЕОБМЕЖЕНОЮ ДОПУСТИМОЮ МНОЖИНОЮ

Проблема існування розв'язків є дуже важливою і однією з основних, що виникають при дослідженні оптимізаційних, в тому числі багатокритеріальних, задач. Продовжуючи дослідження питань коректності постановок векторних оптимізаційних задач, які представлені, зокрема, у публікаціях [1–12], розглянемо наступну задачу пошуку елементів множини Парето  $P(C, X)$ :  $Z(P(C, X)) : \max \{Cx \mid x \in X\}$ . Тут  $X$  – необмежена опукла множина в  $R^n$ ;  $C$  – лінійне відображення  $R^n \rightarrow R^\ell$  і відповідна йому матриця  $C = [c_{ij}] \in R^{\ell \times n}$ , рядки якої є коефіцієнтами лінійних цільових функцій  $\langle c_i, x \rangle$ , векторного критерію  $Cx = (\langle c_1, x \rangle, \dots, \langle c_\ell, x \rangle)$  задачі  $Z(P(C, X))$ ; множина Парето  $P(C, X)$  містить усі точки  $x$  допустимої множини  $X$ , для яких виконується умова:  $\exists y \in X : Cy \geq Cx, Cy \neq Cx$ .

Необмеженість множини  $X$  допустимих розв'язків задачі  $Z(P(C, X))$  означає, що рецесивний конус цієї множини

$$0^+X = \left\{ y \in R^n \mid x + \lambda y \in X \quad \forall x \in X, \lambda \geq 0 \right\}$$

обов'язково містить точку, відмінну від початку координат:  $0^+X \setminus \{0\} \neq \emptyset$ .

Введемо в розгляд лінійну підмножину множини  $X$ :  $L_X = (-0^+X) \cap 0^+X$ .

Відзначимо, що в тому випадку, коли допустима множина  $X$  є багатогранною й має такий вигляд:  $X(A, b) = \{x \in R^n \mid Ax \leq b\}$ , де

$A = [a_{ij}] \in R^{m \times n}$ ,  $b = (b_1, \dots, b_m) \in R^m$ , рецесивний конус і лінійна підмножина множини  $X$  можуть бути записані за допомогою формул  $0^+X = \{x \in R^n \mid Ax \leq 0\}$  і  $L_X = \{x \in R^n \mid Ax = 0\}$ .

Вивчення умов можливості розв'язання задачі  $Z(P(C, X))$ , тобто умов існування її Парето-оптимальних розв'язків, проведемо з урахуванням властивостей як рецесивного конуса  $0^+X$ , так і багатогранного конуса

$K = K(C) = \{x \in R^n \mid Cx \geq 0\}$ , який частково впорядковує множину допустимих розв'язків задачі щодо векторного критерія оптимізації, а саме: перехід з будь-якої точки  $x \in X$  в деяку точку  $(x+y) \in X$ , де  $y \in K$ , приводить до нерівностей  $C(x+y) \geq Cx$ . Очевидно, для довільної точки  $x \in X$  істинне висловлення

$$x \in P(C, X) \Leftrightarrow (x+K) \cap X \subset K_0,$$

де  $K_0 = K_0(C) = \{x \in R^n \mid Cx = 0\}$  – ядро лінійного відображення  $C: R^n \rightarrow R^\ell$ , що є сукупністю усіх тих векторів  $x \in K$ , образи яких у  $R^\ell$  збігаються з нульовим вектором.

У наступній теоремі сформульована необхідна умова розв'язуваності задачі  $Z(P(C, X))$  [1, 2].

**Теорема 1.** Якщо множина Парето-оптимальних розв'язків задачі  $Z(P(C, X))$  не порожня, то  $K \cap 0^+ X \subset K_0$ .

При додатковому припущенні про замкненість допустимої множини  $X$  сформулюємо наступну достатню умову розв'язуваності задачі  $Z(P(C, X))$  [3,4].

**Теорема 2.** Якщо сукупність усіх спільних точок конуса  $K$  і рецесивного конуса  $0^+ X$  збігається з перетином двох їх підмножин:  $K_0 \subset K$  ядра лінійного відображення  $C$  і лінійної підмножини  $L_X$  опуклої замкненої допустимої множини  $X$ , тобто

$$K \cap 0^+ X = K_0 \cap L_X, \quad (1)$$

то  $P(C, X) \neq \emptyset$ .

Розглянемо питання про розв'язуваність векторної задачі оптимізації в тому випадку, коли її вхідні дані можуть зазнавати деякі досить малі збурення. У зв'язку із цим введемо в розгляд поняття (не)стійко (не)розв'язуваної задачі  $Z(P(C, X))$  з багатогранною допустимою множиною  $X = X(A, b)$ .

Для цього в просторі  $R^q$ , де  $q$  – будь-яке натуральне число, задамо норму за допомогою формули  $\|x\| = \sum_{i=1}^q |x_i|$ , де  $x = (x_1, \dots, x_q) \in R^q$ . Під нормою деякої матриці  $B = [b_{ij}] \in R^{q \times k}$  будемо розуміти норму вектора  $(b_{11}, b_{12}, \dots, b_{qk})$ . Як відомо, в скінченновимірному просторі  $R^q$  будь-які дві норми  $\|\cdot\|_1$  й  $\|\cdot\|_2$  еквівалентні, тобто існують такі числа  $\alpha > 0$  й  $\beta > 0$ , що  $\forall x \in R^q$  виконуються нерівності  $\alpha \|x\|_1 \leq \|x\|_2 \leq \beta \|x\|_1$ . Враховуючи це, відзначимо, що викладені далі результати справедливі для будь-яких норм.



Для набору  $u = (C, A, b)$  вхідних даних задачі  $Z(P(C, X(A, b)))$ , що зазнають збурень, і будь-якого числа  $\delta > 0$  визначимо множину  $O_\delta(u)$  збурених вхідних даних як окіл  $O_\delta(u) = O_\delta(C) \times O_\delta(A) \times O_\delta(b)$  точки  $u$  у просторі вхідних даних  $R^{\ell \times n} \times R^{m \times n} \times R^m$ . Тут

$$O_\delta(C) = \left\{ C(\delta) = [c_{ij}(\delta)] \in R^{\ell \times n} \mid \|C(\delta) - C\| < \delta \right\},$$

$$O_\delta(A) = \left\{ A(\delta) = [a_{ij}(\delta)] \in R^{m \times n} \mid \|A(\delta) - A\| < \delta \right\},$$

$$O_\delta(b) = \left\{ b(\delta) = (b_1(\delta), \dots, b_m(\delta)) \in R^m \mid \|b(\delta) - b\| < \delta \right\}.$$

Позначимо  $u(\delta) = (C(\delta), A(\delta), b(\delta))$ ,  $X(\delta) = X(A(\delta), b(\delta))$ .

**Означення.** Задача  $Z(P(C, X(A, b)))$  називається стійко розв'язуваною, якщо  $\exists \delta > 0$ , таке, що  $\forall u(\delta) \in O_\delta(u): P(C(\delta), X(\delta)) \neq \emptyset$

**Означення.** Задача  $Z(P(C, X(A, b)))$  називається стійко нерозв'язуваною, якщо  $\exists \delta > 0$ , таке, що  $\forall u(\delta) \in O_\delta(u): P(C(\delta), X(\delta)) = \emptyset$

**Означення.** Задача  $Z(P(C, X(A, b)))$  називається нестійко розв'язуваною, якщо вона розв'язувана, тобто  $P(C, X(A, b)) \neq \emptyset$ , однак  $\forall \delta > 0 \exists u(\delta) \in O_\delta(u): P(C(\delta), X(\delta)) = \emptyset$

**Означення.** Задача  $Z(P(C, X(A, b)))$  називається нестійко нерозв'язуваною, якщо вона нерозв'язувана, тобто  $P(C, X(A, b)) = \emptyset$ , але  $\forall \delta > 0 \exists u(\delta) \in O_\delta(u): P(C(\delta), X(\delta)) \neq \emptyset$

Справедливі наступні достатні умови стійкої (нестійкої) розв'язуваності (нерозв'язуваності) задачі  $Z(P(C, X(A, b)))$ .

**Теорема 3.** Нехай  $X = X(A, b)$ . Якщо виконується умова  $K \cap O^+ X = \{0\}$  то задача  $Z(P(C, X))$  стійко розв'язувана.

**Теорема 4.** Нехай  $X = X(A, b)$ . Якщо справедливі співвідношення (1) і  $K_0(C) \cap L_X \neq \{0\}$ , то задача  $Z(P(C, X))$  є нестійко розв'язуваною.

Позначимо  $\text{int } B$  внутрішність деякої множини  $B \subset R^n$ .

**Теорема 5** [5]. Нехай  $X = X(A, b)$ . Якщо  $\text{int } K \cap \text{int } O^+ X \neq \emptyset$ , то задача  $Z(P(C, X))$  є стійко нерозв'язуваною.

**Теорема 6.** Нехай  $X = X(A, b)$ . Якщо справедливі співвідношення  $(K \setminus (K_0 \cup \text{int } K)) \cap O^+ X \neq \emptyset$ ,  $\text{int } K \cap O^+ X = \emptyset$ ,  $K_0 \cap O^+ X \subset L_X$ , то задача  $Z(P(C, X))$  нестійко нерозв'язувана.

**Висновок.** Сформульовані і доведені теореми, в яких встановлені умови існування Парето-оптимальних розв'язків для багатокритеріальних задач із необмеженою допустимою множиною на основі використання властивостей

рецесивного конуса цієї множини й конуса, який частково впорядковує допустиму множину щодо лінійних критеріїв, що складають векторний критерій оптимізації. Досліджені питання стійкості властивостей розв'язуваності та нерозв'язуваності задач оптимізації на багатогранній множині у випадку можливих збурень вхідних даних задач.

#### Список використаних джерел

1. Сергиенко И.В., Козерацкая Л.Н., Кононова А.А. Устойчивость и неограниченность задач векторной оптимизации. Кибернетика и системный анализ. 1997, № 1. С. 3 – 10.
2. Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Семенова Н.В. О существовании решений в задачах векторной оптимизации. Кибернетика и системный анализ. 2000, №6. С. 39 – 46.
3. Сергиенко Т.И. О существовании парето-оптимальных решений задачи векторной оптимизации с неограниченной допустимой областью. Доповіді НАН України. 2015, №10. С. 27–31.
4. Сергиенко Т.И. Условия разрешимости векторных задач поиска решений, оптимальных по Парето. Компьютерная математика. 2015, №2. С. 31-39.
5. Kozeratska L., Forbes J.F., Goebel R.J., Kresta J.V. Perturbed cones for analysis of uncertain multi-criteria optimization problems. Linear algebra and its applications. 2004, N378. P. 203 – 229.
6. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергієнко Т.І. До питання про розв'язуваність задач векторної оптимізації з необмеженою допустимою областю. Компьютерная математика. 2001. – 2. – С. 221 – 227.
7. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергієнко Т.І. Деякі умови оптимальності та розв'язуваності в задачах векторної оптимізації з опуклою допустимою множиною. Теорія оптимальних рішень, 2002, № 1. С. 142 – 148.
8. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергієнко Т.І. Умови оптимальності та розв'язуваності в задачах лінійної векторної оптимізації з опуклою допустимою множиною. Доповіді НАН України. 2003, № 10. С. 80 – 85.
9. Lebedeva T.T., Semenova N.V., Sergienko T.I. Stability of vector integer optimization problems with quadratic criterion functions. Theory of stochastic processes. K.: In-te of Math. of NASU. 2004, 10(24). N 3 – 4. – P. 95 – 101.
10. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергиенко Т.И. Устойчивость векторных задач целочисленной оптимизации: взаимосвязь с устойчивостью множеств оптимальных и неоптимальных решений. Кибернетика и системный анализ. 2005, № 4. С. 90 – 100.
11. Лебедева Т.Т., Сергиенко Т.И. Разные типы устойчивости векторной задачи целочисленной оптимизации: общий поход. Кибернетика и системный анализ. 2008, №3. С. 142 – 148.
12. Лебедева Т.Т., Семенова Н.В., Сергиенко Т.И. Свойства возмущенных конусов, упорядочивающих множество допустимых решений векторной оптимизационной задачи. Кибернетика и системный анализ. 2014, 50. № 5. С. 71–77.

УДК 681.61

**Ю.Я. Самохвалов**

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры интеллектуальных и информационных систем

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, г. Київ*

## ДОКАЗАТЕЛЬСТВО РЕЗОЛЮЦИОННОГО ТИПА В НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

*Проблема доказательства резолюционного типа в нечеткой логике.* Установление отношений логического следствия, или, что то же самое, доказательство теорем является одной из главных задач логики и представляет не только теоретический, но и практический интерес для многих научных и технических областей. Разнообразные проблемы можно попытаться решить, представляя описание задачи и относящуюся к ней информацию в виде логических аксиом и рассматривая различные случаи задачи как теоремы, которые нужно доказать.

В настоящее время резолюционный принцип в виду высокой эффективности машинной реализации составляет основу автоматического доказательства теорем в двузначной логике. Однако двузначная логика непригодна для обработки нечеткой аргументации и выводов, характерных для приближенных рассуждений. В нечетких условиях использование резолюционного принципа для доказательства теорем должно базироваться не на двузначной, а на нечеткой логике. Вместе с тем в нечеткой логике вывод резолюционного типа может использоваться только с существенными ограничениями, так как он не всегда приводит к полезным результатам. Это обусловлено тем, что в нечеткой логике логическое следствие  $D$  из посылки  $C$  значимо только тогда, когда для всех интерпретаций выполнено условие

$$T(C) \leq T(D), \quad (1)$$

где  $T(C)$  и  $T(D)$  – значения истинности высказываний  $C$  и  $D$  соответственно.

Применительно к методу резолюций это условие выполняется, если справедливо неравенство

$$T(C_1, C_2) \leq T(R(C_1, C_2)) \text{ или } T(L \wedge \lceil L) \leq T(R(C_1, C_2)), \quad (2)$$

где  $R(C_1, C_2)$  – резольвента посылок  $C_1$  и  $C_2$ , а  $L$  и  $\lceil L$  – отрезаемые литеры в этих посылках. Таким образом, в нечеткой логике резольвенту можно принять в качестве вывода лишь тогда, когда отрезаемые литеры удовлетворяют условию (2).

В последнее время, учитывая эффективное применение систем нечеткого вывода при решении широкого класса задач управления, предпринимаются попытки использовать методологию приближенных рассуждений и при нечетком выводе резолюционного типа. Основная идея этих исследований заключается в том, чтобы получить некоторое обобщение принципа резолюции с учетом положений и подходов к реализации нечетких рассуждений. Однако

проблема обеспечения значимости резолюционных выводов в смысле (1) остается открытой и требует использования дополнительных механизмов с целью получить корректные заключения.

В связи с этим предложен альтернативный подход к доказательству в нечеткой логике. Его основная идея состоит в использовании композиционного правила нечеткого вывода Л.Заде в качестве правила доказательного рассуждения, а принципа резолюции – как механизма его реализации. Такой синергизм позволяет снять проблему значимости резольвент в смысле (1) и обеспечить регулярность процесса доказательства

*Логика нечеткого вывода.* С позиций теории доказательств установление истинности теоремы непосредственно зависит от используемых правил логического вывода. Такие правила должны обеспечивать причинно-следственную направленность процесса доказательства и учитывать форму представления теоремы.

Теория доказательств рассматривает теоремы как утверждения вида

$$(F_1, F_2, \dots, F_n) \rightarrow G, \quad (3)$$

где  $F_1, F_2, \dots, F_n, G$  – формулы некоторого формального языка  $L$ . Здесь  $F_1, F_2, \dots, F_n$  являются аксиомами, а  $G$  – заключением теоремы.

Если языком  $L$  является язык нечеткой логики, то формулы  $F_1, F_2, \dots, F_n, G$  (или их часть) в (3) являются нечеткими. При этом, согласно Заде значение истинности заключения  $G$  есть истинным в приближенном смысле и его можно вывести из системы аксиом, используя приближенные рассуждения. Приближенные рассуждения эксплицируются правилами нечетких продукций, которые полностью корреспондируются с представлением теоремы в форме (3).

Концептуальной основой формализации правил нечетких продукций является обобщенный modus ponens  $\frac{A^*, A \rightarrow B}{B}$ , где  $A^*, A, B$  – нечеткие высказывания. Это правило утверждает: если  $A \rightarrow B$  истинно и имеет место  $A^*$ , где  $A^*$  есть, в некотором смысле, приближение  $A$ , то отсюда следует, что  $B$  приближенно истинно.

Методологическим базисом такой формализации является композиционное правило Заде:

$$B = A^* \circ (A \rightarrow B),$$

где  $\circ$  – операция максиминной свертки  $A^*$  и  $A \rightarrow B$ .

Тогда в общем случае истинность высказывания  $B$  определяется следующим образом:

$$T(B) = \max \min (T(A|A_i^*), T(A \rightarrow B)), \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

где  $T(A|A_i^*)$  – степень истинности посылки  $A$  при наличии высказывания  $A_i^*$ .

Поскольку вычисление истинности  $T(A \rightarrow B)$  в (4) по известным формулам нечеткой импликации не представляется возможным, поэтому вместо классической импликации  $A \rightarrow B$  используем импликацию  $A \rightarrow B(\eta)$ , где  $\eta$  –

коэффициент уверенности (весовой коэффициент), выражающий оценку степени истинности или относительный вес нечеткой продукции. Этот коэффициент выступает в качестве значения  $T(A \rightarrow B)$ . С учетом этого логическое следствие  $B$  нечеткого правила *modus ponens* всегда значимо в смысле (1).

Таким образом, использование нечетких правил продукций позволяет формировать естественные выводы, которые близки к содержательному рассуждению человека и обеспечить причинно-следственную направленность процесса доказательства.

Вместе с тем применение нечетких правил продукций для автоматического доказательства теорем не достаточно состоятельно. Это связано с тем, что в продукционных моделях существенным моментом является проверка применимости правил, которая предполагает использование (возможно, значительного количества) соответствующих правил вывода. А так как выбор таких правил относится к компетенции человека, это существенно затрудняет, а в некоторых случаях делает невозможным механизацию процесса доказательства. Таким образом, идея заключается в реализации нечеткого продукционного вывода единственным правилом – правилом резолюций.

Пусть задано правило  $\frac{A^*, A \rightarrow B(\eta)}{B}$ . Представим импликацию этого правила в виде  $\neg A \vee B$  и положим  $C_1 = A^*$  и  $C_2 = \neg A \vee B$ . Пусть также  $\gamma$  – мера сходства между  $A$  и  $A^*$ , которая будет представлять значение  $T(A|A^*)$ . Если применить правило резолюций к дизъюнктам  $C_1$  и  $C_2$ , то получим резольвенту  $B$ , степень истинности которой согласно (4) можно получить по формуле  $T(B) = \min(\gamma, \eta)$ .

Далее, пусть посылка  $A$  является составным высказыванием. Без потери общности пусть  $A = A_1 \wedge \dots \wedge A_n$  и имеют место утверждения  $A_1^*, \dots, A_n^*$ . Тогда, последовательно отрезая литеры  $\neg A_i$  в дизъюнкте  $\neg A_1 \vee \neg A_2 \vee \dots \vee \neg A_n \vee B$ , получим заключение  $B$ , истинность которого вычисляется по формуле  $T(B) = \min(T(A), \eta)$ , где  $T(A) = \min(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ , а  $\gamma_i$  – мера сходства между  $A_i$  и  $A_i^*$ . При этом, что очень важно, необходимость проверки резолюционных выводов (резольвент) на значимость их в смысле (2) отпадает. В целом эти положения будем рассматривать как процедурный базис нечеткого вывода при доказательства теорем в нечеткой логике.

*Семантические индексы.* Чтобы реализовать такой вывод необходимо различать дизъюнкты фактов, правил и заключения теоремы. Для их идентификации используются семантические индексы, которые позволяют структурировать множество дизъюнктов и придать ему осмысленный характер.

Семантический индекс присваивается каждой литере и представляется кортежем:

$$\langle S.T \rangle,$$

где  $S$  – статус литеры,  $T$  – истинность литеры.

Статус литеры определяет ее принадлежность к элементам теоремы и может принимать следующие значения:  $\phi$  – литера-факт,  $a(\kappa)$  – литера-антецедент (консеквент) правила,  $z$  – литера-заключение теоремы. Статус также может принимать значение  $o$  – отрезанная литера в результате применения резолюции. Значением  $T$  для литер фактов, антецедентов и заключения теоремы является степень их истинности; для литер-консеквентов – коэффициент уверенности соответствующих правил. При изменении статуса литеры или ее истинности соответствующие значения индекса также изменяются.

*Аксиоматизация теоремы.* Процессу доказательства в нечеткой логике предшествуют подготовительный этап, который состоит в аксиоматизации посылок и заключения теоремы, заданной на естественном языке. К операциям этого этапа относятся построение формул языка  $L$ , приведение их в предварительную нормальную форму и затем в скулемовскую стандартную форму (конъюнктивную нормальную форму). В результате теорема будет представлена в клаузуальном виде. При этом в качестве языка  $L$  используется расширение языка логики предикатов. Такое расширение получается путем присоединения к алфавиту языка предикатов специальных констант и предикатных символов. Специальная константа – это название терма лингвистической переменной, а специальный предикатный символ – это название нечеткого отношения.

Основу вербального описания ее фактов и заключения составляют четкие и нечеткие элементарные высказывания (утверждения), которые могут быть двух видов.

1. Высказывание " $a$  есть  $b$ ". Если высказывание четкое, то  $a$  – это наименование сущности, а  $b$  – наименование ее свойства. Если высказывание нечеткое, тогда  $a$  и  $b$  являются наименованием лингвистической переменной и ее значением соответственно.
2. Высказывание " $aRb$ ", где  $a, b$  – элементы множеств  $A$  и  $B$ , а  $R$  – наименование отношения между  $a$  и  $b$ . Если отношение нечеткое, то  $R$  – нечеткая переменная. Рассматриваются только бинарные отношения, так как  $n$ -арные отношения, во-первых, трудны для восприятия и обработки, а во-вторых, при необходимости их можно представить в виде естественного соединения бинарных отношений.

Вербализация правил вывода теоремы осуществляется высказываниями в форме структурированного текста "Если условие То заключение ( $\eta$ )". Здесь  $\eta$  является коэффициентом уверенности правила. Основу вербального описания условий и заключений правил также составляют четкие и нечеткие элементарные высказывания, которые могут содержать предметные переменные.

С точки зрения практической направленности теорем в качестве фактов и заключения теоремы используются только элементарные высказывания. Кроме этого, поскольку факты могут быть не вполне достоверными, каждому факту соответствует коэффициент достоверности. Условия правил продукций могут

иметь сложную логическую структуру и представлять собой высказывания, составленные из элементарных с помощью операций "И", "ИЛИ", "НЕ". В качестве заключений правил рассматриваются только элементарные высказывания.

Формализация теоремы осуществляется отображением  $\mathfrak{Z}: S_T \xrightarrow{D_T} S_L$ , которое переводит вербальное описание  $S_T$  теоремы  $T$  в ее формальное представление  $S_L$  языка  $L$ . Это отображение строится на основе словаря  $D_T$ , который позволяет однозначно понимать и обозначать термины теоремы. Операции приведения формул в предваренную нормальную форму и скелемезации аналогичны операциям в логике предикатов.

*Структурная резолюция.* Структурная резолюция ( $S$ -резолюция) – это уточнение единичной резолюции, использующее понятие, аналогичное понятию упорядоченного дизъюнкта.  $S$ -резолюция основана на семантических индексах литер и их сходстве. Семантические индексы являются ключевым понятием  $S$ -резолюции и используются для упорядочения литер в дизъюнктах и их идентификации. При этом  $S$ -резолюцию разрешается применять к посылкам, одна и только одна из которых является дизъюнктом-фактом, а в дизъюнктах-правилах разрешено отрезать только литеры-антецеденты. А сходство заключается в поиске литеры-факта, которая либо почти дополняет литеру в другой посылке, либо между этими литерами можно установить отношение сходства (подобия), используемое при фаззификации в системах нечеткого вывода. В качестве меры сходства выступает показатель подобия, основанный на параметрической метрике Минковского ( $p$ -метрике).

Пусть  $D$  – множество дизъюнктов, которые являются конъюнктивной нормальной формой теоремы  $T$ . Под  $S$ -выводом будем понимать вывод, в котором каждый дизъюнкт является либо членом  $D$ , либо  $S$ -резольвентой. Тогда справедливо следующее утверждение. Если множество  $D$  противоречиво, то существует  $S$ -вывод пустого дизъюнкта из  $D$ .

В целом данный подход не претендует на завершенность и служит лишь иллюстрацией использования механизмов приближенных рассуждений для получения нечеткого вывода резолюционного типа. Он может быть использован в качестве методологической основы для разработки регулярных алгоритмов доказательства теорем с нечеткой аргументацией.

УДК 519.85

<sup>1</sup> П.І. Стецюк

Д. ф.-м. н., с.н.с., завідувач відділу

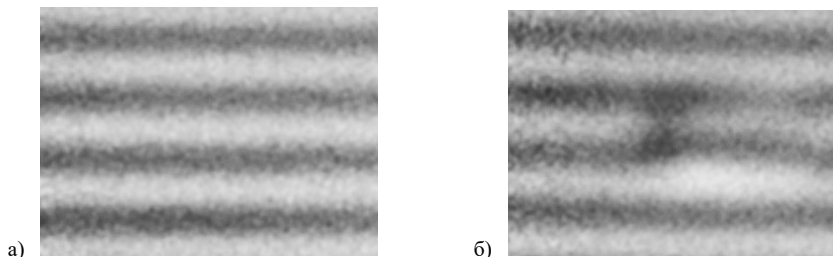
<sup>2</sup> В.В. Савицький

К.т.н, старший науковий співробітник

<sup>1</sup> Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ<sup>2</sup> Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

## ПОШУК ДЕФЕКТІВ В РЕГУЛЯРНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

**Вступ.** Регулярні зображення з областями дефектів (рис. 1) характерні при неруйнівному контролі якості тонкостінних багатопшарових композиційних матеріалів за допомогою методів лазерної інтерферометрії, таких як метод голографічної інтерферометрії, метод спекл-інтерферометрії та метод широгографії [1].



**Рисунок 1.** Приклади зображень: а) регулярне; б) регулярне з дефектною областю – порушення регулярності в центрі.

Методи відновлення регулярного зображення з подальшим визначенням дефекту як відхилення регулярного зображення з дефектною областю від відновленого регулярного зображення дозволяють визначати місця розташування внутрішніх дефектів в досліджуваних конструкціях. Нижче розглянемо оптимізаційні задачі для регулярних 3D-структур, часткові випадки яких визначають два відомі методи відновлення регулярних зображень – метод найменших квадратів та метод найменших модулів.

**Методи відновлення регулярних 3D-структур [2].** 3D-структурою будемо називати наступну трійку  $\{A, u, v\}$ , де  $A$  –  $m \times n$ -матриця,  $A = \{a_{ij}\}_{i=1, \dots, m}^{j=1, \dots, n} \in R^{m \times n}$ ,  $u, v$  – вектори,  $u \in R^m$ ,  $v \in R^n$ . 3D-структура  $\{A, u, v\}$  є регулярною, якщо  $a_{ij} = u_i + v_j$ ,  $i = 1, \dots, m$ ,  $j = 1, \dots, n$ . Регулярну 3D-структуру  $\{A^*, u^*, v^*\}$  будемо називати базисною, якщо  $\sum_{j=1}^{j=m} u_j^* = \sum_{i=1}^{i=n} v_i^*$ .

Елементарним дефектом в регулярній 3D-структурі  $\{A, u, v\}$  будемо називати таку пару індексів  $i, j$ ,  $i \in 1, \dots, m$ ,  $j \in 1, \dots, n$ , для яких  $a_{ij} \neq u_i + v_j$ .



Якщо регулярна 3D-структура має  $k$  елементарних дефектів ( $k \geq 1$ ), то її будемо називати регулярною з  $k$  дефектами. Будемо вважати, що  $k \leq m \times n$ .

**Задача 1.** Задана  $m \times n$ -матриця  $A$ . Для регулярної 3D-структури  $\{A^*, x^*, y^*\}$  потрібно знайти такі вектори  $x^* \in R^m$  та  $y^* \in R^n$ , щоб коефіцієнти  $m \times n$ -матриці  $A^*$  мінімально (за  $L_p$ -нормою, для випадку  $1 \leq p \leq 2$ ) відхилялися від коефіцієнтів  $m \times n$ -матриці  $A$ .

**Задача 2.** Задана  $m \times n$ -матриця  $A$ . Для базисної регулярної 3D-структури  $\{A^{**}, x^{**}, y^{**}\}$  потрібно знайти такі вектори  $x^{**} \in R^m$  та  $y^{**} \in R^n$ , щоб коефіцієнти  $m \times n$ -матриці  $A^{**}$  мінімально відхилялися від коефіцієнтів  $m \times n$ -матриці  $A$ .

**Задача 1** рівносильна задачі мінімізації опуклої функції: знайти

$$(x^*, y^*) = \arg \min_{x \in R^m, y \in R^n} \left\{ f_p(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{ij} - x_i - y_j|^p \right\}, \quad (1)$$

а **задача 2** – задачі мінімізації опуклої функції: знайти

$$(x^{**}, y^{**}) = \arg \min_{x \in R^m, y \in R^n} \left\{ F_p(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{ij} - x_i - y_j|^p + \left| \sum_{i=1}^m x_i - \sum_{j=1}^n y_j \right|^p \right\}, \quad (2)$$

де  $p$  – скалярний параметр, такий що  $1 \leq p \leq 2$ . Тут  $f_p(x, y)$  та  $F_p(x, y)$  – опуклі функції, які є негладкими тільки при  $p=1$ .

Часткові випадки задач (1) та (2) пов'язані з відомими методами відновлення регулярних зображень. Якщо  $p=2$ , то отримуємо метод найменших квадратів, а якщо  $p=1$ , то отримуємо метод найменших модулів. Останній є стійким, якщо для регулярних зображень з  $k$  дефектами  $k \leq m \times n$ .

**Висновки [3].** Розроблені на основі  $r$ -алгоритму методи відновлення регулярних 3D-структур та їх програмні реалізації мовою Octave дозволяють автоматизувати процес визначення місць розташування дефектів у відповідальних елементах конструкцій та знизити вплив людського фактору при неруйнівному контролі якості. При цьому для зображень розміром  $400 \times 600$  оптимізаційні задачі (1) та (2) можна вирішувати в діалоговому режимі, так як для цього потрібно декілька секунд на сучасних персональних ЕОМ з використанням GNU Octave версії 3.6.4.

#### Список використаних джерел

1. Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Kyjanets I.V., Savitsky V.V., Tkachuk G.I. Express control of quality and stressed state of welded structures using method of electron shearography and speckle-interferometry. The Paton Welding Journal, August, 2005. PP. 35–40.
2. Стецюк П.И., Савицкий В.В. О поиске дефектов в регулярных 3D-структурах. Проблемы управления и информатики. 2018. № 2. С.33–48.
3. Стецюк П.И., Савицкий В.В.  $r$ -Алгоритмы для двух задач поиска дефектов в регулярных 3D-структурах. Материалы 6-ой международной конференции „Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии“, Кишинэу, Республика Молдова, 12–16 ноября 2018 г. Кишинэу: Эврика, 2018. С. 424–427.

# **Section 1**

**Philosophical and  
methodological aspects of  
decision making theory**



UDC 519.816

<sup>1</sup> **H.M. Hnatiienko**

Ph.D, Associate Professor

<sup>2</sup> **V.I. Vialkova**

Ph.D, Associate Professor

<sup>1,2</sup> *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv*

## METHODS OF DETERMINATION OF THE RELATIVE COMPETENCE OF SOURCES OF INFORMATION IN THE TASKS OF EXPERTS AVALUATION

Currently, there are several established approaches to definine indicators of expert competence [1] (importance of sources of information). Each of approach has certain limitations and it is not always considered acceptable in all practical situations:

- the documentary approach sometimes causes distrust by means of formalization and its ability of taking into account an objective expert data, as well as the current tendency towards the devaluation of official documents characteristic and the noncriticality of some institutional decisions;

- during the process of conducting the self-rated response of experts, researchers often receive information about the level of expert self-confidence, and not about its real competence;

- during the determination of the peer assessment of the competence of experts in some problems, it is possible to find confrontation in the expert commission and coalition of its members, which sometimes invalidate the test of real individual experts competence;

- hen we combine some different methods of wdetermining the competence of experts [2], sometimes instead of the synergistic effect, the processing of false data obtained by different methods in some cases leads to the accumulation of a complex error.

Therefore, the most reliable ways to determine the level of competence of experts still are such objective components:

- the effectiveness of participation in previous examinations;
- the verification by results of control examination, the objective results of which are known in advance;

- the investigation of the participation in a specific expert procedure.

In turn, the last component will be considered in two aspects:

- results of indirect analysis of the indicators ,which were obtained from the expert, without prius aggregation of the results of the group examination (K1);

- results of the correlation of individual expert data and calculated integral indicators of the expert commission (K2).

Let us suppose that there are some individual expert matrices of pairwise comparisons of  $n$  objects, which belong to plural  $a_i \in A$ ,  $i \in I = \{1, \dots, n\}$ .

Whereas the transitivity is a very common condition, which is sometimes called as the basic rule of logical output, the number of cycles of length 3 for ordinary scales admitted by an expert may be an indicator of competence in expert decision of tasks:

$$a_{i_1} \succ a_{i_2} \succ a_{i_3} \succ a_{i_1}, \quad a_{i_1}, a_{i_2}, a_{i_3} \in A, \quad i_1, i_2, i_3 \in I.$$

K1.1.1. The number of cycles generated by the expert in comparison with other experts – under the assumption that tasks do not occur without cycles.

K1.1.2. The number of non-transitivity cases as a part of the maximum number of cycles per set of  $n$  objects.

K1.2. The number of pair comparisons for which the expert can not assign number values, because of scanty information that sometimes occurs due to the fact that experts have different knowledge about objects and levels of their uncertainty.

K1.2.1. The number of uncertain experts in the matrix of pairwise comparisons (PCM) compared with other experts depends on the assumption that each expert sets an incomplete matrix.

K1.2.2. The number of PCM elements that was not specified by an expert is like a fraction of the maximum number of data gaps until PCM remains coherent.

K1.3. According to the arrangement of some examining operations, experts can build a metered PCM. In this case, the analysis of the non-compliance of PCM is made due to the cardinal non-compliance of the matrix.

K1.3.1. The indicator of competence of an expert may be the general non-compliance between the three metrics of relations between objects – the accumulation discrepancy.

K1.3.2. The criterion of competence may be the maximum value of the non-compliance of triples of metric relations between objects.

K1.3.3. The competence of an expert could be an indication of the sum of the intervals of the triples.

K1.4. According to the results of individual PCM, we can calculate the intervals of the weight coefficients of objects, their parameters or the criteria of the task. The criterion of competence of an expert could be the sum of intervals of weight coefficient change.

K2.1. Another group of competency assessments is a posteriori -calculated, and it is based on the premise of finding the resultant ranking of objects according to the  $R^*$  that was given by individual expert rankings  $R^l, l \in L$ .

K2.1.1. The number of inversions in a ranking which was given by an expert is in relation to the resulting ranking.

K2.1.2. The number of consistently ranked objects by an expert.

K2.1.3. The sum of modules of differences between the ranks of objects in the resultant and assigned by experts rankings, etc.

K2.2. The relative distance to the resulting ranking

K2.3. The distance to the group vector of weight coefficients upon condition that it is given by experts of the PCM on cardinal scales.

Thus, the contrast between the interests of self-rated response and peer assessment of experts could substantially garble information. In addition, the interest of experts in some of the predefined results may also influence negatively. The presence of antagonism in the relations between some experts, as well as the problems associated with professional or official inequalities of commission members, their personal relationships, require the application of objective methods.

#### References

1. Gnatienco G.M., Snytyuk V.Ye. Expert technologies in making decisions. – K.: McLeot, 2008. – 444p.
2. Dodonov A.G Recognition of information operations / AG Dodonov, D.V. Lande, VV Tsyganok, O.V. Andreychuk, S.V Kadenko, A.N Grayvoronskaya – K.: LLC "Engineering", 2017. – 282 p.

УДК 330.101

<sup>1</sup>Волошин О.Ф.

Доктор технічних наук, професор

<sup>2</sup>Кулик В.В.

Кандидат економічних наук

<sup>3</sup>Коробова М.В.

Кандидат фізико-математичних наук, доцент

<sup>1-3</sup>Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

## МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ РОЗВИТКУ РИНКІВ В КОНТЕКСТІ МОДЕЛІ «ВИТРАТИ-ВИПУСК»

**Вступ.** Побудова конкурентоспроможної економіки потребує постійної уваги до внутрішніх ринків, забезпечення їх функціонування на принципах змагальності як в частині виробленої кінцевої продукції, так і споживаних ресурсів (праці і капіталу). Тому постає питання дослідження морфології ринків – структури ринків, особливостей функціонування і регулювання, доходу- та капіталоутворення, аналіз та виявлення тенденцій розвитку тощо.

**Виклад основного матеріалу.** «Реальна економіка в її індивідуальності пізнається саме за допомогою позачасових теоретичних положень» – писав В.Ойкен, основоположник теорії соціально-орієнтованої ринкової економіки Німеччини [1, с.221]. І дійсно, дослідження процесів відтворення ринків в широкому розумінні – як національного ринку, так і окремих ринків (товарів, послуг, капіталів, праці тощо) – можливо і необхідно здійснювати в рамках відомої моделі В.Леонтьєва [2]:

$$X = AX + Y, \quad X \geq 0,$$

де  $X$  – випуск,  $A$  – матриця прямих витрат,  $Y$  – кінцевий продукт.

Як приклад, розглянемо модель Леонтьєва у матричній формі з виділенням трьох агрегованих галузей (видів економічної діяльності):

$a_{11}X$	$a_{21}X$	$a_{31}X$	$Y_1$	$X_1$
$a_{12}X$	$a_{22}X$	$a_{32}X$	$Y_2$	$X_2$
$a_{13}X$	$a_{23}X$	$a_{33}X$	$Y_3$	$X_3$
$Y'_1$	$Y'_2$	$Y'_3$	$Y$	
$X'_1$	$X'_2$	$X'_3$		$X$

Тоді слід виділити ринки: *кінцевих товарів і послуг* ( $Y = Y_1 + Y_2 + Y_3$ , ВВП за категоріями витрат), *виробничих факторів* (праця і капітал) ( $Y = Y'_1 + Y'_2 + Y'_3$ , ВВП за категоріями доходу), *товарів і послуг споживаних в процесі виробництва кінцевого продукту* ( $AX$ , проміжне споживання).

Оскільки матриця  $A$  не є симетричною, то звідси випливає висновок, що для кожної галузі досягається умова рівності сукупного попиту і сукупної пропозиції ( $X'_i = X_i$ ,  $i=1,3$ ), при умові, що доходи, створені в галузі, та кінцевий галузевий продукт відрізняються ( $Y'_i \neq Y_i$ ,  $i=1,3$ ).

Аналіз даних по Україні свідчить, що первинний сектор створює більший кінцевий продукт, ніж доходи сформовані в галузі, вторинний сектор формує приблизно такий кінцевий продукт, як і доходи в секторі, третинний сектор має дещо більші доходи, ніж кінцевий продукт [3, с.59].

За умов ринкової змагальності постає комплексна задача збільшення Випуску ( $X$ ) і Кінцевого продукту ( $Y$ ) при зменшенні Проміжних витрат ( $AX$ ). Це потребує врахування особливостей організації внутрішніх ринків – кінцевих товарів і послуг  $Y_1, Y_2, Y_3$  та виробничих факторів  $Y'_1, Y'_2, Y'_3$  – і їх спроможності адаптуватися і трансформуватися до нових змінюваних умов, зокрема в частині вільного перетоку праці і капіталу як на внутрішньому ринку, так і до зовнішнього, структурної оптимізації, що сприяє стабільності цих ринків і подальшому їх розвитку.

В Україні лідируючими сферами економіки мають стати такі галузі як агропромисловий комплекс, промисловість, логістика, інформаційні технології, туризм [4]. Визначальним в таких процесах є забезпечення макроструктурної збалансованості, зокрема у формуванні достатнього рівня національних заощаджень як основного джерела інвестування економіки. Це дозволить розвивати як вищевказані галузі, так і створювати умови для довгострокового розвитку інших видів діяльності, зокрема розвитку сфери послуг.

Другим важливим фактором економічного розвитку є створення належних умов функціонування національних ринків праці і капіталу – і не лише для вказаних видів економічної діяльності а й інших також, – їх вільний рух, захищеність інвестицій та заощаджень громадян, демонополізація ринків і децентралізація управління, забезпечення конкурентних умов розвитку ринків. Децентралізація потребує й інших інструментів, що дозволяють відстежувати процеси розвитку і непрямого впливу держави на ринки капіталів, праці тощо.

Розвинуті країни, незважаючи на прихильність до ринкових методів управління, захищають стратегічні галузі економіки, вдаючись, наприклад, до промислового протекціонізму [5]. Тому важливо забезпечити стратегічне планування позитивних макроструктурних змін в економіці, що гарантуватимуть економічну стабільність і суспільну безпеку.

**Висновок.** На основі моделі В.Леонтьєва «витрати-випуск» побудовано агрегована трьох галузева модель для аналізу структури ринків кінцевих товарів, факторних доходів та споживаних в процесі виробництва товарів і послуг.

#### Список використаних джерел

1. Ойкен В. Основы национальной экономики. – М.: Экономика, 1996. – 351с.
2. Леонтьев В. Межотраслевая экономика. – М.: Экономика, 1997. – 480с.
3. Кулик В.В Аналіз і прогнозування макроструктурних змін у виробничій системі України / Бізнес-моделі розвитку національної економіки та підприємницьких структур: сучасні реалії та перспективи : монографія з міжнародною участю / за ред. Л.М.Савчук, Л.М.Бандоріної. – Дніпро: Журфонд, 2018. – С.55–69.
4. Порошенко назвав сектори економіки, де Україна може вийти в лідери. 29 січня 2019 року. – Режим доступу: [ukrinform.ua](http://ukrinform.ua).
5. Жорсткий промисловий протекціонізм в Німеччині стане ще більш відкритим – експерт. 4 березня 2019 року. – Режим доступу: [gazeta.ua](http://gazeta.ua).

УДК 681.3

<sup>1</sup>О.В. Лапко

Кандидат фіз.-мат. наук, технічний директор

<sup>2</sup>Т.М. Проватар

Інженер 1 категорії

<sup>3</sup>В. Д. Саввакін

Магістр

<sup>1</sup>EASYPAY, Київ<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка<sup>3</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ КОНКРЕТНОЇ АЛГОРИТМІКИ

**Вступ.** Відомо [1], що показати алгоритмічну обчислюваність функцій шляхом її належності до класу частково рекурсивних функцій досить складно, окрім найпростіших функцій. Крім того, в кожному конкретному випадку це потребує побудови математичної моделі функції у вигляді терма із обчислюваних операцій над базовими функціями. Базовими (найпростішими) функціями, як відомо [1,2] називаються функції  $o(x) = 0$ ,  $s(x) = x+1$  та функції-селектори  $(x_1, \dots, x_n) = x_m$ , де  $n \geq m \geq 1$ .

Виникає цілком закономірне питання про можливість використання конкретних алгоритмів для доведення, в тому числі, фундаментальних результатів теорії рекурсивних функцій. Для цього потрібно точно описати основні конструкції алгоритму і переформулювати (конкретизувати) тезу Чорча для більш вузьких класів алгоритмічно обчислюваних функцій.

Будемо записувати алгоритми на мові ПсевдоPascal, яка є спрощеним діалектом мови Pascal. Операторами цієї мови будуть наступні:

```
<ідентифікатор> = <вираз>,
if <вираз> then <оператор> | {<оператор>, ... , <оператор>}
else <оператор> | {<оператор>, ... , <оператор>},
while <вираз> do <оператор> | {<оператор>, ... , <оператор>},
for <вираз> to <вираз> <оператор> | {<оператор>, ... , <оператор>}.
```

**Конкретизація.** Конкретизуємо тезу Черча для класів ПРФ, РФ та ЧРФ відповідно [3].

**Теза 1.** Клас функцій, що обчислюються всюди визначеними алгоритмами без використання оператора while ... do співпадає з класом примітивно рекурсивних функцій.

**Теза 2.** Клас функцій, що обчислюються всюди визначеними алгоритмами співпадає з класом рекурсивних функцій.



**Теза 3.** Клас функцій, що обчислюються довільними алгоритмами співпадає з класом частково рекурсивних функцій.

Покажемо, як доводити алгоритмічну обчислюваність функцій, використовуючи запропоновані вище тези. Нехай, треба довести, що функція

$$f(x, y) = \begin{cases} [x / y], & y \neq 0 \\ x, & y = 0 \end{cases}$$

ПР функція.

Розглянемо послідовність

$$1y \div x, 2y \div x, \dots, [x/y] \div x, \dots, xy \div x.$$

Оскільки частка  $[x/y]$  означає скільки разів число  $y$  “поміщається” в числі  $x$ , то  $[x/y]$  дорівнює числу нулів в цій послідовності. Дійсно, якщо, наприклад,  $y$  два рази “поміщається” в числі  $x$ , то

$$1y \div x = 0, 2y \div x = 0, \text{ а } 3y \div x \neq 0.$$

Тому алгоритм обчислення функції наступний:

```
function f(x, y)
begin
  s = 0
  if y = 0 then f = x
  else {for i = 1 to x
        if iy ÷ x = 0 then s = s + 1
        f = s}
end.
```

Отже, функція  $f(x, y) \in \text{ПРФ}$ .

**Висновки.** Таким чином, пропонується підхід, за допомогою якого належність функцій до алгоритмічно обчислюваних можна аргументувати побудовою відповідних алгоритмів, на відміну від алгебраїчних термів. Він може бути корисним для програмістів різних вікових категорій, які хочуть познайомитися з основами теорії обчислюваності та теорії алгоритмів, а також студентам відповідних спеціальностей.

#### Список використаних джерел

1. Мальцев А.И.. Алгоритмы и рекурсивные функции. Наука, Москва, 1965. 390 с.
2. Успенский В.А., Семенов А.Л.. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. Наука, Москва, 1987. 288 с.
3. Провотар О.І. Конкретна алгоритміка. Наукова думка, Київ, 2017. 166 с.

УДК 004.9

<sup>1</sup> **Ю.О. Прокопчук**

д.т.н., доцент, професор

<sup>2</sup> **С.П. Самойлов**

викладач

<sup>1</sup>*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро*

<sup>2</sup>*Дніпровський національний університет залізничного транспорту, Дніпро*

## КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ «A STANDARD MODEL OF THE MIND»

**Вступ.** Успіх розробки ІС в предметних областях з нечіткою системологією в значній мірі залежить від розробки та реалізації концепції активного, еволюціонуючого середовища знань, здатного здійснювати дієву підтримку прийняття рішень в ситуаціях невизначеності і обмежених ресурсів. Прикладом і орієнтиром тут можуть служити природні когнітивні системи [1 - 4]. Суб'єктивні пізнавальні структури відповідають світу, так як вони сформувалися в ході пристосування до цього реального світу. Головне питання в тому, яким чином природні системи долають безодню різноманітності, створюючи відповідні інваріанти.

В рамках "A Standard / Common Model of the Mind" передбачається розробити єдину модель для природних і штучних обчислювальних сутностей, які виявляються в людському пізнанні. Початок «Стандартної моделі» було покладено на симпозіумі AAAI з інтегрованого пізнання в 2013 році [3]. Пізніше вона була розширена шляхом синтезу трьох когнітивних архітектур: ACT-R, Sigma і Soar [4]. Основна гіпотеза полягає в тому, що зазначені когнітивні архітектури забезпечують відповідну обчислювальну абстракцію для визначення стандартної моделі, хоча сама по собі стандартна модель не є такою архітектурою. Автори концепції вважають, що «стандартна модель», яка вийшла в результаті, охоплює ключові аспекти структури і обробки, пам'яті і контенту, навчання, сприйняття і моторики.

**Проблемні питання.** Аналіз підходів до створення «Стандартної моделі мислення» виявив, зокрема, такі проблеми: 1. Існуючі концепції націлені перед усім на моделювання вербальної компоненти мислення з опорою на штучні логічні схеми або нейронні мережі. При цьому інтуїтивно-образне мислення, основою якого є природна логіка, практично не розглядається. Таке положення обумовлене, передусім, відсутністю адекватних математичних моделей адаптивного несвідомого, які розкривали б генезис імпліцитного (невід'ємного) знання та патернів поведінки. 2. Відсутні математичні моделі імпліцитного еволюційного формування "тонких зрізів" (граничного сенсу) в задачах розрізнення. Узагальнення без усвідомлення - це одне з фундаментальних властивостей пам'яті 3. Відсутні конструктивні алгоритми (штучної) інтуїції для реалізації в інтелектуальних системах. 4. Відсутні моделі творчості на фундаментальному рівні (опора на фундаментальні закони Універсуму).

Особливу увагу інтуїції приділив Daniel Kahneman (лауреат Нобелівської премії з економіки, один з основоположників психологічної економічної теорії), вважаючи її ключовим фактором в діях економічних агентів. Це необхідно враховувати при обговоренні «A Standard Model of the Mind».

**Авторська концепція:** парадигма граничних узагальнень (ПГУ). В рамках ПГУ до первинних сутностей ментальної сфери, що грають важливу роль в природних механізмах інтуїції і глобальної когерентності, можна віднести [1]: орграфи значень і доменів тестів (кваліа), орграфи начерків образів, орграфи метаморфозів, системопатерни, граничні моделі знань та енергію. В орграфи значень, доменів, начерків вкладаєна система автоматичних інтуїтивних інтерпретацій явищ предметної області, тобто семантичний рівень. Можливість інтерпретувати дані та результати обробки даних в системі понять предметної області є необхідною умовою отримання корисного результату. Крім системи інтерпретації, орграфи значень, доменів тестів, начерків образів відповідають за породження понад надмірності та понад різноманітності даних, які в процесі категоризації дозволяють природним шляхом виявити гранично стислий зміст - «тонкий зріз». Втілена когерентність на безлічі всіх даних (власна функція середовища знань) є найважливішим механізмом інтуїції [1, 2]. Енергетичні фазові переходи дозволяють сконцентрувати обмежену енергію на важливих завданнях та образах.

Підготовлена до друку монографія «Інтуїція: досвід формального дослідження».

**Висновки.** Стандартна модель покликана відображати консенсус спільноти, виступаючи в якості кумулятивного орієнтира для цієї області. Вона може служити рамкою, як для досліджень, так і для застосувань, а також концентрує зусилля на її розширенні або перегляді. Автор сподівається, що ця робота стане ще одним кроком до залучення більш широкого наукового співтовариства в подальший розвиток «Стандартної моделі мислення».

#### Список використаних джерел

1. Прокопчук Ю.А. Набросок формальної теорії творчства. Днепр: Изд-во ПГАСА, 2017. – 452 с.
2. Прокопчук Ю.О., Білецький О.С. Моделювання Інтуїції на Засадах Парадигми Граничних Узагальнень / Доповіді Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання" (м. Івано-Франківськ, 14-19 травня 2018 року). – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2018. – С. 57 – 60.
3. Laird, J. E., Lebiere, C., Rosenbloom, P. S. (2017). A Standard Model for the Mind: Toward a Common Computational Framework across Artificial Intelligence, Cognitive Science, Neuroscience, and Robotics, *AI Magazine* 38(4). <https://doi.org/10.1609/aimag.v38i4.2744>
4. Chella A., Frixione M., Lieto A. (2017). Representational Issues in the Debate on the Standard Model of the Mind. Conference: AAAI Fall Symposium 2017: "A Standard Model of the Mind", Arlington, Washington DC Area, USA. pp 302–307.

УДК 004.8:330.46:519.816

**В.І. Скіцько**

Кандидат економічних наук, доцент, доцент

*ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана», м. Київ*

## **АСПЕКТИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ**

Цифрову економіку можна вважати сучасним трендом господарювання з метою збереження та підвищення конкурентоспроможності як окремого підприємства, так і галузі чи економіки країни в цілому. Цифрова економіка – це «діяльність, в якій основними засобами (факторами) виробництва є цифрові (електронні, віртуальні) дані як числові, так і текстові» [1].

Основою цифрової економіки є інформаційно-комунікаційні та цифрові технології, використання яких здатне докорінно змінити усталені та створити нові бізнес-процеси, вплинути на звичні дії та поведінку окремих осіб. Завдяки таким технологіям змінюються завдання та способи їх виконання в багатьох існуючих професіях, а також з'являться нові. В цифровій економіці разом із очікуваним скороченням фахівців робітничих спеціальностей на виробництві, адміністративних та офісних працівників у промисловості [2], підвищиться попит на спеціалістів з цифрових технологій через потребу в розробці, впровадженні та підтримки у виробництві різних інновацій. Одне з основних місць в майбутньому займе аналітика цифрових даних, розроблення та використання різних систем їх обробки, зберігання, передачі з метою, зокрема, прийняття за їх допомогою обґрунтованих рішень [3]. В умовах цифрової економіки людина буде більше управлінцем (особою, що приймає рішення), ніж виконавцем певних завдань.

Особа, що приймає рішення (ОПР), може застосовувати потужні засоби підтримки прийняття рішень, що містять різні сучасні економіко-математичні методи та моделі, а також штучний інтелект, що здатні за допустимий інтервал часу надати вичерпні рекомендації на основі великого масиву даних. Завдяки використанню різних цифрових технологій можливе значне скорочення часу прийняття рішень та підвищення їх обґрунтованості. Проте ефективно використовувати цифрові технології у процесах прийняття рішень здатна лише ОПР, яка, окрім іншого, володіє на належному рівні цифровими компетенціями, які можна умовно поділити за такими напрямками: інформаційна грамотність, комунікація та співпраця, створення цифрового контенту, безпека, вирішення проблем цифрового оточення [4]. Постійний розвиток інформаційно-комунікаційних та цифрових технологій вимагає також постійного розвитку, навчання (самонавчання) ОПР.

Наразі людина може приймати рішення у тісній співпраці з машиною (штучним інтелектом, системою підтримки прийняття рішень, чат-ботом тощо). Але в умовах цифрової економіки в багатьох випадках машина здатна замінити

людину повністю. Наприклад, холодильник, який самостійно (без втручання людини) замовляє необхідні продукти; елементи розумного будинку, які здатні самостійно виконувати хатні роботи; самокеровані транспортні засоби та безпілотні літальні апарати. Основою виробництва майбутнього є кіберфізичні системи та штучний інтелект, які здатні вирішувати низку питань виробництва за мінімального втручання людини або й без людини.

Інформація, яка циркулює в економіці та суспільстві і може бути використана для прийняття рішень, є структурованою, слабоструктурованою, неструктурованою. Неструктуровані дані за обсягом переважають значно інші дані [5]. Тому значна частина існуючих засобів підтримки прийняття рішень вимагають підготовки даних для їх подальшого використання, що збільшує час на прийняття рішень. Одним із способів вирішення цієї ситуації може бути застосування когнітивних технологій, зокрема, машинного навчання, обробки природної мови, семантичні обчислення тощо, завдяки яким швидкість та ефективність обробки інформації, а також обґрунтованість прийнятих рішень може зрости [5]. Тотальне оцифрування будь-якої інформації може звести практично до нуля часткову чи повну відсутність необхідної для прийняття рішення інформації. Тому, можна припустити, що в цифровій економіці поняття невизначеності у прийнятті рішень буде стосуватися виключно майбутнього як невизначеної події.

Додаткова та віртуальна реальності можуть значно покращити якість прийнятих рішень, зокрема, у логістиці та управлінні ланцюгами постачання, при проектуванні виробничих процесів, будівництві різних об'єктів, в медицині, рекламі, туризмі тощо).

Завдяки новим технологіям можна здійснювати швидке порівняння великої кількості альтернатив за різними критеріями вибору.

Зв'язок нового покоління, а також ноутбуки, смартфони, планшети дозволяють ОПР постійно бути «он-лайн» та відповідно приймати рішення без обов'язкового знаходження в офісі компанії (підприємства).

В подальших дослідженнях доцільно зосередитися детальніше на окреслених аспектах прийняття рішень в умовах цифрової економіки.

#### **Список використаних джерел**

1. Розпорядження Кабінету міністрів України «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації» від 17 січня 2018 р. № 67-р. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p>.

2. Мартин Н. Савченко С. «Індустрія 4.0»: що буде с ринком труда? URL: <http://www.dw.com/ru/индустрия-40-что-будет-с-рынком-труда/a-18993560>

3. Industry 4.0: Building the digital enterprise. URL: <http://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>

4. The Digital Competence Framework 2.0. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp/digital-competence-framework>

5. Як когнітивні обчислення змінюють правила гри в управлінні ризиками. URL: <https://www2.deloitte.com/ua/uk/pages/risk/articles/cognitive-computing.html>

УДК 681:32:638

<sup>1</sup>**А.А. Тимченко**

професор, д.т.н., професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу

<sup>2</sup>**В.Є. Снитюк**

професор, д.т.н., завідувач кафедри інтелектуальних і інформаційних систем

<sup>3</sup>**О.В. Єгорова**

к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних технологій проектування

<sup>1,3</sup>*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

<sup>2</sup>*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ: СИНТЕЗ, АНАЛІЗ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

**Вступ. Синтез, оптимізація, аналіз, моделювання, прийняття рішень (вибір варіанта та його оцінка), система.** В доповіді розглядаються результати системного аналізу становлення комплексу етапів дослідження виробничої діяльності людини. В результаті практичної діяльності в процесі розвитку виробничих сил формуються і розвиваються технологічні процеси матеріального, енергетичного, і на підсумок, інформаційного виробництва.

Підсумок цих процесів підводить концепція **індустрія 4.0**, визначаючи основні етапи індустріалізації виробництва, а саме:

- поява машин з використанням енергії пару;
- формування конвеєрного підходу та створення мереж;
- використання інформаційних технологій і, в першу чергу, комп'ютерних на базі ЕОМ (мережі);
- масове використання кіберфізичних систем у виробництві.

У доповіді узагальнена технологічна послідовність розглядається як система, на вхід якої подається інформація про соціальне замовлення, а на виході отримується бажане технологічне рішення.

З *системних* позицій процес функціонування такої системи характеризується показниками *ефективності*, а на виході – показниками *якості*. Наприклад, це можуть бути виробництва типу матеріального, енергетичного або інформаційного, а також економічна діяльність людини.

**Задача** системного аналізу є вибором шляхів вирішення **проблем** або **задач**, а також способів досягнення бажаних результатів (*цілей*).

**Метод** системного аналізу – це пізнання структурних зв'язків між елементами та структур самих елементів (підсистема – мережа).

На етапі синтезу (винахідництво, конструювання) відбувається, в першу чергу, системні архітектурні та структурні рішення, при цьому вивчається взаємодія системи



З математично-обчислювальної точки зору метод синтезу формується як задача *оптимізації*: частіше всього при впровадженні в реалізацію інформаційної технології задача формується як задача *системної* (альтернативної) оптимізації, коли можуть бути змінені всі складові підзадачі: *критерії, моделі, обмеження, параметри* [1].

Етап аналізу базується на моделюванні (макетуванні) на сучасних комп'ютерах. Часто це носить *системний* характер (системне моделювання, наприклад). Ясно, що на цих двох етапах відбувається наповнення (*підтримка*) процесу прийняття рішень, наступне оцінювання та вибір оптимального варіанту.

В доповіді показано, що така схема дозволяє сформулювати та обґрунтувати альтернативні шляхи досягнення *рішень* та оптимального варіанту кінцевого результату. При цьому, пропонується сформулювати так званий *аналітично-цифровий підхід* до інформаційних технологій.

Такий підхід дозволяє розглядати методологію життєвих *циклів існування* одного покоління систем, а також покращення показників наступних *поколінь*. Таким чином, індустріалізація виробництва та економічних процесів дозволяє підвищувати ефективність процесів та якість прийнятих рішень (якості життя, продукції, побуту, послуг).

Одним із аспектів системного аналізу є процеси *пошуку невідомого* – використання векторно-матричних технологій при дослідженні мережевих структур розвитку систем векторних рівнянь, так званих аналітичних цифрових технологій.

У процесах розвитку технології проходить етапи відповідно до концепції 4-х «І» або існуючих *інтелектуалізації, інформації, інтеграції та індивідуалізації* [2].

**Висновки.** Таким чином, шляхи розвитку окремих напрямків розглянутих у доповіді видів техніки доповнюють один одного, що дозволяє сформулювати відповідні спільні цілі та вимоги до їх досягнення, зосередивши увагу на підвищенні *ефективності* системних процесів та *якості* кінцевих *результатів* [3].

#### Список використаних джерел

1. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. – М.: Наука, 1982. – 552 с.
2. Скурихин В.И. О формулировании концепций. Концепция «четырёх И» / В.И. Скурихин // УСИМ. – 1989. – № 2. – С. 7-12.
3. Тимченко А.А., Снитюк В.С. Штучний інтелект в країні маятників / Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): праці міжнар. ІV НПК, 16-18 травня 2017р., Київ – Черкаси; наук. ред. В.Є. Снитюк. – К.: ВПЦ «Київський університет». – 2017. – С. 89-91.

# **Section 2**

**Mathematical models and  
methods of support  
making, optimization of  
decisions and their  
application**





UDC 519.8

**M.S. Dunaievskyi**

M. Sc., PhD student

*V.M. Glushkov Institute of cybernetics NASU, Kyiv*

## MODELING IMPACT OF DECENTRALIZATION ONTO ECONOMIC GROWTH AND STABILITY

**Introduction.** Decentralization is rather hard to measure influence factor. Therefore, should account for its direct influence on economic growth (due to better resources utilization at local level [1-3]) and its indirect relation to stability as well (for example somehow riskier local policies regarding finance borrowings) [4].

**Model.** For our research, augmented neoclassical model of economic growth could be used (1)[5]:

$$Y_{ct} = E_{ct} K_{p_{ct}}^{\alpha} K_{g_{ct}}^{\beta} K_{h_{ct}}^{\omega} L_{ct}^{\theta} \quad (1)$$

where  $ct$  is the observation at time  $t$  for some country  $c$ .  $Y$  – production output.  $K_p$ ,  $K_g$  and  $K_h$  – factors of private, government and human capital.  $L$  – labor factor. Also,  $\alpha, \beta, \omega, \theta > 0$  and  $\alpha + \beta + \omega + \theta \geq 1$ .  $E$  here aggregates influence of external factors. Particularly, traditional technological scale factor  $A$  and added variables  $D$  and  $S$  for decentralization and stability effects respectively (look at 2<sup>nd</sup> formula).

$$E_{ct} = A_{ct} D_{ct} S_{ct} \quad (2)$$

In our research stability itself is a function of decentralization and some other uncorrelated (or relatively weakly correlated) vector  $Ex$  of exogenous variables. under assumption that  $L$  and  $A$  grow exogenously at steady rates of  $n$  and  $g$  and capital depreciates at some level  $\sigma$ .

$$S_{ct} = g(D_{ct}, Ex_{ct}) \quad (3)$$

Another assumption is decreasing returns to scale of production output. Also, in long-run we will have convergence to constant capital-labor ratios.

Given formulas 1 and 2 could calculate steady state level of output per unit of labor  $y^*$ .

$$\begin{aligned} \ln(y_{ct}^*) &= \ln(A_{ct}) + \ln(D_{ct}) + \ln(S_{ct}) + \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(r_{ct}^p) + \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(r_{ct}^g) + \\ &+ \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(r_{ct}^h) - \frac{\alpha + \beta + \omega}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(n + g + \omega) \end{aligned} \quad (4)$$

where  $r_{ct}^p$ ,  $r_{ct}^g$  and  $r_{ct}^h$  ratios of output invested in private, public and human capital.

The speed of convergence to steady state per capita then could be calculated as following:

$$\frac{d(\ln(y_{ct}))}{dt} = \lambda(\ln(y_{ct}^*) - \ln(y_{ct})) \quad (5)$$

where  $\lambda = (n + g + \sigma)(1 - \alpha - \beta - \omega)$ . Finally, dynamic of output per capita is given as:

$$\ln(\dot{y}_{ct}) = \ln(y_{ct}) - \ln(y_{ct-1}) = (1 - e^{-\lambda t}) \left( \ln(D_{ct}) + \ln(S_{ct}) + \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(r_{ct}^p) + \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(r_{ct}^g) + \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(r_{ct}^h) - \frac{\alpha + \beta + \omega}{1 - \alpha - \beta - \omega} \ln(n + g + \sigma) - \ln(y_c^0) - e^{-\lambda t} \ln(A_c^0) - e^{-\lambda t} \ln(D_c^0) - e^{-\lambda t} S_c^0 \right) \quad (6)$$

**Conclusions.** Suggested model helps to investigate economic dynamics beyond steady-state equilibrium. Moreover, model effectively separates and properly calculates influence of institutional and production input factors. Functional form of 6<sup>th</sup> equation clearly shows and models direct and indirect (through stability channel) influence of decentralization on economic growth.

## References

1. Горбачук В.М., О.С. Макаренко, М.С. Дунаєвський, В.І. Новодережкін, С.-Б. Сулейманов Вимірювання економічної ефективності регіонів України за перші квартали 2017 р. Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку. – К.: Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, 2017. – С. 258–260.
2. Горбачук В.М., Любіч О.О. Соціально-економічний розвиток ХХ сторіччя: цілі, моделі, дані, стратегії, міри ефективності. Моделювання та інформатизація соціально-економічного розвитку України. 2010. Вип. 11. С. 3-27.
3. Горбачук В.М., Колесник Ю.С., Дунаєвський М.С. Втрати агрегованої ефективності при досягненні міжрегіональної рівності. Економіка та суспільство. 2018. Вип. 18. С. 1077–1086.
4. Barro, R. J. and Sala-i-Martin “Technological diffusion, convergence, and growth” Journal of Economic Growth, 2 (1): 1-26.
5. Mankiw, N. G., Romer, D. and Weil, D. N. “A contribution to the empirics of economic growth”, Quarterly Journal of Economics, 107 (2): 407-437.

UDC 519.8

<sup>1</sup>**T.Y. Ermolieva**

PhD, Research Scholar at IIASA

<sup>2</sup>**Y.M. Ermoliev**

Prof., Dr., Academician NASU, IIASA Research Scholar

<sup>3</sup>**L. Hoglund**

PhD, Research Scholar at IIASA

<sup>4</sup>**W. Winiwarter**

PhD, Research Scholar at IIASA

<sup>5</sup>**V. Gorbachuk**

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,

<sup>6</sup>**Р. Кнопов**

доктор фізико-математичних наук, завідуючий відділом

<sup>1-4</sup> *International Institute for applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria*

<sup>5-6</sup> *Glushkov's Institute of Cybernetics, National Academy of Sciences, Ukraine*

## **ROBUST DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE INTEGRATED TISZA RIVER BASIN NUTRIENTS MANAGEMENT UNDER CLIMATE CHANGE AND EXTREME PRECIPITATION EVENTS**

**Introduction.** The Tisza River Basin, with its total extent of 157,186 km<sup>2</sup>, is the largest sub-basin in the Danube River Basin. In 2011, the five Tisza River Basin countries Hungary, Romania, Serbia, Slovakia and Ukraine entered a new stage in joint transboundary water management to ensure good water quality. The Integrated Tisza River Basin Management Plan (ITRBMP) has been signed focusing on improving Tisza land and water quality and resource management, as well as exploring common approaches towards integrated water resource management in the Tisza River Basin. Particular attention is given to strategies for nutrient reduction, improvement of waste management, integration on land use and water management and reduction of accident risk. In the presentation, we discuss a model for nutrients pollution abatement and trading under uncertainties of anthropogenic and biophysical processes. Effective and robust controlling of nutrients emissions from agricultural activities is a challenging methodological issue for improving water quality in the river and nearby lakes. The variability of meteorological, hydrological, soil, etc. conditions is an intrinsic characteristics, which cannot be ignored in the analysis of the process or for the design of robust sustainable control measures. The proposed robust DSS is based on an earlier model of robust carbon trading markets [1], however it had to be substantially revised to include specifics of transboundary river water quality analysis. The DSS allows to investigate important tradeoff between maximizing (e.g. agricultural) profits and ensuring adequate water quality (i.e. environmental security) under uncertain weather events and nutrients pollution/emission rates. The emission rates are highly influenced by frequency, length, and intensity of precipitation events. The distribution of emission rates is significantly skewed thus precluding the analysis based on traditional deterministic

models, expected utilities, and mean-variance criteria, which may lead to wrong policy implications and induce further risks. The environmental security/water quality constraints are imposed in the form of probabilistic or chance constraints, which are also known as safety or reliability constraints, or Value-at-Risk and Conditional Value-at-Risk constraints. The probabilistic constraints define a nonconvex and possibly highly discontinuous optimization model requiring specific solution methods, implemented in the discussed model. To measure the benefits gained from adopting the robust nutrients management strategies, the Value of Stochastic Solution (VSS) was calculated. The proposed DSS advances methodology in the field of environmental and land resource economics and sustainable development by integrating a dynamical system model with a comprehensive methodology involving two-stage stochastic optimization under probabilistic (security) constraints [1,2,3]. The DSS closely relates to recent developments of the stochastic global land use model GLOBIOM investigating robust food, water, environmental, energy NEXUS under stochastic shocks and systemic risks. The developed nutrients dynamic accounting model is being integrated into the stochastic version of the GLOBIOM, thus allowing to design a tax rate (or permit price) for exceeding environmental constraints with guarantees on reliability. Restricting the risk of exceedingly high nutrients emissions by defining a permit price has high impact for policy design.

**Conclusions.** The results demonstrate that including uncertainty can significantly change the policy recommendations and bring considerable welfare gains if compared with policies based on traditional deterministic analysis disregarding weather variability. In areas with low water quality, the DSS demonstrates the need for more stringent measures to reduce water pollution. This work demonstrates that the adoption of stochastic optimization methods [3] in environmental economics can provide more robust policy prescriptions under uncertainty and risks, and environmental security constraints.

### References

1. Ermolieva, T., Ermoliev, Y., Jonas, M., Obersteiner, M., Wagner, F., Winiwarter, W. (2014). Uncertainty, cost-effectiveness and environmental safety of robust carbon trading: Integrated approach. *Climatic Change* 124(3):633-646.
2. Ermoliev, Y., von Winterfeldt, D. (2012) Systemic risk and security management. In: Ermoliev Y, Makowski M, Marti K (eds) *Managing Safety of Heterogeneous Systems*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 19-49.
3. Ermoliev, Y., Wets, R. (eds) (1988) *Numerical techniques of stochastic optimization*. Computational Mathematics, Berlin, Springer Verlag.

UDC 519.816

<sup>1</sup> **H.M. Hnatiienko**

Ph.D, Associate Professor

<sup>2</sup> **V.H. Hnatiienko**

student

<sup>1</sup>*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv*

<sup>2</sup>*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**HEURISTIC ALGORITHM FOR DETERMINING COMPROMISE RANKINGS ON A SET OF INDIVIDUAL EXPERT RANKINGS**

In practical tasks of various subject areas, it is often necessary to define the ranking of dozens and hundreds of objects. It is widely known that such problems are NP-difficult, and therefore the application of exact algorithms for problems of large dimensionality is impossible. In such cases, the use of heuristical algorithms is high-potential.

In the case when the  $n \gg 10$ , it is necessary to find a collective ranking of  $n$  objects. Expert group  $k$  sets its advantages on the set of objects  $A$ , using the form of strict rankings  $R^i, i \in I = \{1, \dots, k\}$ . We could write these rankings as such matrices of pair comparisons, where  $B^i = (b_{ij}^i), i \in I, l, j \in L = \{1, \dots, n\}$ . Elements of matrices  $B^i, i \in I$ , are defined as follows:

$$b_{ij}^i = 1 \text{ при } a_i \succ a_j \text{ та } b_{ij}^i = -1 \text{ при } a_i \prec a_j \text{ для } \forall i \in I, \forall l, j \in L. \tag{1}$$

Describing the heuristic algorithm for defining the resultant ranking  $R^*$  of a given set of rankings  $R^i, i \in I$ , we use the median of Kemeny-Snell [1]:

$$R^* = \arg \min_{R \in \mathfrak{R}} \sum_{i \in I} \sum_{l, j \in L} |r_{lj} - b_{lj}^i|, \tag{2}$$

where  $\mathfrak{R}$  – the set of all possible rankings of  $n$  objects, where  $r_{lj}, l, j \in L$ , – elements of the matrix, which are constructed according to the rules (1) of random ranking from a plurality  $\mathfrak{R}$ .

1. Write the upper superdiagonal triangular parts of such matrices, where  $B^i, i \in I$ , in the form of the rows of the new matrix:  $C = (c_{ij}), i \in I, j \in J = \{1, \dots, N\}, N = n * (n - 1) / 2$ . Elements of the matrix are defined as follows:  $c_{ij} = b_{it}^i, j = (l - 1) * n + t - l * (l + 1) / 2, 1 \leq l \leq t \leq n, i \in I$ .

2. Determine the metrizable matrix of priorities  $M = (m_{lt}), l, t \in I$ , whose elements are calculated as follows:  $m_{lt} = \sum_{\substack{i \in I, \\ c_{ij} \geq 0}} c_{ij} / \sum_{\substack{i \in I, \\ c_{ij} < 0}} |c_{ij}|, 1 \leq l \leq t \leq n, j \in J$ ,

where  $|x|$  – is the absolute value of the number  $x, l = \lfloor j / (n - \lfloor j / n \rfloor) \rfloor + 1, t = j - (l - 1) * n + l * (l + 1) / 2$ , where  $\lfloor x \rfloor$  – is the integer part of the number  $x$ . Thus, values are such:  $m_{ll} = 1 / m_{ll}, m_{ll} = 1, \forall t, l \in I$ .

3. Construct the unrelated matrix:  $P = (p_{ij}), i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, N$ , on the

basis reasoning from evaluation of all possible correlations between the three objects.

$$p_{1j} = m_{lt}, \quad j = (l-1)*n + t - l*(l+1)/2, \quad 1 \leq l \leq t \leq n,$$

$$p_{ij} = \begin{cases} m_{ls} / m_{ts}, & l < s, \quad s > t, \\ m_{ls} * m_{ts}, & l < s, \quad s < t, \\ m_{st} / m_{sl}, & l > s, \quad s > t, \end{cases} \quad (3)$$

$$s = 1, \dots, n, \quad s \neq l, s \neq t, \quad i = l+1, \quad l = 1, \dots, n-1, \quad t = l+1, \dots, n, \\ j = (l-1)*n + t - l*(l+1)/2.$$

4. For each index  $i=2, \dots, n$ , the replacement of one of the elements of the matrix  $M = (m_{lt}), l, t \in I$ , an element of the matrix  $P = (p_{ij}), i = 2, \dots, n, j = 1, \dots, N$ , if the elements do not match:  $m_{lt} \neq p_{ij}$ , for  $j = (l-1)*n + t - l*(l+1)/2$ .

5. For each next in turn matrix, which is generated as in paragraph 4, the weighting factors of each of the objects are defined due to the method of stripes or columns amounts, which is the standard of the computational simplicity of the definition of "weight".

6. Arrange the elements of the vector, which was obtained in paragraph 5, using the decreasing of the values. The indexes ordered by the decrement of the vector will be considered as the indexes of objects in the resulting ranking.

7. Determination of the sum of distances by the formula (2) – from the result of ranking to rankings that are set by experts, which was obtained in paragraph 6

8. Continue doing the procedures, which are described in paragraphs 4-7 until all modified matrices  $M = (m_{lt}), l, t \in I$ , will be calculated in the way of replacing the each next in turn element in the matrix  $P = (p_{ij}), i = 2, \dots, n, j = 1, \dots, N$ .

9. Obtained in this way, matrixes with the best structural criteria as it was defined in paragraphs 4-8, will be the part of the set of the median of Kemeny-Snell (1).

The author carried out experiments for matrixes of dimensions from 6x6 to 10x10, which means that several dozens of randomly ordered 5-6 objects are specified. Experiments with the using of the described method, which had well-tried and rigorous methods, yielded the following results:

- with weak analysis of the consistency of the matrixes given by experts, the set of effective solutions can be very large – the number of median of Kemeny-Snell for some profiles of advantages is up to 15% of the total number of rankings on a object set, id est up to  $0.15 * n!$ ;

- among the solutions found by means of the algorithm described above, using the method of direct sums up to 50% of the rankings of objects is the median of Kemeny-Snell, and with the application of the method of string amounts – up to 83%;

- the applicability of the described algorithm in some cases allows to find out up to 39% of the rankings that belong to the median of Kemeny-Snell set;

- among the compromise rankings, which were found with the help of the described algorithm of the form (2) up to 22%, are simultaneously GV-medians [1].

## References

1. G.M. Gnatyenko, V.Ye. Snytyuk. Expert decision making technologies. - K.:McLeot, 2008. -

UDC 519.925.51

<sup>1</sup> **Maryna Korobova**

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor

<sup>2</sup> **Victor Kulian**

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor

<sup>3</sup> **Olena Yunkova**

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor

<sup>1,2</sup> *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv*

<sup>3</sup> *Vadym Getman National Economics University of Kyiv, Kyiv*

## STOCK PORTFOLIO OPTIMIZATION UNDER RESTRICTIONS

**Introduction.** Problem of optimal portfolio diversification is considered. Based on mathematical models of the dynamics formation of the one share market value and optimal stock portfolio is determined the structure of optimal portfolio. Such models built in class of ordinary differential equations. Another problem is the choice of the stock portfolio expected of the same return, but the risk is less. For this purpose we use a set of acceptable and effective portfolios. This sequence of the algorithm steps allow consistently solve two optimization problems. In solving the problem of the portfolio diversification is a problem determining the moments of time, necessary to perform such diversification. In the research we constructed an algorithm for determining these points in time, based on the solution of the problem of optimal control. The use of this algorithm enables selection of optimal risk portfolio at a certain level it expected profitability. It uses efficient and acceptable set of investment portfolios.

For solving and analyzing applied portfolio investment problems there are a wide range of approaches [1], [3]. A significant part of them involves the active use of methods of technical analysis, which make it possible to determine the market value of the stock in the future. Such rules for constructing the forecast, due to the well-developed mathematical formalizations and approaches and relatively not complicated practical implementation, are actively developing and effectively applied not only in the stock market. The use of analytical methods of fundamental analysis allows us to answer the question: why the market value of a stock in the future will be just such? At present, due to the complexity of mathematical models in the study of the market pricing processes of stock market assets, the methods of fundamental analysis have not yet found effective development and constructive application. Principles for analyzing processes based on the development and application of mathematical modeling methods [2], [3] are obviously the most promising and devote much attention to the research.

In this paper an attempt to construct new fundamental approaches for solving portfolio investment problems, based on the application of methods of mathematical modeling of dynamic systems and the admissible and effective set of portfolio is made.



The purpose of the research is to develop analytical methods and computational procedures for solving the problem of two-criterion optimization of a portfolio of risky securities. The problems are presented in the formulation of G. Markovitz in the presence of quantitative and qualitative instrumental market constraints on the structure of the portfolio.

**Conclusion.** In this research new mathematical statements of optimization of stock portfolio structure are presented and methods of their solution are developed. Mathematical problems formulated on the basis of the dynamic models of market value of one share and portfolio of shares. That gives an opportunity to solve the problem of optimal diversification of the portfolio investments, taking into account of quantitative and qualitative market restrictions on the structure of the portfolio.

### References

1. Шарп У. Инвестиции / Уильям Ф. Шарп, Гордон Дж. Александер, Джеффри В. Бэйли. – Москва: Инфра-М, 1999. – 1027 С.
2. Kulian V.R. On modeling the dynamics of portfolio / Yunkova O.O., Korobova M.V. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, серія: фіз-мат. науки. – 2016. – № 1. – С. 109-112.
3. Гаращенко Ф.Г. Моделирование динамики и диверсификация портфеля акций / Кулян В.Р., Петрович В.Н., Юнькова Е.А. // Проблемы управления и информатики. – 2016. – № 4. – С. 124-132.

UDC 656.7.086 (45)

<sup>1</sup> **Y.M. Kovalyov**

Doctor of Techn. Sc., Prof., Head of Industrial Design Department

<sup>2</sup> **T.F. Shmelova**

Doctor of Techn. Sc., Professor, Professor of Air Navigation Systems Department

<sup>1</sup> *Mykhailo Boichuk Kyiv State Academy of Decorative Applied Arts and Design, Kyiv*

<sup>2</sup> *National Aviation University, Kyiv*

## **DECISION MAKING IN AIR NAVIGATION SOCIOTECHNICAL SYSTEM: EMERGING RESEARCH AND OPPORTUNITIES**

**Introduction.** Large-scale, high technology systems such as Air Navigation System (ANS) may be attributed to the Sociotechnical Systems (STS), in which the distinguishing feature is the presence of the hazardous kinds of activity as well as the use of the high-level technologies in production [1]. The activity of STS, is accompanied by a high degree risk of causing catastrophic outcomes. Statistical data show that human errors account for up 80 % of all causes of aviation accidents. Then more a human-operator (H-O) is trying to control a production process being aided by high-level technologies, especially in case of distant operation, then more non-transparent becomes the result of the operation of a system. Thus, increasing the compatibility of components STS is crucial to improving their efficiency. Care for compatibility should be not only when designing devices or selection of crews, but also at the stage of professional selection and training operation of the system, control of the status of operators, distribution of their functions, organization of the environment, which determines the systemic nature of the problem. One of the possible approaches to the solution of these problems is formalization and mathematical presentation of the ANS operators' activities on the base of the systemic analysis.

**Background.** Taking into account in the decision-making (DM) by a H-O besides the separate professional factors (knowledge, habits, skills, experience) also the factors of non-professional nature (individual psychological, psychophysiological and socio-psychological) [2] may to predict the H-O's actions on the basis of the reflexive theory and self-organization of complex systems. The effectiveness of aviation systems and the provision of flight safety depend primarily on the reliability of an H-O as well as his timely professional decisions. Nowadays in documents of International Civil Aviation Organization (ICAO) defined new added approaches for achieving the main goal of ICAO enhancing the effectiveness of global aviation security, and improving the practical and sustainable implementation of preventive aviation security measure. The Global Aviation Security Plan identifies five key outcomes for improving effectiveness, such as: enhancing awareness and response of risk; development of security culture and human capability; improving technological resources and foster innovation; improving oversight and quality assurance; increasing cooperation and support between states [3]. Quality of decisions

dependences from the development and using of innovative technology in aviation nowadays such as Artificial Intelligence (AI). Developing of AI in ANS as STS such as Expert system (ES), Decision Support Systems (DSS), are considering new concepts in aviation need with using modern information technologies and modern courses such as Data Science, Big Data, Data Mining, Multi-Criteria Decision Analysis, Collaboration DM, Blockchain, etc.

The purpose of the research is to present ways of optimizing compatibility in enhancing the effectiveness of STS and development decision-making models for aviation.

### **Main part.**

1. *The human factor.* Application of the theory of self-organization of complex systems to the study of the organization of human consciousness [1; 2; 3], along with traditional methods of studying the human factor, allows determining the channels of human interaction with the surrounding environment, their grouping, specific objects of perception of each channel, priorities and weight factors (Table 1).

Table 1 – Levels and channels of the surrounding world perception

Levels	Objects of perception	Characteristic of perception	Channels, structure and their number
1	Unity	Man and environment are not separate, but the possibility of separation potentially exists.	Intuition, 1
2	Separation	Awareness of a person as a self-sufficient whole	+ Ego (mind, homeostasis), 1
3	Impact and reaction	Impact on "not yourself", the response of the environment in response	+ Will (action-reaction) & Reason (good-bad), 2
4	Space and time	Organizing impacts on the environment and its reactions by space and time categories	+ Nous and emotions (tracing forms and changes), 2 <sup>3</sup>
5	Sensory impacts	Organizing the effects of the environment, internal and borderline sensations by color, sound, etc.	+ Feelings and emotions, 2 <sup>3</sup> ×5(?)
6-7	Tones of color, sound	Distinguishing between shades, tones, etc.	+ Feelings and emotions, 2 <sup>3</sup> ×5×8(?)

The relative maturity of each of the channels underlies the definition of psychotypes in populations, as well as the psychological portraits of individuals. To do this, a battery of tests, which consists of three groups, is used: projective tests for the assessment of the person as a whole (Rorschach, "Assessment of temperament", psycho geometric, etc.); test-polls for evaluation of individual qualities; tests of assessment of the current emotional state to clarify the reliability of the test results in the first two groups (scale of personal and situational anxiety, "Assessment of stress resistance of the individual"). All channels are present in all people; a single person may have several priority channels that should be taken into account when designing information display systems and management bodies.

2. *Display devices and controls.* The appropriate methods of coding in information display systems, as well as the organization of control devices are derived [2]. To assess the effectiveness of these recommendations, there are methods such as counting the duration of visual fixation; expert evaluation; measurement of

the speed and errors of the operator when working with a full-scale sample of the display system and control bodies. The response time of the operator can potentially be reduced by 3.5-4 times, with a significant reduction in the number of errors.

3. *Comfortable habitat.* For each of the psychotypes there are own requirements to the environment. In [2] possible stylistic solutions, specified for the design of dwelling, while people of different psychotypes live together, were obtained. Expert assessments have shown improvements in psychological comfort. It can be assumed that the implementation of such recommendations when designing a host environment will have positive effects - reduce fatigue, increase productivity, improve concentration, reduce the number of errors.

4. *Distribution of functions in group management.* Representatives of psychotypes play different roles in public life. Therefore, it is expedient to select operators for group work to perform the most natural functions for them, distribution of functions in a group of operators depending of the psychotype presented in [2].

5. *Monitoring the current status of operators includes the assessment of physiological and psycho-emotional indicators.* In this case, the use of the theory of self-organization is appropriate to determine the number and relationship of indicators, as well as the ability of the operator to respond to changes in the state of the system [2]. The determination of the emotional state is based on the measurement of physiological characteristics. In this case, research is required without interference in the conditions of the operator's activity.

6. *Decision making modelling.* Therefore, it is necessary to present ANS as STS and to applicate AI methods for development capacity of AN STS. Optimization models of DM in STS include deterministic and stochastic models of DM in STS by an H-O in emergency under conditions of stochastic reflexive bipolar choice too; neural network, Markov, GERT-models of DM; models of diagnosis of the emotional state of H-O in emergency; development and forecasting the emergency and preventing catastrophic situations.

The determined models for an H-O were obtained in accordance with the adopted technologies of H-O using network graph (Figure 1). In a real situation, the external factors affect the DM, therefore were presented the models of the DM in uncertainty and risk. In stochastic networks of the flight situation development of GERT type the tops are represented by stages of the situation (normal, complicated, difficult, emergency or catastrophic), and the arcs are represented by a process of transition between stages of the situation.

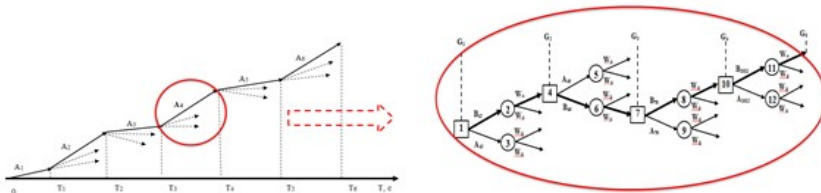


Figure 1 Deterministic and Stochastic models of DM in STS by an H-O in emergency

For example, let's analyze catastrophic situation development in bad weather conditions using the decision tree and stochastic network GERT. Based on the  $W$ -

functions of positive and negative of H-O choice the Markov's network of flight situations' development from normal to catastrophic and conversely was constructed (Figure 2).

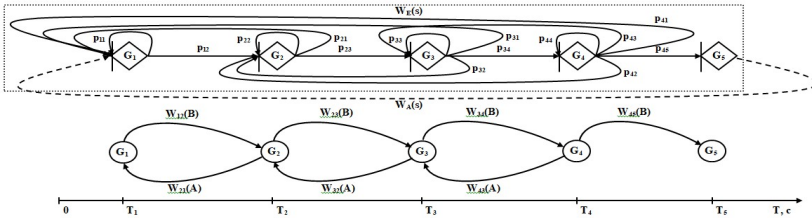


Figure 2 Stochastic models: GERT network, decision tree and Markov's network

The optimal solution can be found using the DM criteria in uncertainty - Wald, Laplace, Sevidge, Hurvits (Table 2).

Table 2 – Matrix of DM in uncertainty for landing in emergency

Alternative decisions		Factors influencing the DM $\{\lambda\}$					
$\{A\}$		Adequacy fuel, $\lambda_1$	Remoteness of the aerodromes, $\lambda_1$	Technical characteristics of runways of aerodromes, $\lambda_1$	Meteorological conditions at aerodromes, $\lambda_1$	Approach systems, $\lambda_1$	Air navigation charges, $\lambda_1$
$A_1$	$A_{dest}$	$u_{11}$	$u_{12}$	...	$u_{1j}$	...	$u_{1n}$
$A_2$	$A_{dep}$	$u_{21}$	$u_{22}$	$\{u\}$	$u_{2j}$	...	$u_{2n}$
$A_1$	$A_{alt}$	$u_{11}$	$u_{12}$	...	$u_{1j}$	...	$u_{1n}$
$A_n$	$A_{alt}$	$u_{m1}$	$u_{m2}$	...	$u_{mj}$	...	$u_{mn}$

7. Clarification of the requirements for professional selection and improvement of training programs. The tests listed in clause 1 may be used for professional selection.

**Conclusion.** The system of improvements of various aspects of the functioning of ergatic systems, based on increasing the psychological compatibility of its components, as well as the evaluation of the effectiveness of such measures, is proposed. Further work in this direction is related to experimental testing in the conditions of operation of systems, as well as the implementation of new concepts of disasters and their means of prevention, arising from the system approach.

**References**

1. International Civil Aviation Organization. (2004). Cross-Cultural Factors in Aviation Safety: Human Factors Digest № 16. Circ. ICAO 302-AN/175. Canada, Montreal: Author.
2. Shmelova, T., Sikirda, Yu., Rizun, N., Abdel-Badeeh M. Salem, Kovalyov, Yu., (2017) Socio-Technical Decision Support in Air Navigation Systems: Emerging Research and Opportunities, International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania. 305 P. DOI: 10.4018/978-1-5225-3108-1.
3. International Civil Aviation Organization. (2009) Manual on Global Performance of the Air Navigation System. Doc. 9883. (1st ed.) Canada, Montreal: Author.

UDC 004.825: 004.932.72'1

**N.Ye. Kulishova**

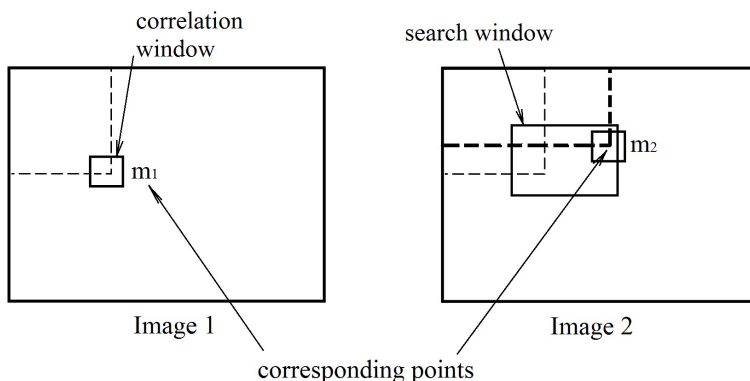
Ph.D., associate professor, professor

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv*

## USING THE EXTENDED MULTIDIMENSIONAL NEO-FUZZY SYSTEM FOR CORRESPONDING POINTS FINDING IN THE PROBLEM OF VISUAL TRACKING

**Introduction.** Dynamic video recognition is an actual problem important for many activity areas, such as object detection, augmented reality, emotion recognition and so on. Research has been going on for many years, however, the analysis of video sequences is complicated by the fact that for each frame it is necessary to find the region of interest, find features and determine their positions in the regions, and, in fact, perform higher orders processing. All these procedures are computationally expensive; many of them do not guarantee the necessary accuracy in real time. In this paper, the neuro-fuzzy system is proposed to determine the positions of the corresponding points in the task of visual tracking.

The visual tracking problem is to find the features positions in the images, which differ slightly from each other, as it is in video frames. The classification of methods to solving this problem [1] demonstrates their great diversity. The trackers basic principle is to search for similarities between features neighborhoods. Contour detectors, for example, SIFT [2] or Kanade-Tomasi [3], are used to find the features in the source frame. When an object moves, these characteristic points change their positions in the frame, but they remain projections of the same real object points. In the adjacent frames, these projections shifts for short distances. Around such pixels the correlation neighborhoods are formed (Fig. 1), they could be compared with each other in neighboring frames. If the similarity is large, they consider that the points  $m_1$  and  $m_2$  are projections of a real object same point, and they are called corresponding.



**Figure 1 - The search pattern of the corresponding points**

From a mathematical point of view, the procedure for finding a neighborhoods matching in two images is reduced to the task of classifying all the neighborhoods of the second image, when the class characteristics are given by the current correlation neighborhood from first image, and the number of this class found representatives should be equal to 1.

To solve this problem, a multidimensional extended neo-fuzzy system [4] is proposed. System inputs form a vector  $x(k) = (x_1^1(k), x_2^1(k), \dots, x_{N_1}^1(k), x_1^2(k), x_2^2(k), \dots, x_{N_2}^2(k))^T \in R^n$ , where  $(x_1^1(k), x_2^1(k), \dots, x_{N_1}^1(k))^T$  - neighborhoods from image 1 used as classification samples;  $(x_1^2(k), x_2^2(k), \dots, x_{N_2}^2(k))^T$  - neighborhoods from image 2 to be classified. The first layer of the system is formed by extended nonlinear synapses (ENS). For each class, n such synapses  $ENS_{j1}, ENS_{j2}, \dots, ENS_{jn}$  are used, the output signals of which are sent to summation blocks. All the synapses  $ENS_{ji}$  and adders form extended neo-fuzzy neurons (ENFN). ENFN output signals arrive at the system second output layer, formed by nonlinear softmax activation functions:

$$\text{soft max } u_j = \frac{\exp(u_j)}{\sum_{j=1}^m u_j}, \quad (1)$$

**Conclusions.** It is proposed to use an extended multidimensional neo-fuzzy system to corresponding points search in the problem of dynamic recognition through video. The high speed and accuracy of classification provided by the system make it especially useful for information processing in real time.

**References**

1. Smeulders W., Chu D. M., Cucchiara R., Calderara S., Dehghan A., Shah M. Visual tracking: an experimental survey. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2014. Vol. 36, no. 7. Pp. 1442–1468.
2. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features. Proceedings of the International Conference on Computer Vision 2. 1999. P. 1150–1157. doi:10.1109/ICCV.1999.790410.
3. Shi J., Tomasi C.: Good Features to Track. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 1994. Pp. 593–600.
4. Bodyanskiy Ye., Kulishova N., Chala O. The Extended Multidimensional Neo-Fuzzy System and its Fast Learning in Pattern Recognition Tasks. Data. 2018. 3, 63; doi:10.3390/data3040063.

УДК 519.6

<sup>1</sup> А.О. Антонюк

Канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент

<sup>2</sup> Н.Г. Антонюк

Канд. хім. наук, доцент, доцент

<sup>1</sup>Національний університет державної фіскальної служби України, м. Ірпінь, Київської області<sup>2</sup>Національний університет «Києво-Могилянська академія», м. Київ

## ДО МІНІМІЗАЦІЇ НА МНОЖИНІ МАТРИЦЬ

Вступ. При розробці моделей масопереносу в процесах адсорбції багатокомпонентних сумішей речовин із розчинів найбільш розповсюдженими вважаються два підходи. В першому з них моделі представляються у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь, яка має вигляд [1]

$$\dot{x} = B(\Phi(x) - x),$$

де  $x \in E^n$ ,  $\Phi(x)$  – відома вектор-функція рівноважних концентрацій,  $x$  – вектор концентрацій речовин,  $B$  – матриця ( $n \times n$ ). Аналіз закономірностей кінетики адсорбції та розробка методів розрахунку технології розділення сумішей речовин вимагають знання чисельних величин елементів саме матриці коефіцієнтів  $B$ . Задача ідентифікації матриці  $B$  може бути зведена до оберненої задачі, тобто до задачі мінімізації функції нев'язки

$$F(B) = \sum_{i=1}^N \|x_{i \text{ exp}} - x(t_i, B)\|^2$$

де  $x_{i \text{ exp}}$  – експериментально отримані значення концентрацій,  $x(t_i, B)$  – значення концентрацій, які отримуються як розв'язок системи рівнянь в моменти часу  $t_i$  при певних значеннях матриці  $B$ .

Проте елементи матриці  $B$  не можна обирати довільно. Це пов'язано з тим, що реальний процес повинен бути стійким в околі точки  $x^*$ , для якої  $\Phi(x^*) = x^*$ . Тобто в процесі мінімізації нев'язки матрицю  $B$  слід вибирати таким чином, щоб матриця (похідна правої частини системи)  $-B(\Phi'(x^*) - I)$  мала власні числа з позитивними дійсними частинами. Зрозуміло, що якщо вона буде позитивно визначеною, то така вимога буде автоматично виконуватися.

Нехай  $\{A\}$  – множина позитивно визначених матриць. Тоді, вважаючи, що існує  $(\Phi'(x^*) - I)^{-1}$ , для будь-якої матриці  $A \in \{A\}$  покладемо

$$B(A) = -A(\Phi'(x^*) - I)^{-1},$$

і бачимо, що матриця  $-B(A)(\Phi'(x^*) - I) = A$  буде завжди позитивно визначеною за способом побудови. Отже, задача мінімізації нев'язки тепер звелася до задачі мінімізації функції  $F(B(A))$  на множині позитивно визначених матриць.



Але обмеження такого типу неможливо задати традиційною постановкою, тобто у вигляді системи нерівностей. Уже для розмірності 3 звичайними обмеженнями позитивно визначену матрицю задати досить складно.

Інший підхід до моделювання процесів масопереносу пов'язаний із заданням густин дифузійних потоків компонентів суміші у вигляді узагальненого закону Фіка. В цьому випадку рівняння кінетики адсорбції будуть рівняннями з частковими похідними [2]. Тут надамо розв'язок такої системи рівнянь

$$\bar{x} = (I - \frac{6}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \exp(-\frac{m^2 \pi^2 t}{r_0^2} D))x_0,$$

де  $\bar{x}$  – середня по об'єму сферичної частинки радіусу  $r_0$  величина адсорбції,  $x_0$  – початкова концентрація речовин.

Як бачимо, він також містить матрицю  $D$ , яка також повинна бути позитивно визначеною як умова збіжності наведеного матричного ряду.

В [2] запропоновано метод параметризації множини позитивно визначених матриць  $\{A\}$ . Суть цього методу полягає у формулюванні конкретної чисельної процедури, яка дозволяє довільному вектору розмірності  $n^2$  ставити у відповідність позитивно визначену матрицю розмірності  $(n \times n)$ . Однак реалізація цього методу пов'язана з великими обчислювальними складнощами.

В даному дослідженні для методу [2] запропоновано декілька спрощених обчислювальних процедур, які дозволяють суттєво підвищити його ефективність.

#### **Список використаних джерел**

1. Михалевич В.С., Редковский Н.Н., Антонюк А.А. Некоторые методы минимизации на множестве неотрицательно определенных матриц // Кибернетика. - 1986. - № 6. – С. 84-97.
2. Антонюк А.А., Марутовский Р.М., Редковский Н.Н. Численное решение обратной задачи нестационарной массопроводности многокомпонентных смесей // Инженерно-физический журнал. – 1987. – Т. 53, №1. – С.113-117.

УДК 004.82

<sup>1</sup>А.В. Бакурова

д.е.н., професор, професор

<sup>2</sup>Е.В. Терещенко

к.ф.-м.н., доцент, доцент

<sup>1,2</sup>Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

## ОНТОЛОГІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

**Вступ.** При активному розвитку питань моделювання онтологій і оцінки їх якості [1,2] область моделювання метаонтології прийняття рішень, автоматизація в соціальній сфері, багатокритеріальна оцінка якості онтологій вимагають своєї розробки. Мета роботи полягає в побудові алгоритму формування онтології прийняття рішення як основи моделювання операцій і методів обробки знань в систем підтримки прийняття рішень (СППР).

**Результат.** Робота присвячена задачі використання онтологій при проектуванні СППР в областях, пов'язаних з людською діяльністю, тобто в соціальній сфері. У теорії штучного інтелекту під «онтологією» розуміють формалізацію знань в певній предметній галузі концептуальною схемою. Будемо розглядати прийняття рішень як процес, що відбувається за схемою, показаною на рис.1, де знаком « $\rightarrow$ » позначено відповідне бінарне відношення між суперкласами (СК).

СК Ситуація	$\rightarrow$	СК Формальна задача	$\rightarrow$	СК Множина альтернатив	$\rightarrow$	СК Агент	$\rightarrow$	СК Рішення
$\leftarrow$ Коректування								

### Рис.1. – Схема прийняття рішення

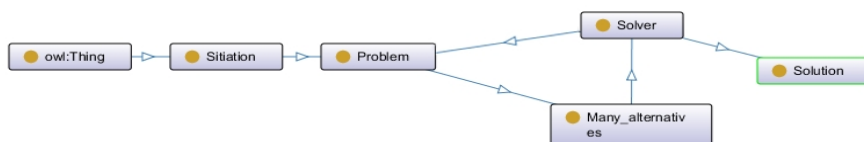
Визначимо онтологію прийняття рішення як трійку виду

$$O = (\{O^{form}\}, \{O^{alternative}\}, O^{choice}), \quad (1)$$

де  $\{O^{form}\}$  – множина предметних онтологій формалізацій задач,  $\{O^{altern}\}$  – предметні онтології побудови множини альтернатив,  $O^{choice}$  – онтологія вибору рішень з заданої множини альтернатив.

Наповнення предметних онтологій  $O^{form}$  й  $O^{altern}$  потребують роботи з певною предметною галуззю. Кожен представник  $O^{form}$  множини  $\{O^{form}\}$  онтологій формалізацій задач містить суперкласи «Ситуація» і «Формальна Задача», що знаходяться у відношенні Формалізація. Кожен представник  $O^{altern}$  множини  $\{O^{altern}\}$  онтологій побудови множини альтернатив містить суперкласи «Формальна Задача» й «Множина альтернатив», що знаходяться у відношенні «Продукція». Онтологія  $O^{choice}$  вибору рішень з певної множини альтернатив містить суперкласи «Множина альтернатив», «Агент» та «Прийняте рішення», відповідні відношення «Аналіз», «Вибір рішення». Для забезпечення зворотного зв'язку введено відношення Коректування: Агент  $\rightarrow$  Формальна задача. Суперклас «Ситуація» містить множину класів з інформацією стосовно певної предметної галузі та ситуації, в якій необхідно прийняти рішення. Суперклас

«Формальна Задача» складається з множини класів, які несуть інформацію про побудову формалізацій в певній предметній галузі. На цьому етапі задача прийняття рішень приймає вид кортежу  $\langle X, opt\_rule \rangle$ , де  $X$  - множина альтернатив,  $opt\_rule$  - критерій якості альтернативи. Суперклас «Множина альтернатив» містить множину класів з методами формування множини альтернатив  $X$  в певній предметній галузі. Суперклас «Агент» містить множину класів строгих та евристичних методів побудови визначаючих правил  $solv\_rule$  на множині альтернатив, а також клас «Суб'єкт прийняття рішення» з підкласами «ОПР» й «Автомат». Суперклас «Прийняте рішення» містить множину класів з інформацією про прийняте рішення в певній предметній галузі. На рис.2 побудовано онтологію прийняття рішення у вигляді онтографу графічним модулем GraphViz редактора Protégé [3].



**Рис.2. – Метаонтологія прийняття рішення у вигляді онтографу**

Загальний алгоритм побудови онтології прийняття рішення: 1) побудова метаонтології прийняття рішення; 2) побудова базової онтології вручну на основі аналізу текстів документів або статистичних даних; 3) багатокритеріальна оцінка якості базової онтології; 4) автоматизація розширення базової онтології новими знаннями з різних джерел за допомогою редактора Protégé; 5) інтеграція онтології з іншими онтологіями, що пов'язані за змістом.

**Висновки.** В побудованій метаонтології прийняття рішення (1) для онтологій  $O^{form}$ ,  $O^{altern}$ ,  $O^{choice}$  визначено класи та відношення. Введення відношення Коректування порушує питання про можливість та рівень автоматизації прийняття рішень для різних галузей. При наявності представника ОПР класу Агент прийняття рішення має суб'єктивний характер, тобто в прийнятті рішення приймає участь людина. Введення представника Автомат класу Агент автоматизує процес прийняття рішення.

#### Список використаних джерел

1. Черняховская Л. Р., Шкундина, Р. А., Нугаева, К. Р. Онтологический подход к разработке систем поддержки принятия решений // Вестник УГАТУ, - Доступно на: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/Vestnik/article/view/2027>
2. Vitor Basto Fernandes Ontologies Quality Assessment and Optimization University Institute of Lisbon (ISCTE-IUL) – Portugal [https://www.researchgate.net/publication/308646484\\_An\\_Ontology\\_of\\_Preference-Based\\_Multiobjective\\_Metaheuristics](https://www.researchgate.net/publication/308646484_An_Ontology_of_Preference-Based_Multiobjective_Metaheuristics)
3. New Protégé Short Course. Stanford Center for Biomedical Informatics Research. Stanford Univ., California, USA. (In English): <http://protege.stanford.edu/>.

УДК 519.837

<sup>1</sup> Л.В. Барановська

К.ф.-м.н., доцент

<sup>2</sup> Г.Г. Барановська

К.ф.-м.н., доцент

<sup>1,2</sup> КПП ім. Ігоря Сікорського, Київ

## ПРО ІНТЕГРО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ ІГРИ ПЕРЕСЛІДУВАННЯ З ЧИСТИМ ЗАПІЗНЕННЯМ

Розглядається задача переслідування для квазілінійних динамічних інтегро-диференціальних систем з чистим запізненням

$$\dot{x}(t) - \int_{-h}^0 x(t + \theta) d_{\theta} G(t, \theta) + \varphi(t, u, v), \quad (1)$$

де покладемо

$$G(t, \theta) = \begin{cases} -B, & \theta = -h, \\ 0, & -h < \theta \leq 0, \end{cases}$$

$B$  – постійна квадратна матриця порядку  $n$ ;  $x \in R^n$ ;  $0 \leq h < \infty$ ;  $U, V$  – непорожні компакти;  $\varphi: U \times V \rightarrow R^n$  і неперервна за сукупністю змінних;  $u$  і  $v$  – параметри керування переслідувача та втікача відповідно.

Початковим станом системи (1) є дійсна функція

$$z(t) = z^0(t), \quad (2)$$

$z^0(t)$  абсолютно неперервна на  $[-h; 0]$ .

Задано циліндричну термінальну множину

$$M^* = M_0 \cup M, \quad (3)$$

де  $M_0$  – лінійний підпростір з  $R^n$ ,  $M$  – непорожній компакт з ортогонального доповнення  $L$  до  $M_0$  в  $R^n$ .

Метою переслідувача ( $u$ ) є виведення траєкторії процесу (1), (2) на термінальну множину (3) за найкоротший час; метою втікача ( $v$ ) – відхилитися від зустрічі з множиною (3). Для розв'язування задачі переслідування застосовується метод розв'язуючих функцій [1]. Для даної задачі запропоновано використання інтегрального представлення розв'язку на основі запізнюючого експоненціалу [2, 3]. Дано достатні умови завершення гри.

### Список використаних джерел

1. Chikrii A.A. Conflict-Controlled Processes. Springer Science & Business Media, 2013. P.455.
2. Baranovska, L.V. Quasi-Linear Differential-Deference Game of Approach. Understanding Complex Systems, 2019. P.505–524.
3. Lesia V. Baranovska. Pursuit differential-difference games with pure time-lag. Discrete & Continuous Dynamical Systems - B, 2019. v. 24. № 3. P.1021–1031.

УДК: 519.866: 330.4

<sup>1</sup>**Бєбко І.С.**

Студент

<sup>1</sup>**Кудін В.І.**

Старший науковий співробітник, д.т.н.

<sup>1</sup>**Онищенко А.М.**

Доцент, д.е.н.

<sup>1</sup>**Ростомян Е.С.**

Студент,

<sup>1</sup>*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

## **АЛГОРИТМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ БАЗИСНИХ МАТРИЦЬ У ДОСЛІДЖЕННІ МАТРИЧНИХ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ**

**Вступ.** Відомо, що процеси різної природи (зокрема, еколого-економічні) математично подаються лінійними системами. Зокрема, моделлю Леонт'єва-Форда, що містить структурні особливості у вигляді блочно-діагональної структури матриці обмежень [1-2]. Звичайно, що зміни в одних блоках матриці обмежень впливають на результуючі властивості моделі. Методи дослідження таких систем, як лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) в ряді згаданих задач є основоположними [3-5].

Поставимо задачу, на основі балансової схеми “витрати-випуск” [2] як основоположної моделі для врахування витрат на виконання обмежень за Паризькою угодою [1], розробити механізм оцінки групових змін в довільному квадранті матриці обмежень.

Технологія аналізу впливу групових змін в моделі (в довільному квадранті матриці обмежень) ґрунтується на алгоритмі методу базисних матриць (МБМ) [3]. Алгоритм методу - конкретизація методу базисних матриць до аналізу розв'язності лінійних систем рівнянь, зокрема, з квадратною матрицею обмежень [4-5].

Особливості організації методу базисних матриць:

- від релаксованої допоміжної системи послідовно в ході ітерацій переходимо до заданої;
- елементи допоміжної системи використовуються як стартові при застосуванні алгоритму;
- застосовуваність схему аналізу для задач, що передбачають багатокроковість (багаторазовість розрахунків) на моделях з незначними змінами;
- ідеологія сімплексних перетворень (Теорема 1 [3]) може бути застосовувана для аналізу виродженості, встановлення величини рангу та розв'язку тощо.

Введемо в розгляд блочну матрицю  $A$  вигляду

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1q} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2q} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ A_{p1} & A_{p2} & \dots & A_{pq} \end{pmatrix}$$

яка містить  $p \times q$  “підматриць” матриці  $A$ .

Досліджено зв'язки елементів методу, зокрема, обернених матриць та розв'язків при збуренні в блоці  $A_{ij}$ , де  $i \in P$ ,  $j \in Q$ ,  $A_{ij} \subset A$ .

Встановлено, що при збуренні в елементах блоку  $A_{ij}$ , де  $i \in P$ ,  $j \in Q$ ,  $A_{ij} \subset A$  елементи МБМ при обчисленні зазнають спрощень.

Аналогічно, при збуренні в елементах декількох блоків рядка  $r$ ,  $r \in J_i$ ,  $A_{ij}$ , де  $i \in P$ ,  $j \in Q_0 \subset Q$ ,  $A_{ij} \subset A$  елементи методу при обчисленні також зазнають спрощень.

**Висновки.** Результуючий вплив збурень в блоці  $A_{ij}$ , де  $i \in P$ ,  $j \in Q$ ,  $A_{ij} \subset A$  визначається після проведення відповідних ітерацій МБМ за кількістю рядків  $r$ ,  $r \in J_i$ , в яких елементи методу при обчисленні зазнають спрощень згідно теореми 1 [3].

Неважко переконатись, що наведена формалізація подання матриці обмежень (як блочної структури) наглядно вказує порядок застосування алгоритмів [4-5] врахування впливу змін. Проведено обчислювальний експеримент на модельній задачі.

#### Список використаних джерел

1. Рамочная Конвенция ООН об изменении климата / Организация объединенных наций, 1992. – 30 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/convrn.pdf> (дата обращения 05.03.2007). – Загл. с экрана.
2. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика / В.В. Леонтьев. – М.: Экономика, 1997. – 479 с.
3. Кудин В.И., Ляшко С.И., Хритonenко Н.В., Яценко Ю.П. Анализ свойств линейной системы методом псевдобазисных матриц// – Кибернетика и системный анализ. — 2007. — N 4. — С. 119–127.
4. A.Onyshchenko O. Voloshin, V. Kudin, L. Khrushch Formation of prioritiness of national mezo-economical politics under the conditions of implementation on of the Paris agreements// International journal “Information Models and Analyses”, Volume 6, Number 1, 2017, p.68-83
5. O.Voloshin, V. Kudin, A.Onyshchenko, Y. Tverdokhlib Analisis of influence of implementation of inter-national environmental restrictions on energy efficiency in means of national economy branch// International Journal “Information Theories and Applications”, Vol. 25, Number 2, © 2018, p 17-32

УДК 51.74

<sup>1</sup> **Т.В. Белых,**

к.тех.н., инженер-программист I категории;

<sup>2</sup> **Е.В. Губий,**

старший инженер;

<sup>3</sup> **В.И. Зоркальцев,**

д.т.н. профессор, главный научный сотрудник.

<sup>1</sup> *Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины.*<sup>2,3</sup> *Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН.*

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Изложены модели для анализа и синтеза надежности энергоснабжения из источников, для которых характерны сильные действия случайных факторов.

Такими источниками являются возобновляемые источники энергии, такие как биомасса, выращиваемая на энергетических плантациях, ветер, солнце и др. Как правило, случайность возникает из-за непредсказуемых природно-метеорологических условий (колебания температуры воздуха, силы ветра, солнечной радиации).

Случайные отклонения возможны в потребности  $Q_v$  и производстве  $R_v$  топлива. Также случайной величиной являются переходящие запасы энергии  $s_v$ . Если в какой-то из периодов потребление энергии оказывается ниже среднего значения и (или) объем произведенной энергии оказывается выше среднего ожидаемого значения, то производство энергии в данном периоде может превысить потребность. Тогда разница между объемами производства и потребления переходит в качестве запаса в следующий период.

В качестве средств обеспечения надежности энергоснабжения рассматриваются создание резервов мощности в производстве энергии  $\gamma$  и создание накопителей энергии емкостью  $z$ . Величины  $\gamma$  и  $z$  являются оптимизируемыми показателями.

Для анализа и синтеза надежности энергоснабжения отдаленных населенных пунктов рассматривается система последовательно вложенных моделей (рис. 1).

### **Имитационная модель функционирования системы энергоснабжения.**

Обозначим  $u_v$  остатки запасов энергии на конец периода. Величина запасов, на начало следующего периода, определяется, исходя из известной величины остатков предыдущего периода:

$$s_v = \min \{ (1 - \alpha) \cdot u_{v-1}; z \}, \quad v = 0, \dots, V. \quad (1)$$

В этом выражении учитываются потери при хранении энергии  $\alpha$  и ограниченность емкости накопителя запасов энергии  $z$ .

Величина располагаемых ресурсов энергии определяется как сумма произведенной энергии и запасов, перешедших из предыдущего периода

$$RR_v = R_v + s_v. \tag{2}$$

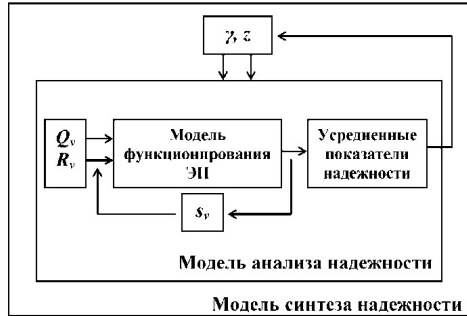


Рис. 1. Система вложенных моделей анализа и синтеза надежности энергоснабжения ( $\gamma$  – резерв мощности,  $Z$  – емкость накопителей,  $s_v$  – запасы энергии в накопителях,  $R_v$  – объем производства энергии,  $Q_v$  – потребность в энергии,  $v$  – номер итерации, где  $v = 0, \dots, V$ )

Величина дефицита определяется по формуле

$$D_v = (Q_v - RR_v)_+. \tag{3}$$

В тех случаях, когда потребность превышает располагаемые ресурсы, образуется дефицит энергии. Иначе дефицит равен нулю.

Остаток энергии образуется в случае, когда потребность в энергии меньше располагаемых ресурсов:

$$u_v = (RR_v - Q_v)_+. \tag{4}$$

**Модель анализа надежности энергоснабжения** основывается на многократной имитации функционирования системы энергоснабжения.

Обозначим  $v = 0, \dots, V$  номер итерации имитации. После прохождения всех итераций рассчитываются обобщающие показатели надежности и усредненных затрат энергоснабжения, такие как математическое ожидание дефицита, оценка вероятности появления дефицита, математическое ожидание суммы затрат на обеспечение надежности энергоснабжения и ущербов от дефицита.

В **модели синтеза надежности** критерием оптимизации является минимизация математического ожидания суммы затрат на обеспечение надежности энергоснабжения и ущербов от дефицита  $F(\gamma, z)$ . Ее значение рассчитывается на модели анализа надежности энергоснабжения.



УДК 519.83

<sup>1</sup> **Н. Бойко**

Аспирантка

<sup>2</sup> **С. Доценко**

Кандидат физ-мат наук, доцент.

<sup>1,2</sup> *Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

## О ВЗАИМНОМ СТРАХОВАНИИ ФИНАНСОВЫХ РИСКОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ

Рассматривается задача взаимодействия двух проектов с целью обоюдного сглаживания финансовых рисков. Для решения данной задачи применяется математический аппарат кооперативной теории игр, в частности, арбитражная схема Калаи-Смординского.

Пусть доходы двух проектов независимы и, согласно некоторым экспертным оценкам, имеют известные значения математического ожидания и дисперсии:  $\Pi_1(m_1, d_1)$ ,  $\Pi_2(m_2, d_2)$ .

Пусть менеджеры проектов заключают между собой взаимное соглашение о том, что они отдают друг другу заранее оговоренную долю от своих потенциальных доходов. Целью такого взаимообмена является взаимное страхование, при котором каждый из проектов стремится уменьшить дисперсию доходов при неизменном среднем значении, что по сути является взаимным страхованием.

Рассмотрим данный механизм обмена. Не нарушая общности рассуждений, предположим, что  $m_1 \leq m_2$ . Пусть  $\frac{m_1}{m_2} = \alpha$ , тогда  $0 < \alpha \leq 1$ .

Пусть менеджеры проектов заключают взаимное соглашение о том, что первый проект отдает второму часть  $t$  своих будущих доходов, а взамен получает  $\alpha t$  от доходов второго проекта, где  $0 \leq t \leq 1$ . Тогда средние доходы обоих проектов не зависят от  $t$  и равны их средним значениям:

$$M_1(t) = m_1(1-t) + m_2\alpha t = m_1, \quad M_2(t) = m_2(1-\alpha t) + m_1 t = m_2$$

а дисперсии доходов равны соответственно

$$D_1(t) = d_1(1-t)^2 + d_2\alpha^2 t^2, \quad D_2(t) = d_1 t^2 + d_2(1-\alpha)^2$$

Нужно найти значение параметра  $t^*$ , при котором одновременно уменьшались бы значения обеих дисперсий  $D_1(t)$ ,  $D_2(t)$  и которое было бы в некотором смысле справедливым по отношению к обоим проектам. Одним из возможных реализаций нахождения справедливого решения является применение арбитражной процедуры Калаи-Смординского.

Для того, чтобы к переговорной схеме применить данную арбитражную процедуру, необходимо задать множество Парето-оптимальных исходов, точку несогласия и идеальную точку. В данном случае множество Парето-оптимальных исходов задается как параметрическая кривая  $x = D_1(t)$ ,  $y = D_2(t)$ ,  $t \in [0; 1]$ , в качестве точки несогласия следует взять исход,

имеющий место в результате несостоявшихся переговоров (или status quo), т.е.  $\bar{Dis}=(d_1;d_2)$ , при этом первая компонента идеальной точки всегда равна  $D_1(t_1^*)=\frac{\alpha^2 d_1 d_2}{d_1 + \alpha^2 d_2}$ , а вторая компонента равна  $D_2(t_2^*)=\frac{d_1 d_2}{d_1 + \alpha^2 d_2}$  либо же  $d_1 + (1-\alpha)^2 d_2$ , если  $\alpha(1-\alpha)d_2 < d_1$  либо  $\alpha(1-\alpha)d_2 \geq d_1$  соответственно.

Тогда точкой решения в арбитражной схеме будет пересечение отрезка  $[\bar{Id}; \bar{Dis}]$  и параметрически заданной кривой  $(D_1(t); D_2(t))$ ,  $t \in [0;1]$ .

В случае  $\alpha(1-\alpha)d_2 < d_1$  значение компромиссной точки выражается простой формулой  $t^* = \frac{2\alpha d_1 d_2}{(d_1 + \alpha^2 d_2)(d_1 + \alpha d_2)}$ .

Если к тому же  $d_1 = \alpha d_2$ , то  $D_1(t) = [\alpha(1+\alpha)t^2 - 2\alpha t + \alpha]d_2$ ,  $D_2(t) = [\alpha(1+\alpha)t^2 - 2\alpha t + 1]d_2$ , тогда  $D_2(t) = D_1(t) + (1-\alpha)d_2$ , т.е.  $D_1(t), D_2(t)$  отличаются на константу и имеют общую точку минимума  $t_1^* = t_2^* = \frac{1}{1+\alpha}$ , причем  $D_1(t^*) = \frac{\alpha^2}{1+\alpha}d_2$ ,  $D_2(t^*) = \frac{1}{1+\alpha}d_2$ .

В данном случае переговорное множество  $(D_1(t); D_2(t))$  представляет собой отрезок, соединяющий точки  $Dis(\alpha;1)$  и  $Id\left(\frac{\alpha^2}{1+\alpha}; \frac{1}{1+\alpha}\right)$  и при  $t = \frac{1}{1+\alpha}$  достигается идеальная точка. Это редкий случай, когда идеальная точка принадлежит переговорному множеству, поэтому, безусловно, нужно выбирать ее.

**Список использованных источников**

1. Kalai E., Smorodinsky M. Other solution to Nash's bargaining problem. *Econometrica*. 1975. Vol. 43, p. 513-518.

УДК 519.8

**А.Ю. Брила**

к. ф.-м. н., доц., доц. каф. системного аналізу та теорії оптимізації

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород

**ЗНАХОДЖЕННЯ ДОСЯЖНИХ ОПТИМАЛЬНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ ПАРЕТО-ПАРЕТІВСЬКИХ ЗАДАЧ З ІНТЕРВАЛЬНИМИ ОЦІНКАМИ**

Розглядається задача парето-паретівської оптимізації, складові цільової функції якої та обмеження допустимої множини можуть містити інтервальні оцінки. При цьому інтервал задається за допомогою впорядкованої пари чисел

$$A = \langle a_C, a_W \rangle,$$

де  $a_C \in \mathbf{R}$  є центром інтервалу, а  $a_W \in \mathbf{R}$  є шириною інтервалу. Центр інтервалу представляє очікуване значення параметра, а ширина інтервалу представляє невизначеність параметра [1,2]. Використовується звичні правила виконання арифметичних операцій [1]. Будемо вважати, що змінні є цілочисловими і на них накладено умову невід'ємності. Для порівняння використовується правило, що запропоноване у [2]. Згідно з цим правилом для будь-яких двох  $A = \langle a_C, a_W \rangle$  і  $B = \langle b_C, b_W \rangle$  інтервал  $A$  є менш прийнятним ніж  $B$

$$A \prec_{=} B \text{ якщо } \begin{cases} a_C < b_C \text{ для } a_C \neq b_C \\ a_W \geq b_W \text{ для } a_C = b_C \end{cases}, \quad A = B \text{ якщо } \begin{cases} a_C = b_C \\ a_W = b_W \end{cases}.$$

У [3] доведено, що розглядувану задачу парето-паретівської оптимізації можна звести до еквівалентної їй задачі паретівської оптимізації з інтервальними оцінками. Використовуючи ж підхід аналогічний до [4,5], дану задачу можна звести до звичайної задачі парето-лексикографічної оптимізації з дійснозначними коефіцієнтами [3], яку у свою чергу можна розв'язати відомими методами [3].

**Список використаних джерел**

1. Lodwick, W. A. "Interval and fuzzy analysis: An uni. ed approach" , in Advances in Imagining and Electronic Physics, P. W. Hawkes, Editor, Volume 148, Elsevier Press, 2007, pp. 75-192

2. B.Q. Hu, S. Wang, *A novel approach in uncertain programming Part I: New arithmetic and order relation for interval numbers*, J. Ind. Manag. Optim. 2 (4) (2006) 351–371.

3. Червак Ю.Ю. Оптимізація. Непокращуваний вибір/Ю.Ю. Червак – Ужгород: Ужгород. нац. ун т, 2002.– 312с.

4. Bryla, A. On Solving an Optimization Problem with Interval Coefficients /A.Bryla // Optimization Methods and Applications. – 2017. – Vol.130 – P.57-74.

5. Брила А.Ю. Про одну задачу лексикографічної оптимізації з інтервальними оцінками/ А.Ю. Брила // Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. Матем. і інформ. – 2018. – Вип. 1 (32). – С. 54–60.

УДК 51.74

<sup>1</sup> **И.В. Бычков,**

Академик РАН, научный руководитель Иркутского научного центра СО РАН

<sup>2</sup> **В.И. Зоркальцев,**

д.т.н. профессор, главный научный сотрудник

<sup>3</sup> **Е.Н. Кузванова,**

к.б.н., заместитель директора Байкальского музея Иркутского научного центра СО РАН

<sup>4</sup> **И.В. Мокрый,**

к.т.н., главный специалист по информационным технологиям

<sup>1</sup> *Иркутский научный центр Сибирского отделения РАН*

<sup>2,4</sup> *Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,*

<sup>3</sup> *Байкальский музей СО РАН,*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

В данном докладе планируется дать информацию об озере Байкал, о его необычайных природных ресурсах, уникальной экосистеме. Это самое глубокое озеро на планете. Из Байкала ежегодно вытекает 60 кубокилометров самой чистой в мире воды. И это составляет всего лишь одну четырехсотую часть запасов воды Байкала. Ежедневно из Байкала вытекает примерно по 25 литров воды на каждого жителя планеты, чего достаточно что бы напоить, накормить и отмыть все человечество.

Байкал – уникальная, огражденная от всего мира лаборатория биологической эволюции. Он обладает уникальным биологическим разнообразием. В Бакале на данный момент открыто более 1000 растений из них 30% эндемики. Имеется более 2500 видов и подвидов животных, из которых 60% эндемики.

Будет представлена разрабатываемая авторами технология поэтапного моделирования функционирования экосистемы озера, результаты ее применения. Особое внимание планируется уделить задачам оценки параметров жизнедеятельности отдельных видов организмов, их трофических взаимодействий на основе располагаемых (не полных, не точных, одновременных, косвенных, избыточных, противоречивых) данных, с использованием балансовых, энергетических и динамических уравнений моделей.

Детально будут представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований методов аппроксимации и оценки параметров по располагаемым данным в двух направлениях.

1. Сравнительный анализ методов оценки параметров на основе вычислительного эксперимента. Этот подход базируется на использовании многократной имитации методом статистических испытаний возможных исходных данных. На этих имитируемых данных осуществляется оценка

параметров изучаемым методом. Обработка результатов таких многократных имитаций позволяет точно определять наличие и величину смещения математического ожидания оценок данным методом, степень разброса значений оценок, вероятностей попадания в заданный квантиль и другие характеристики метода для конкретных конечных выборок.

2. Изучение свойств и взаимосвязей решений задач аппроксимации на основе конкурирующих подходов. В том числе с использованием октаэдральной, евклидовой, гельдеровской, чебышевской аппроксимации. Будут представлены результаты исследований влияния выбора весовых коэффициентов при компонентах векторов в соответствующих нормах на получаемые результаты. Будет представлен алгоритм чебышевской аппроксимации не нуждающийся в трудно проверяемом и иногда нарушаемом условии Хаара. Алгоритм базируется на использовании лексикографической оптимизации алгоритмами, вырабатывающими относительно внутренние точки оптимальных решений.

Доказано, что множество гельдеровских проекций начала координат на линейное многообразие, замыкания множеств евклидовых проекций, гельдеровских проекций, чебышевских (при указанном выше особом алгоритме) проекций совпадает с множеством векторов линейного многообразия с парето-минимальными абсолютными значениями компонент.

Таким образом, любая (при любых весовых коэффициентах в используемой норме) чебышевская или октаэдральная проекции точки на линейное многообразие может со сколь угодно точностью получена как евклидова проекция за счет выбора весовых коэффициентов в евклидовой норме (т.е. может быть получена с любой требуемой точностью методом взвешенных наименьших квадратов).

Установлено, что множество векторов линейного многообразия с парето-минимальными абсолютными значениями компонент является ограниченным, замкнутым, связным, возможно (для пространства размерности более четырех) невыпуклым.

Представлены аналогичные результаты для более общего случая, когда вместо линейного многообразия рассматривается выпуклый полиэдр (множество решений системы линейных уравнений и неравенств).

УДК 62-50

<sup>1</sup>Є.П. Гомозов

к.ф.-м.н., доцент, доцент

<sup>2</sup>Т.С. Заїка

Асистент

<sup>1,2</sup>Національний технічний університет «ХПИ», м. Харків

## МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ПОРТФЕЛЮ ДЕРИВАТИВІВ НА ЕНЕРГОРИНКУ НА «ДОБУ ВПЕРЕД»

**Вступ.** Ринок електроенергії «на добу вперед» має форму аукціонів цінових заявок, які за добу до реального часу поставок подають покупці та продавці організатору аукціону. Покупці заявляють бажані об'єми споживання та максимальні ціни, які вони готові сплатити. Продавці заявляють об'єми та мінімальну ціну, за котру вони згодні продати електроенергію. Аукціон є закритим у тому сенсі, що ні покупці, ні продавці не мають інформації про пропозиції інших учасників і, таким чином, не в змозі спрогнозувати ціни та об'єми. Особливістю ринку електроенергії «на добу вперед» є урахування таких обмежень: системні обмеження, пропускні можливості мережі, втрати електроенергії та мережева структура зв'язків. Тому у кожному з вузлів виникає своя рівноважна ціна. Одним із засобів хеджування ризиків є використання деривативів. Відомо, що моделі оцінки деривативів на звичайних фінансових ринках, погано працюють на ринках електроенергії.

**Постановка задачі.** Розробити модель оцінки хедж-портфелю продавця з ф'ючерса на поставку фіксованого об'єму електроенергії та пут-опціону на поставку додаткового об'єму.

**Математична модель.** Враховуючи особливості функціонування ринку «на добу вперед», запропоновано таку модель:

$$D_{a+}^{\alpha} V(S, t) = \sigma^2(S) D^{\beta} V(S, t) + V_s(S, t), \text{ де:}$$

$D_{a+}^{\alpha}$  - дробова похідна Рімана-Ліувілля,  $\alpha \in \mathbb{C}$ ,  $\operatorname{Re} \alpha$  - індикатор оптимальної довжини сканування ряду цін 1 МВт електроенергії [1],  $\operatorname{Im} \alpha$  - дата виконання пут-опціону,  $a$  - мінімальна ціна пропозиції 1 МВт на момент початку дії ф'ючерса,  $S$  - ціна поставки електроенергії,  $t$  - час,  $V = V(S, t) \in \mathbb{C}$ ,  $\operatorname{Re} V$  - ціна ф'ючерса,  $\operatorname{Im} V$  - ціна пут-опціону,  $\sigma^2(S)$  - дисперсія,  $D^{\beta}$  - дробова похідна Рісса,  $\beta \in \mathbb{R}$  показник Герста ряду цін 1 МВт електроенергії,  $V_s(S, t)$  - частинна похідна.

**Висновок.** Запропоновано нову модель оцінки портфелю деривативів на ринку «на добу вперед».

### Список використаних джерел

1. Лебедев А.В., Орлов Ю.Н., Шагов Д.О. Индикатор оптимальной длины сканирования нестационарного временного ряда Препринты ИПМ им. В.М. Келдыша. 2013. №17. 16 с. URL: [http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013\\_17](http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013_17).

УДК 62-50

<sup>1</sup>Є.П. Гомозов

к.ф.-м.н, доцент, доцент

<sup>2</sup>М.В. Мезерна

Старший викладач

<sup>1,2</sup>Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

## СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ ТА КРАХІВ ФІНАНСОВИХ РИНКІВ

**Вступ.** Сучасний глобальний фінансовий ринок працює в режимі реального часу, має фрактальний устрій, неоднорідні структури фінансових інструментів, що торгуються на ньому, трейдерів, які мають різні погляди та різні часові горизонти, з загальної теорії витікає, що будь-який процес на такому ринку є  $K$ -системою і має сталу область хаосу.

**Основна частина.** З точки зору сучасного розуміння довгого інвестиційного горизонту, акції мають практично нескінченний строк життя порівняно з опціонами. Для інвесторів в акції більш значущою проблемою є недетерміноване коливання курсів, а не ризик обвалу ринку. Тому ми запропонували модель ризик-доходність хеджування акцій опціонами з використанням нелінійної модифікації відомого з електрохімії другого закону Фіка з ефектом Кіркендала у дробових похідних Римана-Ліувіля у фрактальному середовищі з використанням  $p$ -одичного аналізу у випадку миттєвого інвестиційного горизонту для опціонів.

Ринки деривативів є ринками з коротким інвестиційним горизонтом. Аналогічно ми запропонували модель ризик-доходність хеджування ф'ючерсів опціонами, але з використанням дробових похідних Рісса.

Ринки криптовалют є ринками так званих шумових трейдерів з «миттєвим» інвестиційним горизонтом, тобто найбільш важливим є ризик обвалу ринку. Тому ми використовували комбіновану модифікацію на основі  $p$ -одичного аналізу метода SSA [1] і моделі Джохансена – Сорнета [2] для прогнозування ймовірності обвалу ринку криптовалют.

**Висновок.** Авторами отримані деякі нові моделі оцінки ризиків фінансових інструментів на глобальних ринках для інвесторів з «довгим», «коротким», та «миттєвим» інвестиційними горизонтами.

### Список використаних джерел

1. Гардер С.Е., Гомозов Е.П. Анализ и прогнозирование курсовой стоимости биткойна методом SSA. - Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, № 3 (1279) 2018.
2. Sornette D., Critical market crashes, Physics Reports 2003, №378, с.1-98.

УДК 519.8

**О.А. Двірна**

асистент кафедри документознавства та інформаційної діяльності в економічних системах

*Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Полтава***РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ВЕКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА КОМБІНАТОРНИХ КОНФІГУРАЦІЯХ БЕЗ ДОДАТКОВИХ ОБМЕЖЕНЬ**

**Вступ.** У роботах [1-3] були розглянуті задачі векторної оптимізації з лінійними та дробово-лінійними функціями, що мали додаткові лінійні обмеження. Для вказаного типу задач були запропоновані методи розв'язування, що базувалися на властивостях комбінаторних конфігурацій та їх поданні у вигляді структурних графів та схем комбінаторних конфігурацій. Основна увага приділялась роботі із системою додаткових лінійних обмежень. Виникає питання застосування вказаних методів у випадку, коли додаткові обмеження у векторній задачі відсутні. Саме цьому питанню присвячено дану роботу.

**Основна частина.** Сформулюємо задачу. Нехай необхідно знайти таке  $x^* \in X$ , що

$$x^* = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} F(x), \quad (1)$$

де  $F(f_1, f_2, \dots, f_n)$  – векторний критерій, що складається із часткових цільових функцій

$$f_i : X \rightarrow R^1, i \in N_n \quad (2)$$

$X$  – комбінаторна конфігурація,

$$\operatorname{extr} \in \{\min, \max\} \quad (3)$$

– напрям оптимізації,  $n$  – кількість функцій,  $m$  – кількість змінних.

Задача (1)-(3) є задачею векторної оптимізації на комбінаторних конфігураціях без додаткових обмежень. При відсутності додаткових обмежень слід використати властивості комбінаторної конфігурацій, на якій задана задача та один із відомих алгоритмів векторної оптимізації з відповідними модифікаціями.

Найпростішим випадком для розв'язування задач з багатьма цільовими функціями є використання методів на основі лінійних згорток, коли визначаються вагові критерії кожної із цільових функцій. Суть методу розв'язування безумовної векторної задачі на комбінаторній конфігурації на основі згортки полягає у тому, щоб експерт чи особа, що приймає рішення, визначила важливість кожної з функцій, що дозволяє одержати скалярну цільову функцію. Оскільки задача розв'язується на деякій комбінаторній конфігурації і не має додаткових обмежень, то знайти екстремальне значення одержаного критерію можливо, спираючись на властивості заданої комбінаторної конфігурації.



Одним з можливих підходів до розв'язування векторної задачі комбінаторної оптимізації без додаткових обмежень може бути метод головного критерію із відповідною модифікацією. Для розв'язування задачі (1)-(3) названим вище методом необхідна інформація про переваги на множині критеріїв та можливі величини відхилень по кожній із цільових функцій, що входять до векторного критерію. Тоді пошук ведеться за класичним алгоритмом методу головного критерію, а екстремальні значення знаходяться згідно властивостей заданої конфігурації. Усі критерії крім головного, стають обмеженнями задачі, до розв'язування якої можна застосувати алгоритм горизонтального чи координатного методу, описані в роботах [1].

*Алгоритм адаптованого методу головного критерію для розв'язування векторної задачі на комбінаторних конфігураціях без додаткових обмежень*

Крок 0. Одержати інформацію від ОПР про переваги на множині критеріїв для визначення головного критерію та допустимі відхилення для усіх інших критеріїв оптимальності  $\xi_i, i \in N_{n-1}$ .

Крок 1. Ввести вхідні дані задачі: коефіцієнти функції  $f^* \rightarrow \text{extr}$ , додаткових обмежень, що утворились із цільових функцій у вигляді рівнянь  $g_i \leq \xi_i, i \in N_{n-1}$ , елементи комбінаторної конфігурації.

Крок 2. Переходимо до однокритеріальної задачі  $f^* \rightarrow \text{extr}$  оптимізації з додатковими лінійними обмеженнями.

Крок 3. До кожного з обмежень застосовуємо горизонтальний чи координатний метод оптимізації [1-3].

Крок 5. Знайти перетин множин, що задовольняють кожне з лінійних обмежень задачі  $D^* = D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_n$ , якщо  $D^* \neq \emptyset$ , то перейти на крок 6, інакше – на крок 0 для уточнення можливих відхилень за критеріями оптимальності, крім головного.

Крок 6. Знайти екстремальне значення цільової функції  $f^*$  в точках  $x \in D^*$ , використовуючи властивості заданої комбінаторної конфігурації.

Ця процедура є діалоговою та вимагає інформації від експертів.

**Висновки.** Задача векторної оптимізації на комбінаторних конфігураціях без додаткових обмежень дає широке коло варіацій у пошуку підходів до розв'язування, проте ключовим її етапом у будь-якому варіанті є застосування властивостей комбінаторних конфігурацій, які відіграють важливу роль у побудові алгоритмів розв'язування.

#### Список використаних джерел

1. Колечкина Л.Н., Дверная Е.А. Модифицированный подход к решению многокритериальных экстремальных задач на комбинаторных конфигурациях. Теория оптимальных решений. Київ, 2012. С. 98-103.
2. Колечкина Л.Н., Дверная Е.А. Модификация координатного метода решения экстремальных задач на комбинаторных конфигурациях при условии многокритериальности. Кибернетика и системный анализ. Киев, 2014. № 4. С.154-161.
3. Колечкина Л.Н., Дверная Е.А. Решение экстремальных задач с добно-линейными функциями цели на комбинаторной конфигурации перестановок при условии многокритериальности. Кибернетика и системный анализ. Киев, 2017. №4. С.113-122.

УДК 519.85

**Н.Г. Журбенко**

кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник

*Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев***ПОСТРОЕНИЕ БИЛИНЕЙНОГО КЛАССИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ПРОЕКЦИИ НА ПОЛИТОП**

**Введение.** Предложен алгоритм построения линейных бинарных классификаторов. Объекты распознавания представляются точками  $n$ -мерного евклидова пространства. Алгоритм основан на решении задачи проектирования нуля на выпуклую оболочку конечного числа точек евклидова пространства (на политоп).

**Линейный классификатор и проекция нуля политоп**

Рассматривается задача построения линейных классификаторов для двух классов объектов  $K_1$  и  $K_2$  в  $n$ -мерном пространстве  $R^n$ . Пусть определена обучающая выборка  $K_1 : G_1 = \{a^j \in R^n; j \in J_1; |J_1| = m_1\}$ ;  $K_2 : G_2 = \{b^j \in R^n; |J_2| = m_2; |J_2| = m_2\}$ . Линейный классификатор  $L(\eta, c)$  задается ненулевым вектором  $\eta \in R^n, \eta \neq 0$  и константой  $c \in R$ . Определение классификатора  $L(\eta, c)$  сводится к определению решения  $(\eta, c) \in R^{n+1}$  следующей системы линейных неравенств

$$\rho_1^j = (a^j, \eta) + c > 0, a^j \in G_1; \quad \rho_2^j = (-b^j, \eta) - c > 0, b^j \in G_2.$$

В 1921г. Карвером (Carver W.B.) получен следующий математически изящный критерий совместности системы строгих линейных неравенств [1].

**Система линейных неравенств**  $(a^j, x) > 0, j = \overline{1, m}$ , **совместна тогда и только тогда, когда**  $0 \notin \text{conv}\{a^j\}$ . ( $\text{conv}\{a^j\}$  – выпуклая оболочка)

Таким образом, критерий совместности однородной системы строгих линейных неравенств сводится к задаче определения наименьшего по норме вектора  $p, p \in \text{conv}\{a^j\}$ . Для такого вектора принято следующее обозначение  $p = Nr\{a^j, j = \overline{1, m}\}$ .

Определим точки в  $R^{n+1}$ :  $\tilde{a}^j = (a^j, t)^T, a^j \in G_1; \quad \tilde{b}^j = (-b^j, -t)^T, b^j \in G_2$ . Здесь параметр  $t > 0$ . Пусть  $\tilde{G}_1 = \{\tilde{a}^j, j = \overline{1, m_1}\}, \quad \tilde{G}_2 = \{\tilde{b}^j, j = \overline{1, m_2}\}$ .

В теории распознавания образов особое внимание уделяется классификатору с "максимальным зазором" (оптимальному классификатору). Можно привести различные формулировки определения оптимального классификатора [2], [3].

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке Volkswagen Foundation (грант № 90 306).

Компактная и геометрически естественная формулировка оптимального классификатора представляется следующей задачей квадратичного программирования.

$$h_{\max}^2 = \min \{ \|x - y\|^2 : x \in \text{conv}\{G_1\}; y \in \text{conv}\{G_2\} \}$$

Строгая выпуклость евклидовой нормы обеспечивает единственность вектора  $\eta^* = x^* - y^*$ , и, следовательно, единственность оптимального классификатора.

Пусть классификатор определяется на основе проекции нуля на множество  $\tilde{G}: p(t) \equiv (\eta, \eta_{n+1})^T = Nr\{\tilde{G}\}$ . Эта задача также имеет единственное решение. Тогда возникает вопрос: будет ли этот классификатор являться классификатором с максимальным зазором? Не трудно видеть, что в общем случае это не так. Для этого достаточно рассмотреть простейшие примеры.

Основной результат данной работы состоит в следующем.

**Утверждение.**

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|p(t)\| \rightarrow h_{\max}; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \eta_{n+1}^*(t) \rightarrow 0; \quad \text{вектор } \eta^* = \lim_{t \rightarrow \infty} \eta^*(t) \text{ определяет}$$

**оптимальный классификатор.**

**Заключение**

Основная цель данной работы состоит в следующем: как на основе решения задачи проектирования на политоп получить классификатор с максимальным зазором? Кроме интереса чисто любознательного характера, решение этого вопроса имеет и некоторое практическое значение. Дело в том, что решению классической задачи определения вектора минимальной длины из выпуклой оболочки конечного числа точек давно [4] и до сих пор [5], [6] уделяется большое внимание. Разработано множество программных реализаций алгоритмов ее решения.

Сведение задачи определения оптимального классификатора к задаче проектирования на политоп, по сути, обусловлено тем, что операция проектирования не инвариантна к линейному преобразованию пространства.

#### **Список использованных источников**

1. Carver W.B. Systems of linear inequalities, Ann. Math. 23 (1921 – 1922), 212–220
2. Шлезингер М., Главач В. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. Киев: Наук. Думка. 2004. 545 с.
3. К.В. Воронцов. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>
4. Wolfe P. Finding the nearest point in a poly tope. Math. Program.1976. V. 11, N 2. P. 128—149.
5. Нурминский Е.А. О сходимости метода подходящих аффинных подпространств для решения задачи о наименьшем расстоянии до симплекса Журн. вычисл. матем. и матем. физики. 2005. Т. 45, вып. 11 С 1996-2004.
6. Журбенко Н.Г. Алгоритм проектирования на политоп. Теория оптимальных решений: Зб. наук. пр. 2008. № 7. С. 125-131.

УДК 519.87

<sup>1</sup>Заболотній С.В.

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри радіотехніки, телекомунікаційних та робототехнічних систем

<sup>2</sup>Могілей С.О.

викладач кафедри економічної кібернетики

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси<sup>2</sup>Східноєвропейський університет економіки і менеджменту, м. Черкаси

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ОПОРНИХ ПЛАНІВ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ З ОБМЕЖЕННЯМИ ЗА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ

В умовах глобалізації світової транспортної системи постає проблема вибору оптимальних стратегій доставки вантажів за допомогою різних видів транспорту. Ця проблема є предметом вивчення ряду галузей науки і техніки, таких як логістика, теорія дослідження операцій, математичне програмування тощо. Актуальність створення все більш складних оптимізаційних моделей транспортної логістики, а також розробка нових, більш досконалих методів їх реалізації не викликає жодних сумнівів.

Класична транспортна задача (ТЗ) полягає у визначенні оптимального плану перевезень вантажів з пунктів відправки до пунктів доставки, де критерієм оптимальності таких перевезень є їх мінімальна собівартість. Що ж до допустимої множини розв'язків такої ТЗ, то вона обмежена лише вимогою невід'ємності елементів шуканого оптимального плану транспортних перевезень, а також показниками запасів в пунктах відправки та потреб – в пунктах доставки. Проте, з прикладної точки зору цих вимог явно недостатньо, оскільки на практиці кількість емпіричних обмежень ТЗ може бути набагато більшою. Так, одним з прикладів додаткових умов в постановці ТЗ є обмеження за вантажопідйомністю парку транспортних засобів.

Подібна задача значно ускладнюється у випадку, коли необхідно враховувати наявність більше, ніж одного засобу доставки вантажів. Іншими словами, йдеться про таку бізнес-модель підприємства транспортної логістики, яка передбачає використання кількох видів транспорту (наприклад, в умовах України найбільш поширеними є автомобільний, залізничний та річковий). За таких умов будемо говорити про розв'язання мультимодальної ТЗ, що й буде являтися об'єктом даного дослідження. Предмет дослідження становить алгоритм відшукування оптимального опорного плану мультимодальної ТЗ, побудова допустимої множини якої враховує обмеження за вантажопідйомністю кожного із засобів доставки вантажів.

Побудуємо цільову функцію мультимодальної ТЗ за критерієм мінімальної собівартості транспортних перевезень:

$$S = \sum_{i,j=1}^{m,n} a_{ij}x_{ij} + \sum_{i,j=1}^{m,n} b_{ij}y_{ij} + \sum_{i,j=1}^{m,n} c_{ij}z_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$  -  $n$  пунктів відправки та  $m$  пунктів доставки відповідно;

$x_{ij}$ ,  $y_{ij}$ ,  $z_{ij}$  - невід'ємна кількість одиниць товару, що перевозиться з  $i$ -го пункту відправки до  $j$ -го пункту доставки відповідно автомобільним, залізничним та водним транспортом (шукані величини);

$a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ ,  $c_{ij}$  - вартість перевезення одиниці товару з  $i$ -го пункту відправки до  $j$ -го пункту доставки відповідно автомобільним, залізничним та водним транспортом;

$S$  - функція собівартості.

Значимо, що ТЗ вважається закритою. Тоді її допустима множина:

$$D : \begin{cases} \sum_{i,j=1}^{m,n} x_{ij} \leq x; \sum_{i,j=1}^{m,n} y_{ij} \leq y; \sum_{i,j=1}^{m,n} z_{ij} \leq z; \\ N_j = x_{ij} + y_{ij} + z_{ij} = M_i, \end{cases} \quad (2)$$

де  $x$ ,  $y$ ,  $z$  - сумарна вантажопідйомність парків автомобільного, залізничного та водного видів транспорту відповідно;

$M_i$ ,  $N_j$  - величини запасів в  $i$ -му пункті відправки та потреб  $j$ -го пункту доставки відповідно.

Ідея реалізації задачі (1) – (2) запропонована в [1]: спочатку знаходять деякий «компромісний» (сумарний) для всіх видів транспорту план перевезень, а потім на його основі генерують множину комбінацій опорних планів для кожного виду транспорту окремо. Оптимальна комбінація таких опорних планів і буде розв'язком розглянутої мультимодальної ТЗ.

Без врахування обмежень за вантажопідйомністю точну кількість таких комбінацій опорних планів важко передбачити, проте, для мультимодальних ТЗ великої розмірності (кількість пунктів відправки та доставки може налічувати від кількох десятків до кількох сотень) вона може бути справді досить значною. За таких умов як час на реалізацію задачі, так і вимоги до ресурсів програмного та комп'ютерного забезпечення можуть значно зрости. Отже, врахування різних емпіричних обмежень в мультимодальній ТЗ здатне звужити допустиму множину такої задачі, суттєво скоротивши час та витрати на її розв'язання.

Таким чином, основна особливість запропонованого способу побудови опорних планів розглянутої вище мультимодальної ТЗ полягає в тому, що допустима множина цієї задачі є обмеженою зверху сумарними значеннями вантажопідйомності по кожному з видів транспорту. Точніше, з огляду на конструктивні характеристики запропонованого алгоритму побудови опорних планів, є всі підстави стверджувати, що подібні емпіричні обмеження здатні значно прискорити відшукування кінцевого розв'язку такої мультимодальної ТЗ.

### Список використаних джерел

1. Заболотній С.В. Могілей С.О. Застосування критерію Штейнера при реалізації транспортної задачі за допомогою ІТ-технологій. Емерджентність економічних систем у сфері управління суспільним розвитком: збірник тез доповідей учасників Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси, 2018. С.205–208.

УДК 004.942: 633/635:551.577.6

**<sup>1</sup>Я.М. Иваньо**

Д.т.н., профессор, проректор по научной работе

**<sup>2</sup>С.А. Петрова**

К.т.н., доцент кафедры информатики и математического моделирования

**<sup>3</sup>Ж.И. Вараница-Городовская**

Аспирантка кафедры информатики и математического моделирования

*<sup>1-3</sup>Иркутский государственный аграрный университет, пос. Молодежный,  
Иркутский район*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Производство сельскохозяйственной продукции и заготовка дикорастущих ресурсов в Восточной Сибири связано с большими природными рисками, вызванными неблагоприятными погодными и климатическими условиями, и частым формированием на территории региона экстремальных гидрометеорологических событий.

По данным исследований за последние 20 лет [1, 2 и др.] повторяемость хотя бы одного гидрометеорологического события (ливень, град, засуха, ранний снегопад, дождевой паводок, весеннее половодье, заморозки и др.) проявляется с вероятностью 0,8-0,9. Только в 1-2 случаях из 10 имеют место относительно благоприятные внешние условия.

Согласно [3] объемы заготовок дикорастущей продукции (кедровые орехи, грибы, ягоды, лекарственные растения) в наиболее успешный период работы коопзверопромхозов колебались в значительных пределах ввиду высокой вариации биопродуктивности пищевых дикорастущих ресурсов.

Частая повторяемость климатических событий предполагает, что при планировании получения продовольственной продукции сельскохозяйственным товаропроизводителям и заготовителям дикорастущей продукции необходимо учитывать природные риски.

В работе предлагаются модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в условиях неблагоприятных климатических событий, проявляющихся с малой вероятностью, в двух вариантах. В первом случае целевая функция определяется на минимум затрат труда, а во втором – на максимум дохода. Кроме того, разработана модель оптимизации заготовки пищевой дикорастущей продукции для низкой урожайности ягод, грибов, кедровых орехов и лекарственных растений с критерием оптимальности, достигающим максимальных доходов.

При решении первых двух задач для оценки неблагоприятных ситуаций проанализированы последовательности многолетних суточных, месячных и сезонных температуры воздуха, а также наибольших суточных осадков, осадков по месяцам и за вегетационный период.

Поскольку многолетние ряды этих параметров представляют собой случайные выборки, для их оценки использованы законы распределения вероятностей. Последовательности температур воздуха, как правило, обладают незначительной вариацией и могут быть описаны распределением Гаусса. Ряды осадков по месяцам и осадков за теплый период обладают распределением в виде трехпараметрического степенного гамма-распределения с разной асимметрией [4].

Параметры тепла и увлажнения определяют условия развития сельскохозяйственных культур и значение урожайности. Наличие законов распределения вероятностей позволяет оценить вероятности неблагоприятных событий. Для таких случаев строится модель оптимизации доходов сельскохозяйственного предприятия согласно биопродуктивности культур, потенциалу трудовых ресурсов и земельных ресурсов, объемам производства, балансу растениеводческой и животноводческой продукции. Модель реализована для одного из предприятий Иркутского района по полученным вероятностным оценкам сильной засухи 2015 г. Решения задачи математического программирования со случайными параметрами позволили оценить риски и минимизировать потери доходов.

Во втором варианте задачи с минимизацией трудозатрат на производство аграрной продукции учитывалось значительное повышение затрат труда для возможности уменьшения потери урожая. Помимо того, принималась во внимание случайность колебаний биопродуктивности сельскохозяйственных культур. Показана возможность оптимизации трудозатрат в условиях сильной засухи. Разработанные модели позволяют получать оптимальные планы при других сочетаниях повторяемости климатических событий и урожайности.

В отличие от этих задач оптимизация заготовки пищевых дикорастущих культур реализована в виде модели линейного программирования с интервальными параметрами, характеризующими неблагоприятные условия при промысле таежной продукции. В этом случае из множества решений в зависимости от управленческих требований выделяют некоторую часть оптимальных планов, ниже которых заготовка дикоросов теряет экономический смысл. Модель реализована для муниципальных районов со значительными запасами пищевых дикорастущих ресурсов.

#### **Список использованных источников**

1. Иваньо Я. М., Старкова Н. В. Моделирование природных событий для управления народно-хозяйственными объектами региона. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2011. 160 с.
2. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2009 году / сост.: Е. В. Кучменко, Т. А. Маркова. Иркутск, 2010-2017 гг.
3. Кружков Н. А., Вашукевич Ю. Е. История Иркутского треста коопзверопромхозов. Иркутск, 2013. 147 с.
4. Блохинов Е. Г. Распределение вероятностей величин речного стока М.: Наука, 1974. 169 с.

УДК 519.876

<sup>1</sup> **Є.В. Івохін**

д.ф.-м.н., професор, професор

<sup>2</sup> **Л.Т. Аджубей**

к.ф.-м.н., доцент, доцент

<sup>3</sup> **П.Р. Ваврик**

магістр

<sup>1,2,3</sup> *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, факультет комп'ютерних наук та кібернетики, м.Київ*

## **ПОБУДОВА РЕАЛІСТИЧНИХ СОЦІАЛЬНИХ ГРАФІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПУБЛІЧНИХ СТОРІНОК СОЦІАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ**

**Вступ.** На сьогоднішній день, в зв'язку в надзвичайно швидким розвитком сучасних технологій, люди все частіше переносять свої особисті та робочі зв'язки у соціальні мережі. Це спрощує їх комунікацію, збільшує швидкість обміну повідомленнями, дає можливість розповсюджувати важливу інформацію, знаходити нових друзів по усьому світу, навчатися, дізнаватися більше про різноманітні культури.

Однак широке застосування соціальних мереж створює нові проблеми, що лежать у інформаційній площині. Більшість з них виникають через відсутність фундаментальних та критичних знань про організацію даних в них і через нерозуміння базових принципів використання інформаційних засобів мережі.

**Основна частина.** Процес створення та впровадження методів аналізу соціальних мереж потребує формалізації реальної соціальної мережі у вигляді строго визначеної математичної моделі. Відсутність можливості отримати повні дані про користувачів мережі серйозно ускладнює побудову моделі.

Виходячи з того, що соціальна мережа – це соціальна структура як складається з соціальних акторів, та соціальних взаємодій між ними, дослідження соціальних мереж передбачає існування набору методів аналізу структури сутностей мереж, а також різноманітних теорій, що описуються та пояснюються патернами, які спостерігаються в цих структурах. Дослідження цих структур використовує аналіз соціальної мережі для визначення локальних та глобальних моделей, оцінки об'єктів впливу та вивчення динаміки мереж [1].

Особливості соціального графа характеризується такими метриками, як: метрики взаємин, метрики зв'язків та сегментації. Для вирішення завдань на соціальному графі використовуються спеціальні моделі, за допомогою яких можна замінити «реальні» графи. За допомогою соціальних графів вирішують такі завдання, як: ідентифікація користувачів; соціальний пошук; генерація рекомендацій з вибору «друзів», медіа-контенту, новин, тощо; виявлення «реальних» зв'язків або збір відкритої інформації для моделювання графа. Якість обробки даних соціальних графів пов'язана з рядом проблем, такими, як, наприклад, відмінності соціальних мереж, закритість соціальних даних [2].



Під соціальною мережею на якісному рівні розуміється соціальна структура, яка складається з множини агентів (суб'єктів – індивідуальних чи колективних) і визначеній на цій множині відношень (сукупності зв'язків між агентами, наприклад, знайомства, дружби, співпраці, комунікації). Формально соціальна мережа представляється як граф  $G(N, E)$ , в якому  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  – скінченна множина вершин (агентів) та  $E$  – множина ребер, що відображає взаємодію агентів.

Оскільки не існує можливості отримати дані про користувачів, формуємо соціальний граф лише на основі даних з публічних сторінок. Кожна публічна сторінка дає можливість викласти відповідну інформацію. При цьому, кожна публікація може бути прокоментована, кожен наступний коментар також може бути прокоментованим і т.д. За умов отримання даних про авторів коментаря подальший аналіз зводився б до побудови їх портретів. Відсутність цих даних компенсується можливістю збирати та аналізувати інформацію щодо користувачьких коментарів різних відкритих публікацій.

На основі таких даних можна знайти перетин аудиторії двох різних публікацій. Якщо перевірити перетин аудиторій для усіх публікацій, отримуємо множину схожості аудиторій в межах соціальної мережі.

Кожна з цих метрик дає інформацію про схожість коментарів між собою. Доцільно сказати що кожна з цих метрик має різну вагу при складанні схожості коментарів. Значення кожного коефіцієнту визначається під час проведення процесу калібрації параметрів.

Після визначення рівня схожості усіх коментарів, можна повернутися до проведення необхідного мережевого аналізу. Такий підхід дозволяє зберігати структуру соціального графу на високому рівні, що формулюється як властивість мережі містити певну кількість зв'язків без принципового дотримання строгої топології зв'язків між окремим вершинами.

Маючи історичні дані про вже існуючі соціальні графи, можна провести порівняння новостворених соціальних графів з отриманими раніше. Це необхідно зробити для встановлення коректних коефіцієнтів метрик. Після проведення калібрації отримуємо структуровані соціальні графи, на яких можна проводити подальший аналіз.

**Висновки.** У роботі досліджено процес формалізації соціальної мережі у вигляді математичної моделі, в якості чого застосовується поняття соціального графу. Проаналізовано проблеми, які при цьому виникають. За умов відсутності достатньої кількості вхідних даних для побудови зв'язків на соціальному графі було запропоновано алгоритмічний підхід, який базується на аналізі взаємодії користувачів в соціальній мережі в процесі обговорення публічних сторінок.

#### Список використаних джерел

1. Wasserman, St., Faust, K. Social Network Analysis in the Social and Behavioral Sciences. Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge University Press, 1994. pp. 1–27.
2. Scott, J. P. Social Network Analysis: A Handbook (2nd edition). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2012.

УДК 519.8

<sup>1</sup> **О.М. Кісельова**

Д. ф.-м.н., чл.-кор. НАНУ, декан факультету прикладної математики

<sup>2</sup> **О.М. Притоманова**

К.е.н., доцент, доцент кафедри обчисл. матем. та матем. кібернетики

<sup>3</sup> **В.О. Гринченко**

Студент

<sup>4</sup> **О.С. Сергєєв**

Студент

<sup>1,2,3,4</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

### ПРО ДВОЕТАПНУ НЕПЕРЕРВНО-ДИСКРЕТНУ ЗАДАЧУ РОЗБИТТЯ-РОЗПОДІЛЕННЯ З РОЗМІЩЕННЯМ ЦЕНТРІВ У МНОЖИНАХ ПРОСТОЇ СТРУКТУРИ

Розглянемо двоетапну неперервно-дискретну задачу оптимального розбиття-розподілення у наступній математичній постановці:

$$I(\lambda(\cdot), v, \tau^I) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega} c_i^I(x, \tau_i^I) \rho(x) \lambda_i(x) dx + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) v_{ij} \rightarrow \min_{(\lambda(\cdot), v, \tau^I)} \quad (1)$$

за умов

$$\sum_{j=1}^M v_{ij} = \int_{\Omega} \rho(x) \lambda_i(x) dx, i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N v_{ij} = b_j^{II}, j = \overline{1, M}, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i(x) = 1, \quad \lambda_i(x) = 0 \vee 1 \quad \text{для } x \in \Omega \subset E_n, i = \overline{1, N}, \quad (4)$$

$$v_{ij} \geq 0, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}, \quad (5)$$

$$\tau^I = (\tau_1^I, \dots, \tau_i^I, \dots, \tau_N^I) \in D_1 \times D_2 \times \dots \times D_N = D^N \subset \Omega^N, \tau^{II} \in \Omega \subset E_n,$$

де  $D_i \subset \Omega, i = \overline{1, N}$ , – множина простої структури.

Для розв'язання задачі (1) – (5) запропоновано алгоритм, заснований на переході від вихідної задачі до двоїстої [1], для числового розв'язання якої застосовується  $r$ -алгоритм Н.З. Шора [2]. Наведемо двоїсту задачу у виді

$$G_1(\psi, \tau^I) \rightarrow \max_{\psi \in E_N} \min_{\tau^I \in D^N}, \quad (6)$$

де  $G_1(\psi, \tau^I) =$

$$= \int_{\Omega} \min_{k=1, N} (c_k^I(x, \tau_k^I) + \psi_k) \rho(x) dx + \sum_{j=1}^M b_j^{II} \min_{k=1, N} (c_{kj}^{II}((\tau_k^I, \tau_j^{II}) - \psi_k). \quad (7)$$

Для застосування  $r$  – алгоритма до розв’язання двоїстої задачі (6) – (7) знайдемо субградієнт  $g_{G_1}(\tau^I, \psi) = (g_{G_1}^{\tau^I}, -g_{G_1}^{\psi})$  цільової функції (7) у такому виді:

$$g_{G_1}^{\psi_i}(\psi, \tau_i^I) - \int_{\Omega} \rho(x) \lambda_i(x) dx + \sum_{j=1}^M (b_j^H q_{ij}), i - \overline{1, N}, j - \overline{1, M},$$

де  $q_{ij} = \begin{cases} -1, & c_{ij}^H(\tau_i^I, \tau_j^H) - \psi_i = \min_{k=1, N} (c_k^I(x, \tau_k^I) - \psi_k); \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases}$

$$g_{G_1}^{\tau_i^I}(\psi, \tau_i^I) = \int_{\Omega} \rho(x) g_{c_i^I}^{\tau_i^I} \lambda_i(x) dx + \sum_{j=1}^M (h_j^H r_{ij}), i = 1, N, j = 1, M,$$

де  $r_{ij} = \begin{cases} g_{c_{ij}^H}^{\tau_i^I}, & c_{ij}^H(\tau_i^I, \tau_j^H) - \psi_i = \min_{k=1, N} (c_k^I(x, \tau_k^I) - \psi_k); \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases}$

де  $g_{c_i^I}^{\tau_i^I}(\tau^I, x) - i$  – та компонента,  $i = \overline{1, N}$ ,  $N$  – вимірного вектора узагальненого градієнта  $g_{c_i^I}^{\tau_i^I}(\tau, x)$  функції  $c_i^I(x, \tau_i^I)$  у точці  $\tau^I = (\tau_1^I, \tau_2^I, \dots, \tau_N^I)$ ;

$g_{c_{ij}^H}^{\tau_i^I}(\tau_i^I, \tau_j^H) - l$  – та компонента,  $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$ ,  $N$  – вимірного вектора узагальненого градієнта  $g_{c_{ij}^H}^{\tau_i^I}(\tau_i^I, \tau_j^H)$  функції  $c_{ij}^H(\tau_i^I, \tau_j^H)$  у точці  $\tau^I = (\tau_1^I, \tau_2^I, \dots, \tau_N^I)$ ;

$$\lambda_i(x) = \begin{cases} 1, & c_i^I(x, \tau_i^I) + \psi_i = \min_{k=1, N} (c_k^I(x, \tau_k^I) - \psi_k); \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

Для розв’язання задачі застосовується евристичний алгоритм псевдоградієнтів, близький до  $r$ -алгоритму. В результаті його застосування отримаємо  $\lambda_*(\cdot), \tau_*, \psi^*$ . Знайдемо  $v = (v_{11}, \dots, v_{NM})$  як розв’язок наступної транспортної задачі:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij}^H(\tau_i^I, \tau_j^H) v_{ij} \rightarrow \min_v,$$

$$\sum_{j=1}^M v_{ij} - \int_{\Omega} \rho(x) \lambda_{*i}(x) dx, \quad i - \overline{1, N}, \quad \sum_{i=1}^N v_{ij} - b_j^H, \quad j - \overline{1, M},$$

$$v_{ij} \geq 0, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}.$$

**Список використаних джерел**

1. Кісельова О.М. Становлення та розвиток теорії оптимального розбиття множин. Теоретичні і практичні застосування: монографія. Д.: Ліра, 2018. 532 с.
2. Шор Н.З. Методы минимизации недифференцируемых функций и их приложения. К.: Наукова думка, 1979. 200 с.

УДК 519.8

<sup>1</sup> **І.В. Козін**

доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри економічної кібернетики

<sup>2</sup> **Я.В. Терешко**

аспірант

<sup>1,2</sup> *Запорізький національний університет, Запоріжжя***ЗАДАЧА РІВНОВАЖНОГО РОЗМІЩЕННЯ ТОЧКОВИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Вступ.** Розглядається задача рівноважного розміщення матеріальних точок в заданих точках локації на площині [1]. Подібна задача часто виникає при завантаженні суден, залізничних платформ, в будівництві тощо. Запропоновано підходи до вирішення цієї задачі на основі побудови фрагментарної моделі з використанням еволюційного алгоритму, алгоритму мурашиної колонії та ін. Проведено порівняння алгоритмів на наборах тестових завдань.

**Постановка задачі.** Нехай на евклідовій площині виділена множина із  $N + 1$  точок  $X = \{M_0, M_1, M_2, \dots, M_N\}$ , в яких потрібно розмістити множину із  $k$  точкових об'єктів, що володіють масами  $m_1, m_2, \dots, m_k$ . Причому в кожній точці локації дозволено розміщувати не більше одного об'єкта. Задача полягає в пошуку такого розміщення об'єктів в обраних точках, щоб відхилення центру мас від точки  $M_0$  було мінімальним. Таким чином критерієм в розглянутій задачі є функція:

$$F(x) = \left| \sum_{i=0}^n \vec{d}_i \sum_{j=1}^k x_{ij} m_j \right| \rightarrow \min,$$

де  $x = (x_{ij})_{i=0, j=1}^{n, k}$  матриця розмірності  $n \times k$ , причому

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо об'єкт } j \text{ локалізовано у точці } i \\ 0, & \text{якщо об'єкт } j \text{ не локалізовано у точці } i \end{cases}$$

величина  $\vec{d}_i$  -вектор, що з'єднує точку  $M_0$  з точкою  $M_i$ .

Обмеження задачі:  $\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, k; \quad \sum_{j=1}^k x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$ .

Паралельно розглядається пов'язана задача: для знайденого розв'язку попередньої задачі знайти таку послідовність розміщень матеріальних точок у відповідних точках локації, щоб на кожному кроці процесу відхилення системи від рівноваги було якомога менше.

Кожна з двох розглянутих задач є *NP*-повною, тому представляють інтерес евристичні методи розв'язання задач. Хороші результати при пошуку оптимальних розв'язків подібних задач показали методи на основі фрагментарної моделі.

**Фрагментарна модель задачі.** Слідуючи [2] фрагментарною структурою  $(X, E)$  на скінченній множині  $X$  будемо називати сімейство її підмножин  $E = (E_1, E_2, \dots, E_n)$ , де  $\emptyset \in E$  і  $\forall E_i \in E, E_i \neq \emptyset \exists x \in E_i$ , такий, що  $E_i \setminus \{x\} \in E$ . Елементи з сімейства  $E$  будемо називати допустимими фрагментами. Таким чином, для будь-якого непорожнього допустимого фрагмента  $E_i$  існує нумерація його елементів  $E_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\}$  така, що  $\{x_{i1}\} \in E$ ,  $\{x_{i1}, x_{i2}\} \in E, \dots, \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\} \in E$ . Максимальним фрагментом називається допустимий фрагмент, який не є власною підмножиною будь-якого іншого допустимого фрагмента. Кожний максимальний фрагмент може бути побудований за допомогою наступного жадібного алгоритму:

на початковому етапі елементи множини  $X$  упорядковуються і вибирається порожня множина елементів  $A_0 = \emptyset$ . На черговому кроці до вже побудованого допустимому фрагменту  $A_k$  додається перший по порядку елемент  $x$  такий, що  $A_k \cup \{x\} \in E$ . Алгоритм закінчує роботу, коли такий елемент  $x$  не буде знайдений.

Таким чином кожен максимальний фрагмент визначається деякою перестановкою елементів множини  $X$ .

Фрагментарною моделлю оптимізаційної задачі називається її зведення до задачі пошуку максимального фрагмента з певними властивостями на фрагментарній структурі.

Показано, що дана задача рівноважного розміщення може бути переформульована в термінах фрагментарної моделі. Відповідно, для неї можуть бути використані методи вирішення подібних задач запропоновані в [3].

**Висновки.** Порівняльний аналіз різних метаевристичних на великих серіях модельних задач показав значну перевагу еволюційного алгоритму і алгоритму мурашиної колонії над алгоритмами випадкового пошуку і локального пошуку для задачі рівноважного розміщення точкових об'єктів. З огляду на універсальність фрагментарної моделі можна розраховувати що запропоновані методи будуть ефективними для інших класів дискретних оптимізаційних задач.

#### Список використаних джерел

1. Терешко Я.В., Розміщення прямокутних об'єктів з критерієм рівноваги в обмежених кордонах з використанням фрагментарного та еволюційного алгоритмів. Сб. Математичне та комп'ютерне моделювання Серія Фізико-математичні науки. – 2017. – Вип. 15. Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка, С.232–235
2. Козин І.В., С.І.Полога, О свойствах фрагментарных структур. Вісник Запорізького національного університету. Математичне моделювання і прикладна механіка. – 2012. – № 1. – С. 99–106.
3. Козин І.В., Перепелица В.А., Максишко Н.К., Фрагментарные структуры в задачах дискретной оптимизации. Кибернетика и системный анализ, 2017 – № 6. С. 125–131

УДК 519.8

<sup>1</sup> Л.М. Колечкіна

д.фіз.-м.н., професор, професор кафедри документознавства та інформаційної діяльності

<sup>2</sup> С.В. Ховбень

Аспірант

<sup>1,2</sup>Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Полтава

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДЕЯКИХ МЕТОДІВ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Екстремальні задачі дискретного характеру на комбінаторних конфігураціях постійно зустрічаються при розв'язуванні ряду практичних задач [1-4].

У загальному випадку задачу оптимізації можна представити 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,  $\Pi$  – предикат, який визначає підмножину  $D \subseteq X$  допустимих варіантів розв'язку згідно наявних обмежуючих умов,  $ext \in \{min, max\}$  – напрям оптимізації. У цих позначеннях задачу оптимізації можна переписати у наступному вигляді: необхідно знайти  $x^* \in D \subseteq X$  таке, що

$$x^* = arg \min_{x \in D \subseteq X} f(x). \quad (1)$$

В деяких роботах під задачею комбінаторної оптимізації розуміється проблема пошуку екстремумів заданої цільової функції вигляду (1), коли  $X$  – комбінаторний простір [1, 3]. Під комбінаторним простором тут розуміється сукупність комбінаторних об'єктів певного типу, утворених із елементів заданої скінченної множини потужності  $n$ .

Застосування моделей та алгоритмів комбінаторної оптимізації дозволяє вирішувати низку прикладних задач. Загальна ідея методів комбінаторної оптимізації полягає у переборі усіх можливих варіантів розв'язку задачі, що поставлена до виконання. Кожен з них визначається перебором низки варіантів, що дають змогу ще в процесі розв'язування задачі виявити неоптимальні варіанти без попередньої їх перевірки. Одним з найуживаніших точних методів, що дозволяє розв'язувати моделі прикладних задач, є метод гілок та меж. Даний метод універсальний, так як може бути застосований до будь-якої оптимізаційної задачі.

Конкретні реалізації методу гілок і меж пов'язані з правилами поділу на підмножини (правилами галуження) та побудови оцінок (меж) значень цільової функції на них. До недоліку методу у випадку розв'язання задач із великою розмірністю можна віднести перебір великої кількості варіантів допоміжних задач. Даного недоліку можна уникнути шляхом знаходження не оптимального розв'язку, а розв'язку, що є близьким до оптимального, але це не завжди

приводить до вирішення задачі. Досить цікавим в цьому сенсі є так званий **метод направленого структурування**, для розв'язування подібних задач. Основна ідея даного методу перекликається з відомим методом послідовного аналізу варіантів [3]. Але метод призначений безпосередньо для комбінаторних задач. Метод направленого структурування об'єднує засоби комбінаторного аналізу та теорії графів і передбачає послідовне виконання таких етапів: вибір способу генерування у певній послідовності всіх елементів заданої комбінаторної конфігурації, який найбільше пристосований до заданої функції цілі; представлення множини комбінаторної конфігурації у вигляді орієнтованого графа, де дуга відповідає спаданню значень цільової функції; побудову поліноміального алгоритму розв'язку задачі на частково упорядкованих вершинах графа.

Завдяки частковій упорядкованості часто вдається трудомісткість алгоритмів звести до логарифма від всієї маси варіантів. Цей метод було застосовано для розв'язання задач з лінійною та дробово-лінійною цільовими функціями на перестановках, комбінаціях та розміщеннях [3-7]. Створені відповідні інформаційні технології підтвердили ефективність цього методу. Але, є доцільним продовжувати дослідження властивостей комбінаторних конфігурацій та комбінаторних задач з метою створення відповідних алгоритмів для розв'язання таких задач з різними цільовими функціями та на різних комбінаторних конфігураціях.

#### Список використаних джерел

1. Гуляницький Л.Ф. Прикладні методи комбінаторної оптимізації : навч. посіб./Л.Ф. Гуляницький, О.Ю.Мулеса. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016.- 142с – С. 131 – 135.
2. Струченков В.И. Методы оптимизации. Основы теории, задачи, обучающие компьютерные программы: Учебное пособие / В.И. Струченков – М.: Издательство «Экзамен», 2005. – 256 с.
3. Донець Г.П., Колечкіна Л.М. Екстремальні задачі на комбінаторних конфігураціях / Г.П.Донець, Л.М. Колечкіна. – Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011. – 309 с.
4. Kolicchkina L. N. Solving Extremum Problems with Linear Fractional Objective Functions on the Combinatorial Configuration of Permutations Under Multicriteriality / L. N. Kolicchkina, O.A. Dvirna // Cybernetics and Systems Analysis V. 53 Issue 4, 2017. – P. 590-599.
5. Донець Г.А. Локализация значений линейной функции заданной на перестановках / Г.П. Донець, Л.Н. Колечкіна // Радиоэлектроника и информатика. – 2009. – № 1. – С. 50-61.
6. Донець Г. А. Колечкіна Л.Н. Об одном подходе к решению комбинаторной задачи оптимизации на графах / Г.П. Донець, Л.Н. Колечкіна // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 4. – С. 36–42.
7. Донець Г. А. Алгоритм поиска значений линейной функции на лексикографически упорядоченных перестановках / Г.А. Донець, Л.Н. Колечкіна // Теорія оптимальних рішень. – 2009 – С. 3-8.

УДК 519.711:519.711.3:519.81

<sup>1</sup>И.О. Лукьянов

аспирант

<sup>2</sup>Ф.А. Литвиненко

аспирант

<sup>3</sup>В.П. Коваль

младший научный сотрудник

<sup>1-3</sup>Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, Киев

## О ВЫБОРЕ РАЗМЕРА НАЧАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ВЕРСИИ МНОГОПОПУЛЯЦИОННОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В эвристических алгоритмах поиска, используемых для решения задач оптимизации, скорость их схождения в значительной степени зависит от выбора входных параметров. Каждая реализация генетического алгоритма имеет такой входной параметр как размер начальной популяции. Для некоторого класса задач оптимальное, в некотором смысле, значение этого параметра можно обосновать математически.

Приведём соответствующие расчёты для конкретной задачи: используя многопопуляционный генетический алгоритм и распределенные вычисления, найти некоторую заданную строку, состоящую из символов конечного алфавита [1].

Для расчетов будем использовать следующие значения: длина искомой строки  $L = 100$ , размер начальной популяции на каждом процессоре  $l = 10$ , число популяций (процессоров)  $k = 15$ , число символов конечного алфавита  $a = 33$ .

Соответственно вероятность случайного выбора правильного символа для конкретной позиции искомой строки при равномерном распределении будет равна  $p = 1/a = 1/33$ , а число независимых испытаний по каждой позиции искомой строки при случайной генерации начальных популяций (общее количество сгенерированных строк) —  $kl = 150$ .

Тогда вероятность  $P_n$  выбора правильного символа в заданной позиции искомой строки хотя бы один раз при генерации всех начальных популяций равна

$$P_n = 1 - (1 - p)^{kl} = 1 - (1 - p)^{150} = 0,990$$

Под оптимальным будем понимать такой размер начальной популяции, при котором после генерации начальных популяций, вероятность  $P(x)$  совпадения символа, хотя бы для одной особи в произвольных  $x$  (близких к значению  $L$ ) позициях искомой строки, будет с заданной точностью равна единице. Эта вероятность в нашем случае вычисляется следующим образом:

$$P(x) = C_L^x P_a^x (1 - P_a)^{L-x} = \frac{L!}{x! (L-x)!} P_a^x (1 - P_a)^{L-x}$$

Определим соотношение между  $P(x)$  и  $P(x-1)$ . Поскольку



$$P(x - 1) = C_L^{x-1} P_a^{x-1} (1 - P_a)^{L-x+1} - \frac{L!}{(x-1)!(L-x+1)!} P_a^{x-1} (1 - P_a)^{L-x+1}, \text{ то}$$

$$\frac{P(x-1)}{P(x)} = \frac{x!(L-x)!}{(x-1)!(L-x+1)!} \times \frac{1-P_a}{P_a} = \frac{x}{L-x+1} \times \frac{1-P_a}{P_a}, \text{ и соответственно}$$

$$P(x - 1) = \frac{x}{L - x + 1} \times \frac{1 - P_a}{P_a} \times P(x)$$

При  $x = L$ :  $P(L) = P_a^{100} = 0,366$

Тогда вероятность совпадения символов в меньшем количестве позиций искомой строки после генерации всех начальных популяций равняется:

$$P(L - 1) = 100 \times \frac{0,01}{0,99} \times 0,366 = 0,370$$

$$P(L - 2) = 100 \times \frac{0,01}{0,99} \times 0,370 = 0,185$$

$$P(L - 3) = 100 \times \frac{0,01}{0,99} \times 0,370 = 0,061$$

Соответственно вероятность совпадения символов в интервале от 97 до 100 позиций искомой строки после генерации всех начальных популяций вычисляется как:

$$P(100) + P(99) + P(98) + P(97) = 0,366 + 0,370 + 0,185 + 0,061 = 0,982$$

Столь высокая вероятность обеспечивает генерацию достаточно полного генетического материала практически во всех экспериментах.

**Таблица**

<i>l</i>	10	12	14	15	16
$P_a$	0,990	0,996	0,998	0,999	0,9994
$P(L = 100)$	0,366	0,674	0,855	0,906	0,940

В сводной таблице приведена динамика увеличения вероятностей при увеличении размера начальной популяции. Для нашей задачи значения  $l = 10$  было достаточно для эффективной работы алгоритма, но в других случаях может возникнуть необходимость генерации начальной популяции с большим значением  $P(L)$ .

Следует заметить, что большой интерес вызывает исследование таких стратегий скрещивая, которые позволяют на следующих этапах генетического алгоритма с максимальной эффективностью использовать генетический материал, полученный при генерации начальных популяций.

**Список использованных источников**

1. И.О. Лукьянов, Ф.А. Литвиненко, Е.А. Криковлюк. Особенности реализации параллельной версии многопопуляционного генетического алгоритма // Компьютерная математика. – 2018. – №2. – С.21-29.

УДК 658.012

<sup>1</sup> Г.О. Любченко

магістрант

<sup>2</sup> О.В. Гриша

к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління НТУ України "КПІ"

<sup>1,2</sup> НТУ України "КПІ" м.Київ.

## ЗАВДАННЯ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СПЕЦИФІЧНИХ УМОВАХ НЕДОВИЗНАЧЕНОСТІ ПОКАЗНИКІВ

**Вступ.** В даних тезах розглядається питання вирішення задачі маршрутизації з динамічними недовизначеними показниками [1]. Дана задача виникає у випадку коли ми не можемо з самого початку точно знати яку кількість об'єктів нам необхідно опрацювати. Типовими прикладами таких задач є планування маршруту для автомобілів які займаються збором сміття, адже кількість контейнерів які можуть поміститися в одну машину може різнитися в залежності від багатьох факторів, тому планувати початковий маршрут потрібно з самого початку таким чином, щоб бути готовим в кінці його коригувати в залежності від того більше чи менше контейнерів від середнього значення вдалося опрацювати. Ця задача не обмежується лише мишинами для збору сміття, а також є важливою для багатьох інших сфер (різні види кур'єрських доставок, вантажоперевезення та інші) через що, вирішення цієї задачі однозначно є актуальною і важливою проблемою.

З самого початку коли ми вирішили почати займатися цією задачею, нами були проаналізовані всі існуючі види маршрутизації (проста, фіксована, адаптивна), але всі вони розраховані на детерміновані задачі і розраховують на те, що кількість вузлів які будуть опрацьовані відомі з самого початку, але в нашому випадку ми не можемо це передбачити, адже нам відомо лише певне середнє значення і похибка в межах якої фактична кількість опрацьованих вузлів може від неї відхилитися, саме тому нами був обраний динамічний підхід.

Крім недовизначеності показників наша задача має ще декілька характерних ознак, а саме:

- Вся робота виконується великою кількістю машин тому необхідно уникати серед них конкуренції;

- Необхідно забезпечити максимально справедливий графік роботи для всіх машин, а саме щоб всі вони закінчили працювати максимально одночасно;

- В задачі використовуються алгоритми повного обходу (Комівояжера) тому необхідно подбати про розмірність задачі і доцільність розбиття на підзадачі для збереження оптимальної швидкості роботи та точності.

Постановка задачі для розглянутої проблеми виглядає наступним чином: нехай ми маємо теоретико-множинну модель предметної області:

$$G = \langle V, Z, R, V', L, P, K', T \rangle,$$

Де  $V$  - множина Вантажних одиниць (далі - ВО).  $Z$ - топологія розміщення ВО та місце доставки вантажу, що для кожного  $i \in V$  ВО  $v_i \in V$  встановлює географічні координати  $z_i$ ;  $C$ - множина наявних шляхів сполучення з іншими ВО та місцем доставки вантажу (в даній роботі узагальнюються показником вартості перевезення з пункту  $i$  в пункт  $j$ ,  $C = \{c_{ij}\}, i \in V, j \in V$ );  $V'$ - множина ВО, що повинна бути відвантажена протягом горизонту планування;  $L$ - наявний парк ТЗ з параметрами цих засобів та кількістю одиниць кожного виду;  $P$  - тривалість робочої зміни водіїв ТЗ;  $R$  - розклад обслуговування ВО на зміну;  $K'$ - множина рейсів (кластерів), запланована на зміну для усіх ТЗ;  $T$  - множина показників тривалості виконання змінного завданняжною машиною(водієм).

Потрібно виконати завдання складання розкладу перевезень, щоб різниця у навантаженні на кожного з водіїв, відхилення реально перевезеного від замовленого об'єму перевезень на зміну та вартість виконання всього об'єму перевезень були мінімальними при умові не перевищення тривалості робочої зміни водіїв. Тобто:

$$\arg \min_{t_1, t_2, \dots, t_n} \max_{l, l' \in L} |t_l - t_{l'}|; \quad t_l = f(R), \quad t_l < P, \quad \text{для } \forall l \in L,$$

а цільова функція виглядає:  $c = \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} \sum_{l \in L_c} c_{ij} \rightarrow \min$ .

Для реалізації комплексу задач використовуються наступні алгоритми:

- Алгоритм Джарвісу для знаходження опуклих оболонки кластеру для візуалізації проведених обчислень;
- Вирішується задача Комівояжер методом імітації відпаду, обрано саме цей метод так як він працює найшвидше і забезпечує достатню точність;
- Власний алгоритм кластеризації який дає можливість формувати кластери заданого фіксованого розміру (місткість кожного автомобіля);
- Було модифіковано обраховані алгоритмом відпаду маршрути таким чином, щоб об'єкти які будуть залишатися неопрацьованими знаходилися максимально близько до центру карти, задля того, щоб вони були в максильно зручній позиції для наступних ітерацій;
- Алгоритм знаходження наступних кластерів кандидатів, які не мають кластерів сусідів які перебувають в стані обробки (задля того, щоб мінімізувати можливість того, що ВО які залишаються останніми будуть знаходитись в максимально невідному для опрацювання місці).

**Висновки.** Розглянутий підхід до задачі складання розкладу перевезень в умовах недовизначеності показників дозволяє досягти прийнятеного рівня точності та швидкості роботи, а також враховує всю специфіку пов'язану з динамічним перерахуванням плану та проблемами які виникають по мірі збільшення розмірності задачі, через що його можна вважати перспективним та прийнятним для реального впровадження в транспортні компанії різноматніго напряму спеціалізації.

#### Список використаних джерел

1. Нариньяни А. С. Недоопределённость в системах представления и обработки знаний //Изв. АН СССР. Техн.кибернетика. – 1986. – №5.

УДК 519.854.33

<sup>1</sup> **В.В. Максим**

студент магістратури першого року навчання

<sup>2</sup> **Ю.В. Андрашко**

к.т.н., викладач кафедри системного аналізу і теорії оптимізації

<sup>1,2</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород

## ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ПРЕДСТАВНИЦТВ

**Вступ.** Нехай фірмі, що займається розповсюдженням однорідного товару на певній території що має регіональний розподіл. Задача полягає прийняти рішення щодо відкриття регіональних представництв так, щоб сумарні витрати на відкриття і виробничо-транспортні витрати були мінімальними. Крім того, необхідно врахувати перевагу клієнтів, які завжди вибирають найближчий із філіалів.

Встановлено, що сформульована задача може бути зведена до булевої задачі розміщення із урахуванням переваг клієнтів[1]:

знайти

$$\min_{x_i} \left\{ \sum_{i \in I} f_i x_i + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij} x_{ij}^*(x_i) \right\} \quad (1)$$

при умовах

$$x_i \in \{0, 1\}, i \in I, \quad (2)$$

де  $x_{ij}^*(x_i)$  – оптимальний розв’язок задачі клієнтів: знайти

$$\min_{x_{ij}} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} g_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

при умовах

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, j \in J, \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq x_i, i \in I, j \in J, \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i \in I, j \in J. \quad (6)$$

В задачі розміщення цільова функція (1) задає сумарні затрати на відкриття підприємств і обслуговування клієнтів, а задача (3)–(6) визначає переваги клієнтів.

Розроблено програмне забезпечення, яке дає змогу розв’язати булеву задачу розміщення із урахуванням переваг клієнтів методом гілок і меж [2]. Також здійснено порівняння методів гілок і меж з повним перебором за кількістю розглянутих варіантів. Тестування здійснено на наборі згенерованих випадковим чином задач. Встановлено, що метод гілок і меж значно ефективніший за повний перебір: в середньому він знаходить розв’язок відкинувши 95% варіантів.

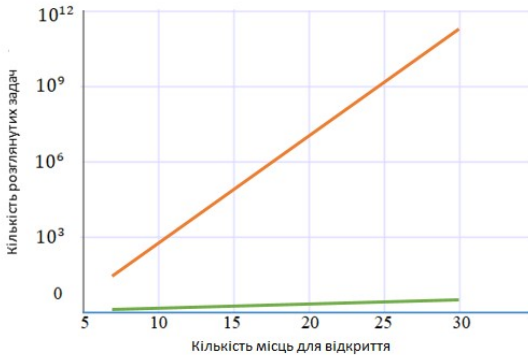


Рис. 1. Графік порівняння ефективності методів

Також запропонований метод було апробовано на задачі відкриття гуртових аптек в регіонах України. Вартість відкриття приймалась рівна вартості однокімнатної квартири у відповідному обласному центрі. А виробничо-транспортні витрати складались з фіксованих витрати на заробітну плату, комунальні послуги, тощо і витрат на доставку, які пропорційні відстані між обласними центрами. За заданих умов встановлено, що гуртові аптеки доцільно відкрити в Житомирі, Запоріжжі, Івано-Франківську, Кропивницькому, Луцьку, Сумах, Ужгороді, Херсоні і Чернігові.

**Висновки.** Задача розміщення регіональних представництв зводиться до булевої задачі розміщення із урахуванням переваг клієнтів. Розроблено програмне забезпечення для ефективного розв'язування розглянутої задачі.

#### Список використаних джерел

1. Кочетов Ю.А. Методы локального поиска для дискретных задач размещения. Новосибирск, 2009. 267 с.
2. Андрашко Ю.В., Максим В. В. Булева задача розміщення із урахуванням переваг клієнтів. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Математика і інформатика*. Ужгород: Видавництво УжНУ "Говерла". 2018. - випуск № 1 (32). С. 7–14.

УДК 004.86

<sup>1</sup>**М.М. Маляр**

Докт. техн. наук, доцент, професор кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>2</sup>**П.П. Мулеса**

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>3</sup>**М.М. Шаркаді**

Канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>1,2,3</sup>*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород*

## НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНАТЬ

**Вступ.** Одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасних комп'ютерних технологій є створення інтелектуальних систем, тобто систем, які наділені інтелектом. Під інтелектуальною системою розуміється інформаційна технологія спрямована на досягнення певної мети у відповідній області знань (виконання заданої програми дій, вирішення проблем у заданій області), що виконує свої дії, спираючись на властивий їй інтелект. Інтелект – це сукупність якостей та ознак, які пов'язані з можливостями сприйняття та моделювання навколишнього середовища, з метою вирішення задач, які постають перед людиною у процесі взаємодії із цим середовищем.

Побудова таких систем повинна орієнтуватись на певну предметну область (ПО) у якій вона буде діяти. ПО – це та частина зовнішнього світу, де система отримує певний об'єм деякої інформації та повинна відреагувати на цю інформацію. Реакція системи, як правило, подається у вигляді моделей і методів інтелектуального аналізу інформації та синтезу знань, які використовуються у вирішенні проблемних ситуацій в даній ПО. ПО, як правило, є слабко або погано структурованою. Тобто, інформація про неї є неповною, недостовірною, невизначеною, неточною, розмитою і т.д.

Спостерігаючи і вивчаючи ПО система повинна отримувати про неї нові знання, які буде використовувати для формування своєї поведінки у вигляді розв'язків завдань.

**Модель знань.** Основним завданням інтелектуальної системи є видобування знань із інформаційного простору, що описує предметну область. Інформаційний простір можна описати через дані, факти, інформацію, знання наступним чином[1]:

$$\begin{aligned} \text{Факти} &= \text{Дані} + \text{Зміст}, \\ \text{Інформація} &= \text{Факти} + \text{Мета}, \\ \text{Знання} &= \text{Інформація} + \text{Усвідомлення}. \end{aligned}$$

Тобто,

$$\text{Знання} = \text{Дані} + \text{Зміст} + \text{Мета} + \text{Усвідомлення}.$$

Дані – синтаксичні сигнали, образи, які актуалізовані за допомогою деякого джерела, тобто це величини, які мають свій синтаксис і можуть зберігатись на деякому носіїві або каналі передачі.

Факти – це дані, в які вкладається зміст у залежності від потреби їх використання.

Інформація – це дані, в які вкладається зміст в залежності від потреби(мети) їх використання і які відповідають певному синтаксису і семантиці.

Знання – це сукупність усвідомленої інформації, про властивості об'єктів, закономірності процесів і явищ, а також правил використання цієї інформації для прийняття рішень для досягнення деякої цілі.

Знання можна інтерпретувати як усвідомлення інформації яке проходить через призму інтелекту особи, яка будує модель ПО, що дозволяє робити інтелектуальний аналіз інформаційного простору та його синтез у вигляді методів, алгоритмів, процедур, правил, схем, діаграм тощо.

На сьогоднішній день існує велика кількість моделей представлення знань в інтелектуальних системах. Умовно всі моделі можна розділити на наступні групи[2]: логічні, продукційні, семантично мережеві, фреймові, математичні.

Побудова математичних моделей в цілому базується на об'єктивній інформації про об'єкт, хоча можливо і на неточній, оскільки при побудові моделі використовуються відомості отримані експертним чином, які відображають змістовні особливості досліджуваного об'єкту і формуються на природній мові. Опис об'єкту у такому випадку носить нечіткий характер. Тому для відображення знань про об'єкт доцільно використовувати теорію нечітких множин. Таким чином, проходить перехід знань у класичному розумінні до знань нечітких.

Нечіткі знання у загальному випадку можна описати через лінгвістичні змінні. Наприклад,

Якщо  $(a_1 \Xi_1 X_1 \Lambda_1 a_2 \Xi_2 X_2 \Lambda_2 \dots a_i \Xi_i X_i \dots)$  То  $\Omega_p B \Xi_j Y$ ,

де , для прикладу,  $\Xi$  = відношення належності = {Належить, Скоріше всього належить, ..., Не належить},  $\Omega$  = Відношення слідування = {Слідє, Скоріше всього слідує, ..., Не слідує},  $\Lambda$  = Відношення зв'язку = {І /АБО, Скоріше всього І /АБО, ...},  $a_i$  – елементи терм-множини лінгвістичної змінної,  $X_i$  – значення лінгвістичних змінних,  $B$  – лінгвістична змінна,  $Y$  – значення лінгвістичної змінної.

Основним елементом при побудові моделі нечітких знань являються значення лінгвістичних змінних, які можна отримати через модель відповідної функції належності нечіткої множини[1].

**Висновок.** Пропонується застосування математичного апарату теорії нечітких множин для описання моделей знань.

#### Список використаних джерел

1. Малир М.М. Інформаційна технологія обмежено-раціонального вибору в соціо-економічних системах: дис..... докт. техн. наук: 05.13.06/Малир Микола Миколайович – Київ, 2018. – 412 с.
2. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.

УДК (330.4 : 519.8 : 658.5)

<sup>1</sup>М. Я. Марко

аспірант

<sup>2</sup>Г. Г. Цегелик

доктор ф.-м. наук, професор, професор кафедри математичного моделювання соціально-економічних процесів,

<sup>1,2</sup>Львівський національний університет ім. Івана Франка, Львів

## ТРИКРИТЕРІАЛЬНА ЗАДАЧА ПЛАНУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ

Розглянемо трикритеріальну задачу планування виробництва продукції, в якій одночасно треба максимізувати прибуток від виробництва, якість продукції та попит на продукцію.

Нехай для виробництва певних видів продукції використовуються різні ресурси (сировина, знаряддя, праця тощо). Відомо скільки одиниць кожного ресурсу використовується для виробництва одиниці продукції кожного виду, якість продукції кожного виду і попит на продукцію кожного виду.

Задача полягає в тому, щоб скласти план виробництва продуктів при наявних ресурсах, який забезпечує одночасно максимальний прибуток, максимальну якість продукції та максимальний попит на продукцію.

Нехай

$n$  - кількість різних видів продукції, що можна виготовляти з наявних ресурсів;

$m$  - кількість різних ресурсів, що використовуються у виробництві;

$a_{ij}$  - кількість одиниць  $i$ -го ресурсу, що використовуються для виробництва одиниці продукції  $j$ -го виду;

$b_i$  - максимальна кількість одиниць  $i$ -го ресурсу, що можна використати в виробництві;

$c_j$  - прибуток від реалізації одиниці продукції  $j$ -го виду;

$r_j$  - показники якості продукції  $j$ -го виду;

$p_j$  - показник попиту на продукцію  $j$ -го виду;

$x_j$  - кількість одиниць продукції  $j$ -го виду, що планується виготовити.

Тоді математична модель задачі матиме вигляд:

$$L_1 = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$L_2 = \sum_{j=1}^n r_j x_j \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$L_3 = \sum_{j=1}^n p_j x_j \rightarrow \max \quad (3)$$

за умов

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Для розв'язання задачі можна використати метод ідеальної точки [1-7] при  $s=2$ . В цьому випадку компромісною альтернативою  $x^*$  буде розв'язок скаляризованої задачі



$$L = \left( \sum_{j=1}^n c_j x_j - a_1 \right)^2 + \left( \sum_{j=1}^n r_j x_j - a_2 \right)^2 + \left( \sum_{j=1}^n p_j x_j - a_3 \right)^2 \rightarrow \min$$

за умов (4), (5), де  $a_1$  - розв'язок задачі (1),(4),(5),  $a_2$  - розв'язок задачі (2),(4),(5) і  $a_3$  - розв'язок задачі (3),(4),(5). Для розв'язання цих задач можна використати симплексний метод.

Отже, розв'язання задачі дає змогу скласти план виробництва продукції так, щоб забезпечити максимальний прибуток, максимальну якість продукції і максимальний попит на продукцію при наявних ресурсах. Цю задачу можна використовувати на підприємствах, в сільському господарстві, в торгівлі тощо. Для розв'язання скаляризованої задачі можна використати метод множників Лагранжа для розв'язання задач нелінійного програмування.

#### **Список використаних джерел**

1. Волошин О.Ф., Машенко С. О. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. – К., 2010.
2. Волошин О.Ф., Машенко С. О. Теорія прийняття рішень: навч. посіб. – К., 2006.
3. Кігель В. Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці: монографія. – К., 2003
4. Марко М. Я. Використання методу послідовного введення обмежень для розв'язання однієї двокритеріальної задачі планування виробництва / М. Я. Марко, Г. Г. Цегелик, Н. В. Грипинська / Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. –2017. – №1.– С. 95-99.
5. Marko M. Y. Using the method of ideal point to solve dual-objective problem for production scheduling / M. Y. Marko, H. H. Tsegelik. – Charkiw: Science Rise. –2016. – №7/1(24). – P. 46-49.
6. Марко М. Я Використання методу послідовних поступок для розв'язання задачі підвищення рентабельності виробництва / М. Я. Марко, Г. Г. Цегелик // Наукові записки Львівського поліграфічного інституту, сер. економічні науки. – 2017. – №1. – С. 141-146.
7. Цегелик Г. Г. Моделі та методи підтримки прийняття рішень в умовах визначеності: текст лекцій/ Г. Г. Цегелик. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015.

УДК 004.023:519.816

**<sup>1</sup>О.Ю. Мулеса**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри кібернетики і прикладної математики

**<sup>2</sup>М. Р. Петюшка**

Студент

<sup>1,2</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород**НЕЧІТКІ МЕТОДИ КОЛЕКТИВНОГО ВИБОРУ**

**Вступ.** Голосування – один із способів врахування колективної думки. Відомо багато класичних методів отримання колективної оцінки та їх модифікацій, які мають свої особливості та застосовуються в різних початкових умовах. Проте, суб'єктивний характер вхідних даних у задачі голосування передбачає можливість застосування апарату теорії нечітких множин до визначення колективної думки та "об'єктивізації" суб'єктивних оцінок виборців.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо нечітку задачу голосування в такій постановці [1,2]:

Нехай дано множину кандидатів  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_M\}$  та множину виборців  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\}$ . Кожен виборець на множині кандидатів буде власну нечітку множину "Переможець" такого виду [1]:

$$B_i = \left\{ (C_j, \mu_i(C_j)) \mid C_j \in C, \mu_i(C_j) \in [0;1] \right\},$$

де  $\mu_i(C_j)$  – ступінь належності кандидата  $C_j$  до множини "Переможець" на думку виборця  $V_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, M}$ ).

Необхідно, визначити "колективного" переможця.

Позначимо  $\mu_{ij} = \mu_i(C_j)$ , тоді результати голосування можна представити матрицею  $M = (\mu_{ij})_{i=\overline{1, N}, j=\overline{1, M}}$ .

Для визначення колективного порядку пропонуються такі підходи:

**Правило 1.** Переможець обирається аналогічно до правила відносної більшості. Для цього, спочатку здійснюємо перетворення значень функції належності

$$\mu_{ij} := \frac{\mu_{ij}}{\max_{j=\overline{1, M}} \mu_{ij}},$$

та для кожного кандидата обчислюємо його результуючу оцінку:

$$c_j = \sum_{\substack{i=\overline{1, N}, \\ \mu_{ij}=1}} \mu_{ij}, \quad (j = \overline{1, M}).$$

Кандидат, оцінка  $c_j$  якого є найбільшою і є переможцем.

Аналогічно до правила відносної більшості з вибуванням, можливим є проведення другого туру у випадку, якщо  $\forall j \in \{1, 2, \dots, M\} c_j \leq M/2$ .

*Правило 2.* Здійснюємо підрахунок балів, аналогічно до правила Борда у чіткому випадку:

$$c_j = \sum_{i=1}^N \mu_{ij}, \quad (j = \overline{1, M}).$$

Кандидат, сумарний бал якого є найбільшим серед інших і стає переможцем.

*Правило 3.* У випадку, коли потрібно врахувати як симпатії так і антипатії виборців можливим є такий підрахунок балів для кандидатів. Обчислимо допоміжні оцінки таким чином:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \mu_{ij} \geq \bar{\Delta}, \\ 0, & \text{в протилежному випадку;} \end{cases}$$

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \mu_{ij} \leq \underline{\Delta}, \\ 0, & \text{в протилежному випадку;} \end{cases}$$

де  $\bar{\Delta}$  та  $\underline{\Delta}$  ( $\bar{\Delta} \geq \underline{\Delta}$ ) – відповідно задані граничні значення нечітких оцінок.

Тоді, результуюча оцінка для кожного виборця буде обчислюватися так:

$$c_j = \sum_{i=1}^N \alpha_{ij} - \sum_{i=1}^N \beta_{ij}, \quad (j = \overline{1, M}).$$

*Правило 4.* У більш загальному випадку, врахування переваг виборців може бути здійснене таким чином:

$$c_j = \sum_{\substack{i=1, N, \\ \mu_{ij} \geq \bar{\Delta}}} \mu_{ij} - \sum_{\substack{i=1, N, \\ \mu_{ij} \leq \underline{\Delta}}} (\underline{\Delta} - \mu_{ij}), \quad (j = \overline{1, M}),$$

де  $\bar{\Delta}$  та  $\underline{\Delta}$  такі ж, як і в попередньому випадку.

**Висновки.** Розроблено правила визначення колективного порядку в нечіткій задачі голосування, аналогічні до відомих правил в чіткому випадку, які враховують задані виборцями нечіткі оцінки, їх симпатії та антипатії на множині кандидатів.

#### Список використаних джерел

1. Мулеса О. Ю. Методи врахування суб'єктивного характеру вхідних даних для задачі голосування. Східно-Європейський журнал передових технологій. Серія: Процеси управління, 2015. Том 1. №3(73).С.20-25. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36699

2. Мулеса О. Ю. Евристичні алгоритми встановлення колективного порядку для задачі голосування. "Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту": збірка наукових праць. Херсон, 2015. С.198-200.

УДК 519.8

**А.М. Нагірна**

Кандидат фізико-математичних наук, доцент

Київський міжнародний університет, Київ

## ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ КОМБІНАТОРНОЇ ЗАДАЧІ УМОВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

**Вступ.** Комбінаторні задачі є моделями багатьох прикладних задач в області комп'ютерних технологій, наприклад при створенні сучасних програмних продуктів та алгоритмів. Системне вивчення властивостей комбінаторних множин та їх дослідження описані в багатьох роботах. Особливої уваги заслуговують методи, що враховують комбінаторну природу множини допустимих розв'язків [1-7].

**Постановка задачі.** Розглянемо оптимізаційну задачу вигляду:

$$Z(\Phi, C_n^k(A)): \max \{\Phi(a) \mid a \in C_n^k\}, \quad (1)$$

$$D = \{x \in R^n \mid Gx \leq (\geq) b\}, \text{ де } G \in R^{m \times n}, b \in R^m, \quad (2)$$

де  $\Phi(a) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$  – цільова функція на комбінаторній множині сполучень  $C_n^k$ .

Підхід до розв'язання задачі (1)-(2) полягає у виконанні трьох кроків, які забезпечують знаходження оптимального розв'язку максимізації оптимізаційної задачі з додатковими лінійними обмеженнями на множині сполучень.

На початковому етапі розглядається точка множини сполучень, що є максимальною та відбувається перевірка обмежень (3). При їх виконанні, необхідно здійснити перехід до наступного кроку 2. В протилежному випадку, розглядається наступна точка за спаданням. Будемо вважати, що елементи множини сполучень лексикографічно впорядковані за зростанням.

Необхідною умовою знаходження оптимального розв'язку є формування початкових умов пошуку:

$$\begin{cases} f^{нов}(x_1, x_2, \dots, x_n) = b, \\ \Delta g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \Delta b_1, \\ \Delta g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \Delta b_2, \\ \dots, \\ \Delta g_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \Delta b_n, \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{де } \Delta b_n = b_n - g_n(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (4)$$

$$\Delta g_i = \Delta g_{i2} - \Delta g_{i1} = (x_i^{g_2} * c_j + x_j^{g_2} * c_i) - (x_j^{g_1} * c_j + x_i^{g_1} * c_i) \quad (5)$$

Слід відмітити, що розраховуються лише прирости обмежень, якщо знайдений приріст перевищує зазначені умови, то не має потреби у відшуванні наступного, що значно скорочує час пошуку оптимального розв'язку.

При виконанні (3), знайдений опорний розв'язок можна покращити, за умови зростання приросту цільової функції:

$$\Delta f = \Delta f_2 - \Delta f_1 = (x_j^{f_2} * c_j + x_j^{f_2} * c_i) - (x_j^{f_1} * c_j + x_i^{f_1} * c_i) \quad (6)$$

$$\Delta f^{\max} > 0 \quad (7)$$

У випадку не виконання (7), розглядається наступна точка за спаданням при обов'язковому виконанні (3). Якщо ж відбувається повторно спадання приросту цільової функції, то необхідно повернутися до попереднього опорного розв'язку, який і буде оптимальним.

**Висновки.** В роботі представлено новий підхід до розв'язання оптимізаційної задачі на комбінаторній множині сполучень з додатковими лінійними обмеженнями. Необхідною умовою покращення існуючого опорного розв'язку є зростання приросту функції цілі, при обов'язковому виконанні обмежень. Не має потреби у розрахунках функції цілі та додаткових лінійних обмежень при розгляді точок множини сполучень, достатньо знайти та дослідити їхні прирости.

В подальшому буде досліджено даний підхід для інших комбінаторних множин, з урахуванням зростання потужності множини та використання нелінійної цільової функції в задачі оптимізації.

#### **Список використаних джерел**

1. Korte V. *Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms*. Berlin : Springer, 2018. – 698 p.
2. Koliechkina L. N. Modified Coordinate Method to Solve Multicriteria Optimization Problems on Combinatorial Configurations / L. N. Koliechkina, O. A. Dvirna, A. N. Nagornaya // *Cybernetics and Systems Analysis* V. 59 Issue 4, 2014. P. 620–626.
3. Пічугіна О.С. Двокритеріальна комбінаторна модель оптимізації телекомунікаційних мереж / О.С. Пічугіна, Л.М. Колечкіна // *Математичні машини і системи*, 2017. № 4. С. 129–144.
4. Koliechkina L. N. Solving Extremum Problems with Linear Fractional Objective Functions on the Combinatorial Configuration of Permutations Under Multicriteriality / N. Koliechkina, O.A. Dvirna // *Cybernetics and Systems Analysis* V. 53 Issue 4, 2017. – P. 590-599.
5. Нагірна А. М. Локалізація значення лінійної функції, заданої на множині сполучень / А.М. Нагірна // *Математичні машини і системи*, 2014. № 5. С. 153-156.
6. Донець Г.П. Оптимізація квадратичної функції на множині розміщень / Г.П. Донець, А.М. Нагірна // *Теорія оптимальних рішень*. – 2017. – № 1. – С. 15-21.
7. Колечкіна Л.М. Комбінаторна математична модель багатокритеріальної оптимізації при побудові комп'ютерних мереж / Л.М. Колечкіна, А.М. Нагірна // *Математичні машини і системи*. – 2016. – № 6. – С. 26-41.

УДК 004

<sup>1</sup>М.Р. Петрик<sup>2</sup>Д.М. Михалик<sup>3</sup>О.Ю. Петрик<sup>4</sup>І.О. Баран<sup>1-4</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ВИСОКОПРОДУКТИВНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ АДСОРБЦІ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ В НАНОПОРИСТИХ СЕРЕДОВИЩАХ

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  $\Omega_{m_T} = (0, T) \times \Omega_m$ ,  $(\Omega_m = (L_{m-1}, L_m), m = \overline{1, N+1}, L_0 = 0 < L_1 < \dots < L_{N+1} = 1)$  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 С:

$$C_{s_l}(t, L_l) = 1, \quad \frac{\partial C_{s_l}}{\partial Z}(t, Z=0) = 0, \quad t \in (0, T); \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial Z} \left[ C_{s_{m-1}}(t, Z) - \frac{D_{inter_{sm}}}{D_{inter_{s_{m-1}}}} C_{sm}(t, Z) \right] \right|_{Z=L_m} = 0, \quad m = \overline{1, N}, \quad t \in (0, T). \quad (5)$$

Крайові умови в кожній точці  $(Z, t) \in \Omega_{m_T}$  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  $Z \in \Omega_n$ ,  $m=1, N+1$  (intracrystallite space).

На поверхнях спостережень відомі сумарні розподіли мас

$$\left[ C_{s_m}(t, Z) + \int_0^1 Q_{s_m}(t, X, Z) X dX \right]_{Z=\gamma_{im}} = M_{s_m}(t, Z)_{Z=\gamma_{im}}, \quad i, s = \overline{1, 2}; \quad \gamma_{im} \in \Omega_m, \quad t \in (0, T). \quad (7)$$

Функціонал-нев'язка, що мінімізує відхилення модельного розв'язку від значень експериментальних слідів на  $\gamma_{im} \in \Omega_m$ :

$$J_s(D_{\text{intr}_{s_m}}, D_{\text{int}_{s_m}}) = \frac{1}{2} \int_0^T \sum_{m=1}^N \left[ \left[ C_{s_m}(\tau, Z, D_{\text{intr}_{s_m}}, D_{\text{int}_{s_m}}) + \int_0^1 Q_{s_m}(t, X, Z, D_{\text{intr}_{s_m}}, D_{\text{int}_{s_m}}) X dX - M_{s_m}(t, Z) \right]_{Z=\gamma_{im}}^2 + \left[ C_{s_m}(\tau, Z, D_{\text{intr}_{s_m}}, D_{\text{int}_{s_m}}) + \int_0^1 Q_{s_m}(t, X, Z, D_{\text{intr}_{s_m}}, D_{\text{int}_{s_m}}) X dX - M_{s_m}(t, Z) \right]_{Z=\gamma_{2m}}^2 \right] d\tau, \quad \gamma_m \in \Omega_m, \quad m = \overline{1, N+1}, \quad (8)$$

В результаті отримана задача ідентифікації (1)–(7), що полягає в знаходженні невідомих функцій  $D_{\text{int}_{s_m}} \in \Omega_D$ ,  $D_{\text{intr}_{s_m}} \in \Omega_D$  ( $D_{\text{int}_{s_m}} > 0$ ,  $D_{\text{intr}_{s_m}} > 0$ ,  $s = \overline{1, 2}$ ), де адсорбововані 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  $D_{\text{intr}_{s_m}}$  і intercrystallite space  $D_{\text{int}_{s_m}}$  як функцій від часу для  $s$ -ої дифундованої компоненти, отримуємо регуляризаційні вирази для  $n + 1$ -го кроку ідентифікації:

$$D_{\text{intr}_{s_m}}^{n+1}(t) = D_{\text{intr}_{s_m}}^n(t) - \nabla J_{D_{\text{intr}_{s_m}}}^n(t) \frac{\left[ C_{s_m}(D_{\text{int}_{s_m}}^n, D_{\text{intr}_{s_m}}^n; t, \gamma_m) + \left(\frac{1}{X}\right)_{X=\frac{1}{2}} N_{s_m}(D_{\text{int}_{s_m}}^n, D_{\text{intr}_{s_m}}^n; t, \frac{1}{2}, \gamma_m) - M_{s_m}(t) \right]}{\left\| \nabla J_{D_{\text{intr}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2 + \left\| \nabla J_{D_{\text{int}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2}, \quad t \in (0, T),$$

$$D_{\text{int}_{s_m}}^{n+1}(t) = D_{\text{int}_{s_m}}^n(t) - \nabla J_{D_{\text{int}_{s_m}}}^n(t) \frac{\left[ C_{s_m}(D_{\text{int}_{s_m}}^n, D_{\text{intr}_{s_m}}^n; t, \gamma_m) + \left(\frac{1}{X}\right)_{X=\frac{1}{2}} N_{s_m}(D_{\text{int}_{s_m}}^n, D_{\text{intr}_{s_m}}^n; t, \frac{1}{2}, \gamma_m) - M_{s_m}(t) \right]}{\left\| \nabla J_{D_{\text{int}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2 + \left\| \nabla J_{D_{\text{intr}_{s_m}}}^n(t) \right\|^2}, \quad t \in (0, T) \quad (9)$$

Тут аналітичні розв'язки прямої і спряженої ( $\phi_m(t, Z)$ ,  $\psi_m(t, X, Z)$ ) задач побудовано операційним методом Гевісайда.

**Список використаних джерел**

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.

УДК 004.9

**О.В. Присяжнюк**

канд.тех.наук, доцент, доцент кафедри інформатики та інформаційних технологій

*Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка, Кропивницький***ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ «СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ»**

Вклад дисципліни «Системний аналіз та теорія прийняття рішень» в освітню програму підготовки майбутніх фахівців з комп'ютерних наук (галузь знань 122) полягає у професійному освоєнні методів прийняття технічних рішень. Дисципліна акцентована на формуванні передусім фахових компетентностей: базові знання в області системних досліджень і вміння застосовувати їх під час управління ІТ-проектами; здійснення моделювання систем; проведення системного аналізу об'єктів інформатизації, прийняття рішень, розробки методів і систем штучного інтелекту. Крім того, дисципліна забезпечує такі загальні компетентності як креативність, здатність працювати в команді, здатність приймати обґрунтовані рішення [1].

З іншого боку, на ринку праці зростає попит на фахівців з автоматизації і оптимізації процесів прийняття рішень та раціонального вибору. Тому однією із вимог до формування практичної частини підготовки з дисципліни є наближення її до провідних світових тенденцій і потреб на світовому ринку праці в області ІТ-технологій і систем.

Тематика представлених в практикумі [2] практичних занять враховує вимоги професійних стандартів. В кожній із тем практикуму містяться: теоретичні відомості, які дають стисло характеристику теми, приклади розв'язування типових задач в рамках методів, які вивчаються, індивідуальні дослідницькі завдання, контрольні питання для самоперевірки.

Індивідуальні дослідницькі завдання передбачають залучення студентів до їх виконання як в якості експертів, так і аналітиків, а при необхідності і проведення ними колективних експертиз.

Оцінка індивідуальних завдань здійснюється з урахуванням трьох критеріїв, які відображають найбільш значимі аспекти цього виду роботи. «Вага» кожного критерію коливається від 3 до 5 балів, чисельне значення – від 0 балів до максимальної «ваги» критерію. Нижче наведено формулювання повноти виконання кожного критерію.

Таблиця 1 – Опис критеріїв

Назва	Значення
Критерій 1	Ціль і задачі (об'єкти і критерії) чітко сформульовані та відповідають обраній темі.



Критерій 2	Правильно виконані обчислення в рамках досліджуваних методів, наявність програмної реалізації
Критерій 3	Усі зроблені висновки свідчать про самостійне виконання роботи, наявність обґрунтованої оцінки ступені досяжності цілі

В ході виконання завдань практикуму студенти вивчають методи обробки індивідуальних експертних оцінок, заданих у різний спосіб і в різних умовах впливу середовища та набувають практичних навичок структурування альтернатив.

Основна увага приділена методам визначення оптимальних рішень в умовах колективного прийняття рішення та способам оцінювання міри узгодженості думок експертів. Для формування у студентів навичок проведення колективних експертиз та знаходження результуючого рішення на практиці з ними розглядається один з найбільш популярних методів колективної експертизи – метод Делфі [3]. Робота проводиться в декілька етапів.

**Етап 1.** Підготовка до проведення експертизи: вибір предметної області, генерування показників оцінки ефективності, підготовка бланку опитування.

**Етап 2.** Проведення власне самої експертизи. Для цього формуються групи з 4-5 студентів і заповнюються бланки-опитувальники з обов'язковою процедурою самооцінки експертів. При цьому усі студенти виступають одночасно і у ролі експертів, приймаючи участь у предметних групах своїх колег, так і у ролі аналітиків, обробляючи результати особисто організованої експертизи.

**Етап 3.** Обробка результатів індивідуального опитування. При обробці оцінок експертів виходить узагальнена інформація про досліджуване явище або процес і формується рішення проблеми, що задається метою експертизи. Важливою є задача визначення надійності результатів обробки. У зв'язку з цим пропонується студентам оцінити також ступень узгодженості думок експертів.

#### **Список використаних джерел**

1. Морозова Т. Вища ІТ-освіта в Україні (системне дослідження) : монографія / Тетяна Морозова. – Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2010. – 286 с.
2. Присяжнюк О.В. Практикум з теорії прийняття рішень: навч. посіб. / О.В. Присяжнюк – Кропивницький: ЦДПУ імені В. Винниченка, 2018. – 76 с
3. Присяжнюк О.В. Досвід організації колективної експертизи в навчальних цілях при вивченні дисципліни «Системний аналіз та теорія прийняття рішень» / О.В. Присяжнюк // Потенціал сучасної науки (частина І): матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 10-11 листопада 2018 року. – Київ: МЦНД, 2018. – С. 51-53.

УДК 519.854

<sup>1</sup>**В.О. Рошин**

Канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр., ст. наук. співр.

<sup>2</sup>**П.В. Шило**

Канд. фіз.-мат. наук, мол. наук. співр.

<sup>3</sup>**Д.О. Боярчук**

Наук. співр.

<sup>1-3</sup>*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ***НАБЛИЖЕНІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПРО ПОКРИТТЯ**

Задача про покриття є поширеною екстремальною задачею на множинах. Її математична модель описується в такому вигляді: знайти

$$\min \left\{ c_j x_j \left| \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, i = 1, \dots, m, x_j = 0 \vee 1, j = 1, \dots, n \right. \right\}, \quad (1)$$

де  $a_{ij} = 0 \vee 1, c_j \geq 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ .

Для розв'язання NP-важкої задачі вигляду (1) на основі методу глобального рівноважного пошуку (ГРП) [1] та з урахуванням специфіки задачі розроблено наближений алгоритм. У його схемі в якості пошукового використовувався алгоритм випадкового повторного локального пошуку. Ефективність алгоритму ГРП підтверджена результатами обчислювального експерименту з розв'язання взятих із сайту <http://mscmga.ms.ic.ac.uk/jeb/orlib/scpinfo.html> 65 тестових задач розмірністю до 10000 змінних та 1000 обмежень включно. Проведено порівняння алгоритму ГРП з кращими відомими для цієї задачі алгоритмами, яке показало його переваги над більшістю порівнюваних алгоритмів за часом отримання розв'язків та їхньою якістю.

Задача про найкоротше покриття є частковим випадком задачі (1) при додатковій умові  $c_j = 1, j = 1, \dots, n$ . Вона є найбільш складним підкласом задач про покриття. Для розв'язання цієї задачі запропоновано алгоритм випадкового повторного локального пошуку. Порівняльне експериментальне дослідження кращих відомих та запропонованих алгоритмів підтвердило переваги останнього. Для 19 задач ним знайдено нові рекордні розв'язки, а для інших – відомі рекордні розв'язки з меншими затратами часу. У подальшому алгоритм випадкового повторного локального пошуку для розв'язання задачі про найкоротше покриття був модифікований з використанням “даремних” ходів [2]. Це дало змогу розширити пошукові можливості алгоритму та знайти новий рекордний розв'язок задачі з числом змінних  $n = 10\ 000$  та обмежень  $m = 1\ 000$ .

**Список використаних джерел**

1. Шило В.П. Метод глобального равновесного поиска. Кибернетика и системный анализ. 1999. № 1. С. 74–81.
2. Шило П.В. Применение «бесполезных» ходов при решении задачи о покрытии. Компьютерная математика. Киев: ИК НАН Украины, 2014. № 1. С. 150 – 158.

УДК 519.8

**І.І. Рясна**

науковий співробітник

*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ*

## **ПРО АДЕКВАТНІСТЬ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗА НАЯВНОСТІ ЯКІСНОЇ ТА КІЛЬКІСНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

**Вступ.** Задачі оптимізації на нечітких множинах за наявності якісної та кількісної інформації згідно підходу до класифікації задач Г. Саймона і А. Ньюелла [1] є слабкоструктурованими задачами. За наявності нечіткості даних та невизначеності, яка пов'язана з вимірюванням властивостей об'єктів у різних шкалах за С. Стівенсом, проведемо таку класифікацію слабкоструктурованих задач.

**Основна частина.** Задачі *першого типу* – задачі, у яких невизначеність пов'язана з використанням нечітких характеристик, що визначаються в абсолютних шкалах. Задачі першого типу, як правило, розв'язуються у рамках нечіткого математичного програмування [2] без застосування методів репрезентативної теорії вимірювань. Задачі *другого типу* – задачі, у яких невизначеність пов'язана з використанням різнотипних якісних і кількісних чітких характеристик. Для формалізації цих задач використовуються методи репрезентативної теорії вимірювань без використання теорії нечітких множин. Задачі *третього типу* – задачі, у яких невизначеність пов'язана з наявністю різнотипних якісних та/або кількісних чітких характеристик, а також з використанням нечітких характеристик, функції належності яких визначаються за різними шкалами. Істотним для задач третього типу є поєднання двох видів невизначеності – нечіткості та невизначеності результатів вимірювань функцій належності за шкалами різного виду.

Нечіткі множини, функції належності яких вимірюються за різними шкалами, за аналогією з визначенням поняття "недовизначена множина" [3], назовемо недовизначеними нечіткими множинами [4]. Метою введення поняття "недовизначена нечітка множина" є фіксація наявності невизначеності числових вимірювань функції належності у шкалах порядку, інтервалів та відношень. Така невизначеність породжується сутністю поняття "шкала вимірювань" у репрезентативній теорії вимірювань, яке визначається групою функцій належності, які пов'язані допустимими перетвореннями. Згідно наведеної класифікації задачі оптимізації на недовизначених нечітких множинах є слабкоструктурованими задачами третього типу.

Основні проблеми, що розглядаються у репрезентативній теорії вимірювань, це проблеми подання, єдиності та адекватності [5]. Проблема подання полягає в доведенні того, що побудована формальна модель є гомоморфною емпіричній системі з відношеннями. Проблема єдиності полягає у визначенні типу допустимих перетворень результатів вимірювань. Для цього потрібно визначити тип шкали, за допомогою якої здійснюється вимірювання.

Тип шкали визначає як зміст поняття єдиності, так і тип допустимих перетворень результатів вимірювань. Проблема адекватності пов'язана з проблемою єдиності. Результати розв'язування задач розглядаються як адекватні, якщо вони не змінюються за допустимих перетворень у шкалах вимірювань, що використовуються.

Нехай задано дві подібних системи:  $M_1 = \langle E; S_1, \dots, S_n \rangle$  – емпірична система з відношеннями, де  $E = \{e_j\}$  – множина об'єктів (елементів) емпіричної системи з відношеннями,  $S_1, \dots, S_n$  – задані відношення на  $E$ , та  $M_2 = \langle A; R_1, \dots, R_n \rangle$  – числова система з відношеннями або математична система з відношеннями, де  $A = \{a_j\}$  – множина елементів числової системи з відношеннями або математичної системи з відношеннями,  $R_1, \dots, R_n$  – відношення, задані на  $A$ . Нехай  $a_j \in A$  є результатом вимірювань властивостей емпіричного об'єкту  $e_j \in E$ :  $a_j = f(e_j)$ ,  $f: E \rightarrow A$ .

*Означення.* Формальна модель  $M_2$  називається *адекватною*, якщо відображення  $f$  є гомоморфізмом, який зберігає у  $M_2$  відношення емпіричної системи  $M_1$  за допустимих перетворень у шкалах, що застосовані при вимірюваннях.

**Висновки.** При побудові адекватної формальної моделі емпіричної системи з відношеннями необхідно урахувати проблему подання. Відсутність дослідження цієї проблеми може привести до застосування відображення, яке не є гомоморфним [6, 7]. У рамках репрезентативної теорії вимірювань поняття "адекватність" має сенс, який пов'язано лише з невизначеністю числового подання результатів вимірювань властивостей емпіричних об'єктів [5]. Тому, на наш погляд, у рамках репрезентативної теорії вимірювань необхідно розширення поняття "адекватність" для того, щоб проблема подання стала його складовою.

#### **Список використаних джерел**

1. Simon H. A., Newell A. Heuristic problems solving: the next advance in operation research. *Operation Reserch*. 1958. vol. 6, № 1. P. 1–10.
2. Волошин О.Ф., Машенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень. К.: "Видавництво Людмила", 2018. 292 с.
3. Нариньяни А.С. Неопределенные множества – новый тип данных для представления знаний. Препринт 232. Проект ВОСТОК. Вып. 4. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1980. 27 с.
4. Рясна І.І. Проблеми формалізації задач комбінаторної оптимізації на нечітких множинах *Теорія оптимальних рішень*. 2018. Вип. 15. С. 29–34.
5. Суппес П., Зинес Дж. Основы теории измерений. *Психологические измерения*. М.: Мир, 1967. С. 9–110.
6. Riasna I. On problem of adequacy of multiset mathematical models. *Information Theories and Application*. 2015. 22, № 2. P. 188 – 199.
7. Рясная И.И. Об адекватности нечеткой шкалы в задачах нечеткого кластерного анализа. *Компьютерная математика*. 2018. Вып. 2. С. 71–79.

УДК 519.8

<sup>1</sup> **Н.В. Семенова**

доктор фіз.-мат. наук., провідний науковий співробітник

<sup>2</sup> **М.М. Ломага**

старший викладач

<sup>3</sup> **В.В. Семенов**

молодший науковий співробітник

<sup>1,3</sup> *Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ*<sup>2</sup> *ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ ПАРЕТО-ЛЕКСИКОГРАФІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ З КВАЗІОПУКЛИМИ ФУНКЦІЯМИ КРИТЕРІЇВ

Значна кількість задач, зокрема, задачі оптимізації складних систем, стохастичного програмування в умовах ризику, динамічного характеру тощо, можна представити у вигляді задач лексикографічної оптимізації [1, 2]. До того ж кількість критеріїв, як правило, може бути значною, що призводить до зростання обчислювальної складності алгоритмів знаходження оптимальних розв'язків. У зв'язку з цим важливим є підхід, що ґрунтується на заміні багатокритеріальної задачі оптимізації однією або багатьма простішими задачами оптимізації, такими, щоб їх оптимальні розв'язки були оптимальними розв'язками і для даної задачі [3].

Парето-лексикографічна згортка порядків виникає в тому випадку, якщо рівноважливі порядки строго ранжирувані за пріоритетом.

Нехай  $F(x) = (f_1(x), \dots, f_l(x))$  – складена згортка критеріїв  $f_k(x) = (f_{k1}(x), \dots, f_{kl}(x))$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$ , в субординації попарної рівноважливості, кожен з яких є векторною згорткою квазіопуклих функцій критеріїв  $f_{ki}(x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, l_k$  у субординації строгого ранжирування.

Досліджується задача парето-лексикографічної максимізації

$$\max^{PL} \{F(x) | x \in X\}, \quad (1)$$

де  $X \subset R^n$  – замкнена обмежена допустима множина, яка описується системою лінійних рівнянь та нерівностей. Якщо  $l = 1$ , то маємо задачу лексикографічної оптимізації, якщо для всіх  $1 \leq k \leq l$ ,  $l_k = 1$ , то маємо задачу паретівської оптимізації.

Знаходження оптимальних розв'язків задачі (1) можна звести до задач лексикографічної максимізації.

Нехай всі векторні функції  $f_k(x)$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$ , мають однакове число компонент. Позначимо  $Z(F(x)) = \sum_{i=1}^l \alpha_i f_i(x)$ , де  $\alpha_i > 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, l$ ,  $\sum_{i=1}^l \alpha_i = 1$ .

Розглянемо задачу лексикографічної максимізації

$$\max^L \{Z(F(x)) | x \in X\}. \quad (2)$$

Нехай  $PI(F, X)$  – множина оптимальних розв’язків парето-лексикографічної задачі (1),  $L(Z, X)$  – множина оптимальних розв’язків задачі лексикографічної оптимізації (2).

Справедлива теорема [2]

**Теорема 1.** Оптимальний розв’язок задачі (2) є оптимальним розв’язком парето-лексикографічної задачі (1).

**Наслідок.**  $L(Z, X) \subset PI(F, X)$ .

Якщо задача (2) має розв’язки, то серед них є оптимальні розв’язки, які є крайніми точками множини  $X$  [4, 5].

Нехай  $PL^v(F, X)$ ,  $L^v(Z, X)$  відповідно множини оптимальних розв’язків задач (1) і (2), які є крайніми точками множини  $X$ . Тоді має місце теорема

**Теорема 2.**  $PL^v(F, X) \neq \emptyset$ .

Розв’язок задачі (2) можна знайти шляхом зведення початкової задачі до скалярної з функціоналом, що є згортокою часткових критеріїв [4, 5], або за схемою скаляризації [2]. В частковому випадку можна використати наближений алгоритм розв’язування лексикографічних задач з опуклими функціями критеріїв [6].

Отже, лексикографічна оптимізація може застосовуватись для пошуку оптимального розв’язку задач багатокритеріальної оптимізації у визначеній субординатії, заданій на множині критеріїв.

#### Список використаних джерел

1. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Советское радио, 1975. 312 с.
2. Червак Ю.Ю. Оптимізація. Непокрашуваний вибір. Ужгород: Ужгородський національний університет, 2002. 312 с.
3. Семенова Н.В., Колечкіна Л.М. Векторні задачі дискретної оптимізації на комбінаторних множинах: методи дослідження та розв’язання. Київ: Наукова думка, 2009. 266 с.
4. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. 2-е изд., испр. и доп. М.: Физматлит, 2007. 256 с.
5. Ломага М.М., Семенов В.В. Квадратичні задачі лексикографічної оптимізації: властивості та розв’язання. Комп’ютерна математика, 2013. № 2. С. 134-143.
6. Семенова Н., Ломага М., Семенов В. Алгоритм решения многокритериальных задач лексикографической оптимизации с выпуклыми функциями критериев. International Journal “Information Theories and Applications”, 2014. Vol. 21. N. 3. P.254-262.

УДК 519.854

**<sup>1</sup>І.В Сергієнко**

Докт. фіз.-мат. наук, професор, академік НАН України, директор

**<sup>2</sup>В.П. Шило**

Докт. фіз.-мат. наук, професор, пров. наук. співр.

<sup>1,2</sup>*Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ*

## ПРО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Останнім часом інтенсивний розвиток отримало дискретне програмування, орієнтоване на розв'язання складних задач, які виникають при прийнятті рішень у різних сферах людської діяльності. В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України ведуться роботи по створенню нових і модифікації відомих методів для складних задач дискретної оптимізації. Значна увага приділяється їхній ефективності шляхом порівняння розроблених та кращих відомих методів за допомогою обчислювального експерименту. Такий підхід вважається раціональним, оскільки теоретичні дослідження ефективності алгоритмів можна використовувати тільки для досить обмеженого кола таких задач.

XXI ст. сформувало нові виклики: надскладні задачі дискретної оптимізації великої розмірності в галузі економіки, медицини, біології тощо неможливо розв'язувати без нових підходів. В Інституті основний акцент [1,2] зроблено на вивченні об'єднань алгоритмів, які розв'язують задачі на багатопроцесорному обчислювальному комплексі, виборі їхнього оптимального складу, способів взаємодії. Також ведеться розробка елементів штучного інтелекту, що дозволить автоматизувати розв'язання цих задач у реальному часі. Створення нових алгоритмів, призначених для розв'язання оптимізаційних задач у складі об'єднань алгоритмів, є важливою частиною цих досліджень. Різні технології обробки розв'язків збільшують спектр можливостей розроблених алгоритмів.

Для підвищення ефективності методів дискретного програмування авторами запропоновано також нову технологію, засновану на формуванні «ядра» розв'язку, що дає змогу прискорити оптимізаційний процес. Проведено порівняльне дослідження двох версій нового алгоритму розв'язання квадратичної задачі про призначення (з технологією виділення ядра і без неї) з сучасними алгоритмами. Воно показало перспективність використання цієї технології як за швидкістю, так і за можливістю отримання кращих розв'язків. Технологію ядра легко впровадити в існуючі алгоритми.

### Список використаних джерел

1. Shylo V.P., Glover F., Sergienko I.V. Teams of global equilibrium search algorithms for solving the weighted maximum cut problem in parallel. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2015. Vol. 51, N 1. P. 16–24.
2. Shylo V.P., Shylo O.V. Algorithm Portfolios and Teams in Parallel Optimization. In: *Optimization Methods and Applications*. Eds. S. Butenko, P.M. Pardalos, V. Shylo. New York: Springer, 2017. P. 453–465.

УДК 519.85

<sup>1</sup> П.І. Стецюк

Д. ф.-м. н., с.н.с., завідувач відділу

<sup>2</sup> А.В. Івлічев

Провідний інженер-програміст

<sup>1,2</sup> Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ**МЕТОД ЕЛІПСОЇДІВ ТА ОСТАВЕ-ПРОГРАМА EMSHOR**

**Вступ.** Метод еліпсоїдів [1, 2] є частковим випадком субградієнтних методів з розтягом простору в напрямі субградієнта. Для опуклої функції  $f(x)$ ,  $x \in R^n$  опишемо алгоритмічну реалізацію методу еліпсоїдів у  $B$ -формі, запропонованій Н.З.Шором [2], для знаходження точки  $x_\varepsilon^*$ , для якої  $f(x_\varepsilon^*) - f^* \leq \varepsilon_f$ , де  $f^* = f(x^*)$ ,  $g(x_k)$  – субградієнт функції  $f(x)$  в точці  $x_k$

**Алгоритм знаходження  $x_\varepsilon^*$**  має такий вигляд.

**Ініціалізація.** Виберемо стартову точку  $x_0 \in R^n$  та радіус  $r_0$  так, щоб  $\|x_0 - x^*\| \leq r_0$ . Введемо до розгляду  $n \times n$ -матрицю  $B$  та покладемо  $B_0 := I_n$ , де  $I_n$  – одинична  $n \times n$ -матриця. Перейдемо до першої ітерації з  $x_0$ ,  $r_0$  та  $B_0$ .

Нехай на ітерації  $k$  знайдено  $x_k \in R^n$ ,  $r_k$ ,  $B_k$ . Перехід до ітерації  $(k+1)$  полягає у виконанні такої послідовності дій.

**Крок 1.** Обчислимо  $f(x_k)$  та  $g(x_k)$ . Якщо  $\|B_k^T g(x_k)\| r_k \leq \varepsilon_f$ , то "Зупинка:  $k^* = k$  і  $x_\varepsilon^* = x_k$ ". Інакше переходимо до кроку 2.

**Крок 2.** Обчислимо чергову точку

$$x_{k+1} := x_k - h_k B_k \xi_k, \quad \text{де } \xi_k := \frac{B_k^T g(x_k)}{\|B_k^T g(x_k)\|}, \quad h_k = \frac{1}{n+1} r_k.$$

**Крок 3.** Обчислимо

$$B_{k+1} := B_k + \left( \sqrt{\frac{n-1}{n+1}} - 1 \right) (B_k \xi_k) \xi_k^T \quad \text{та} \quad r_{k+1} := r_k \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$

**Крок 4.** Перейдемо до ітерації  $(k+1)$  зі значеннями  $x_{k+1}$ ,  $r_{k+1}$ ,  $B_{k+1}$ .

**Теорема.** Послідовність точок  $\{x_k\}_{k=0}^{k^*}$ , що генерується алгоритмом, задовольняє нерівності

$$\|B_k^{-1}(x_k - x^*)\| \leq r_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, k^*.$$

На кожній ітерації  $k$ , де  $1 \leq k \leq k^*$ , відношення об'ємів еліпсоїдів  $E_k = \{x: \|B_k^{-1}(x_k - x)\| \leq r_k\}$  та  $E_{k-1} = \{x: \|B_{k-1}^{-1}(x_{k-1} - x)\| \leq r_{k-1}\}$ , що локалізують  $x^*$ , є величина стала та рівна

$$q_n = \frac{\text{vol}(E_k)}{\text{vol}(E_{k-1})} = \frac{n}{n+1} \left( \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \right)^{n-1} < \exp \left\{ -\frac{1}{2n} \right\} < 1.$$



Наведений алгоритм реалізовано програмою **emshor** на мові Octave. Вона використовує octave-функцію вигляду **function [f, g] = calcfg (x)**, яка обчислює значення  $f = f(x)$  та субградієнт  $g = g(x)$  в точці  $x$ . Ця функція готується користувачем та може мати довільне ім'я, яке підтримує синтаксис Octave. Код програми **emshor**, що включає короткі коментарі, наведено нижче.

```
# Вхідні параметри:
# calcfg - ім'я функції для обчислення f та g
# x0 - стартова точка, x0(1:n)
# rad - радіус кулі, що локалізує точку мінімуму
# epsf, maxitn - параметри зупинки (точн., макс. ітер.)
# intr - інтервал друку (через кожні intr ітерацій)
# Вихідні параметри:
# x - знайдене наближення до точки мінімуму, x(1:n)
# f - значення функції f в точці x
# itn - кількість виконаних ітерацій
# ist - код завершення (1 = epsf, 4 = maxitn)
function [x,f,itn,ist] = emshor(calcfg,x0,rad,          #row01
                               epsf,maxitn,intp);
dn=double(length(x0)); beta=sqrt((dn-1.d0)/(dn+1.d0)); #row02
x=x0; radn=rad; B=eye(length(x));                    #row03
for (itn = 0:maxitn)                                  #row04
    [f, g1] = calcfg(x); g=B'*g1; dg=norm(g);         #row05
    if(radn*dg < epsf) ist = 1; return; endif         #row06
    xi=(1.d0/dg)*g; dx = B * xi;                     #row07
    hs=radn/(dn+1.d0); x -= hs * dx;                  #row08
    B += (beta - 1) * B * xi * xi';                  #row09
    radn=radn/sqrt(1.d0-1.d0/dn)/sqrt(1.d0+1.d0/dn); #row10
    if(mod(itn,intp)==0)                               #row11
        printf("itn %4d  f %14.6e\n",itn,f);        #row12
    endif                                             #row13
endfor                                               #row14
ist = 4;                                             #row15
endfunction                                          #row16
```

Програма **emshor** завершується виконанням однієї з двох умов: 1) знайдена точка  $x_e^*$  – така, що  $f(x_e^*) - f^* \leq \varepsilon_f$  (**ist=1**), 2) **maxitn** ітерацій виявилось недостатньо (**ist=4**).

**Висновки.** За допомогою програми **emshor** можна знаходити досить точні наближення до точки мінімуму опуклої функції від декількох десятків змінних. Так, наприклад, якщо  $n = 30$  то для цього потрібно декілька секунд на сучасних персональних ЕОМ з використанням GNU Octave версій 3.0.0 та вище.

#### Список використаних джерел

1. Юдин Д.Б., Немировский А.С. Информационная сложность и эффективные методы решения выпуклых экстремальных задач. Экономика и математические методы. 1976. Вып. 2. С. 357–369.
2. Шор Н.З. Метод отсечения с растяжением пространства для решения задач выпуклого программирования. Кибернетика. 1977. № 1. С. 94–95.

УДК 004.5

**О.В. Терендій**

Кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача  
НАН України, Львів.

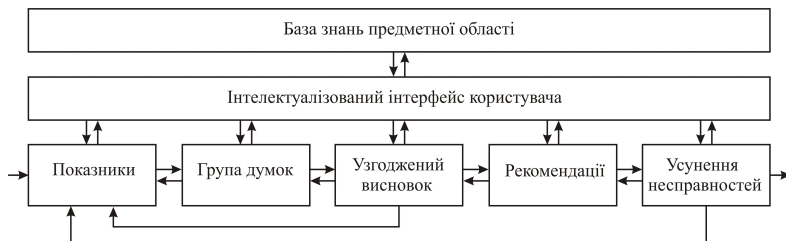
## ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАДАНІЙ ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ

**Вступ.** На теперішній час системи підтримки прийняття рішень використовуються у різноманітних галузях людської діяльності, зокрема в діагностиці. Вони призначені полегшити та пришвидшити процес прийняття зваженого рішення. Часто для встановлення точного діагнозу потрібно залучити одночасно цілу групу фахівців (експертів) і здійснювати процес визначення діагнозу з використанням швидкісних засобів обробки інформації. Дана робота присвячена аналізу комплексу проблем, пов'язаних з організацією такого роду діяльності.

Часто діагностування і прийняття рішень у ряді предметних областей (ПО) є неефективним без аналізу думок колективу експертів, та інших залучених або зацікавлених сторін і узгодження цих думок. Запропонована методика проведення узгодженої діагностики із залученням групи експертів.

**Опис процесу діагностування складного об'єкта.** Вирішувана проблема полягає у розробці автоматизованої системи (АС) для одержання та опрацювання діагностичних даних, основними компонентами якої є база знань та інтелектуалізований інтерфейс користувача, що спрощує процес отримання та опрацювання даних і підвищує їх об'єктивність.

На рисунку наведена структура процесу діагностування складного об'єкта. Блок *Показники* відображає етап обстеження такого об'єкта і включає вимірювання тих або інших характеристик та опитування причетних до діагностування осіб. Блок *Група думок* задає формування експертами сукупності гіпотез стосовно діагностичного висновку, вироблених на основі аналізу показників і зафіксованої в рамках формального підходу до подання знань. Блок *Узгоджений висновок* – це узагальнення думок усіх експертів про стан складного об'єкта, подане в деякому формалізованому вигляді.



Блок *Рекомендації* – це призначення рекомендованих дій, можливо з альтернативними варіантами, але також описаними на деякій формалізованій мові. Блок

*Усунення несправностей* – відображає узгодження експертами рекомендацій, вироблених з урахуванням конкретних можливостей і обмежень апаратури, фармакології, тощо. Присутні на рисунку зворотні зв'язки свідчать про те, що весь процес або його окремі частини можуть повторюватися.

Інтелектуалізований інтерфейс користувача та база знань автоматизованої системи [1] забезпечують користувачу, що немає спеціальної підготовки в галузі обчислювальної техніки, можливість отримання та опрацювання даних і підвищує їх об'єктивність.

Оскільки однією із основних причин виникнення конфліктів і непорозумінь при розв'язанні тієї чи іншої проблеми є некоректність її формулювання і неоднозначність трактування основних понять зацікавленими сторонами, які задіяні в цей процес. Щоб уникнути неоднозначності тлумачення термінів ПО використовується словник ПО, який входить до складу бази знань АС. У разі необхідності додаткового узгодження тлумачень окремих вжитих понять, для однозначного трактування змісту запитання може бути використана відповідна формалізована процедура узгодження думок і пропозицій групи експертів. Оцінювання експертами міри відповідності кожного з варіантів тлумачення даного терміну є можливим або в абсолютному вигляді (дискретному, неперервному), або шляхом попарного порівняння, або унаслідок порівняння всіх запропонованих варіантів. У результаті використання цієї процедури отримується строге однозначне формулювання аналізованого варіанту проблеми діагностики. Описано способи вибору структури простору об'єктивних показників  $P$  розмірності  $n_p$ , простору діагностики  $D$  розмірності  $n_d$  та простору рекомендованих експертами дій  $C$  розмірності  $n_c$ , в якому обов'язково задається метрика для того, щоб оцінити розбіжності у рекомендаціях експертів. Процедура узгодженої діагностики завершується, якщо всі рекомендовані експертами дії потрапляють до  $\varepsilon$ -околу довільної точки простору  $C$ .

Запропоновано методіку зближення думок експертів, коли проводиться розширення простору об'єктивних показників  $P$  завдяки отриманню нових даних шляхом додаткових досліджень. При цьому відкидаються ті експерти, які мають найбільше відхилення в просторі діагностики  $D$  або найменший ступінь компетентності у вирішуваній проблемі. Далі залучаються нові експерти і запускається спеціальна людино-машинна процедура, що організовує діалог між експертами, які займають протилежні позиції, і сприяє зближенню їх думок.

**Висновки.** Описана вище інформаційна модель діагностування складного об'єкта використана в автоматизованій системі АСПО під час формування анкети для опитування респондентів з метою отримання вхідних даних для їх аналізу і одержання діагностичного висновку, а також для проведенні опитування експертів при встановленні діагнозу.

#### Список використаних джерел

1. Терендій О.В. Інтелектуалізація інтерфейсу автоматизованої системи опрацювання даних. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. Львів, 2018. Вип. 27. С.112

УДК 519.14+519.168

**Н.К. Тимофієва**

Д.т.н., с.н.с., п.н.с.

*Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, Київ*

## ПРО СЕМАНТИКУ В ШТУЧНОМУ ІНТЕЛЕКТІ

**Вступ.** Семантика – досить актуальна проблема. Її досліджують в різних галузях: мовознавстві, комп'ютерних науках, зокрема і в штучному інтелекті. Як відомо, семантика – дисципліна, яка вивчає знаки та знакові системи з точки зору їхньої суті. В мовознавстві вона вивчає значення слів та виразів і зміну цих значень. Як інструмент її вивчення використовують семантичний аналіз, який встановлює значення об'єкта, що розглядається. Для побудови моделей задач цього класу використовують семантичне моделювання.

**Постановка проблеми.** В штучному інтелекті мають місце задачі, які можна віднести до семантики. Задача полягає в проведенні семантичного аналізу цих задач та відповіді на запитання, які із них відносяться до проблеми, що розглядається.

**Мета дослідження.** Виявлення задач із семантики з метою встановлення їхньої належності до штучного інтелекту та розроблення способів їхнього розв'язання автоматичним способом.

**Задачі семантичного аналізу.** Проблемі семантики присвячено багато літератури. Як правило, до цього напрямку відносять задачі, пов'язані з мовознавством. В штучному інтелекті розглядаються задачі, які потребують встановлення суті предмету, але способи до їхнього розв'язання не завжди дозволяють досягти поставленої мети. Нижче виділимо задачі штучного інтелекту, які можна віднести до семантики.

1. *Розпізнавання мовлення* – це процес автоматичної обробки мовленнєвого сигналу з метою визначення послідовності слів, яка передається цим сигналом. Вона полягає у знаходженні для вхідного сигналу найбільш правдоподібного еталону з усіх можливих еталонних сигналів [1]. В цій задачі має місце порівняння еталону із вхідним сигналом для встановлення слова (речення) яке передає вхідний сигнал. Шляхом порівняння встановлюється дослівна їхня подібність без аналізу на смислове значення слів (речення). Оскільки, розпізнавання мовлення не встановлює значення слова чи речення, то ця задача не відноситься до задач семантики.

2. *Розпізнавання дитячого, жіночого, чоловічого голосу.* Задача розпізнавання дитячого, жіночого, чоловічого голосу проводиться шляхом аналізу сигналу на значення амплітуди, довжину періоду основного тону. Ця задача є розв'язною, оскільки оговорені параметри можна описати достатньо строго. В цій задачі встановлюється суть предмету, тому її можна віднести до задач із семантики.

3. *Багатодикторне мовлення.* Мовленнєві сигнали, що відповідають одному і тому ж слову, але вимовлені різними дикторами, відрізняються як

частотою так і величиною амплітуди. Тут, як і в розпізнаванні, проводиться знаходження для вхідного сигналу найбільш правдоподібного еталону з усіх можливих еталонних сигналів. Але для розпізнавання необхідно проводити адаптацію до голосу нового диктора. Ця задача частково відноситься до семантичного аналізу, оскільки необхідно розпізнати індивідуальний голос.

4. *Задача клінічної діагностики.* Ця задача полягає у знаходженні для множини ознак, які характеризують захворювання пацієнта, найбільш правдоподібного одного або кількох еталонів із множини захворювань, тобто за вхідними ознаками встановлюється одне або кілька захворювань [2]. Ознаки в цій задачі відіграють роль критеріїв, за якими оцінюється її розв'язок. Оскільки в цій задачі встановлюється суть об'єкту, то її віднесемо до задач із семантики.

5. *Порівняння текстів на плагіат.* Існуючі програмні засоби порівнюють однакові слова або фрази. Якщо текст збігається з оригіналом, то програми досить просто виявляють плагіат. Якщо суть (значення) тексту, що аналізується залишається той же, що і в оригіналі, але переданий іншими фразами (словами), то при виявленні плагіату необхідно проводити семантичний аналіз обох текстів. Ця задача відноситься до семантики, але існуючими підходами аналіз на суть об'єкта проводити досить складно.

6. *Криптографія, дешифрування аерознімків, забутих писемностей тощо* відноситься до задач із семантики. На початковому етапі дешифрування об'єкт сприймається без визначення його суті. На другому етапі (розпізнавання) окремо сприймаються і аналізуються складові ознаки об'єкта і визначається суть виявленого об'єкта. Третій етап (інтерпретація) – заключний, найбільш складний етап дешифрування, під час якого аналізуються і узагальнюються кількісні та якісні ознаки. Сміслова сторона дешифрування не завжди піддається автоматизації.

7. *Автоматичний переклад текстів з однієї мови на іншу.* Переклад текстів проводиться двома способами: дослівний і художній. Перший підхід не є задачею із семантики, тому що в результаті отримуємо дослівний переклад без аналізу його на суть і він піддається автоматизації. Але, зазвичай, переклад здійснений таким чином не є якісним. У другому підході для здійснення якісного перекладу необхідно проводити аналіз предмета на сутність. Але в цьому разі автоматизувати художній переклад текстів досить складно.

**Висновки.** Отже, розглянуті задачі відносяться до штучного інтелекту. Але вони не завжди відносяться до семантики. Задачі, в яких проводиться аналіз предмета на сутність, складні для програмної реалізації. Тому не всі задачі цього класу можна розв'язувати автоматично. Для них характерна ситуація невизначеності, пов'язана з неповною вхідною та поточною інформацією, її не завжди можна задати у вхідних даних чи бібліотеці еталонів.

#### Список використаних джерел

1. Винцюк Т.К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов. – К.: Наукова думка, 1987. – 262 с.
2. Тимофієва Н.К., Гриценко В.И. Аргумент цільової функції в задачі клінічної діагностики // УСиМ.– 2012. – № 3 – С.3 – 14.

УДК 519.8

<sup>1</sup> С.А. Ус

к.ф.-м.н., доцент, професор кафедри системного аналізу і управління

<sup>2</sup> Л.С. Коряшкіна

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри системного аналізу і управління

<sup>3</sup> О.Д. Станіна

асистент кафедри інформаційних систем

<sup>1,2</sup> НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро<sup>3</sup> Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро

## ДВОЕТАПНА НЕПЕРЕРВНО-ДИСКРЕТНА ЗАДАЧА РОЗПОДІЛУ ЗА НАЯВНІСТЮ ФІКСОВАНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАВОК

**Вступ.** Багатоетапні задачі розміщення-розподілу знаходять чисельні практичні застосування. Для цього класу задач характерна наявність кількох рівнів (або етапів) виробництва, на яких здійснюється переробка сировини перед тим як кінцевий продукт поступає до споживача. Прикладами таких задач є задачі розміщення виробництв, що займаються видобутком та переробкою природної сировини (нафти, газу, руди, деревини), задачі регіонального планування, формування регіональної складської мережі, організації раціонального збору та переробки сільськогосподарської продукції, створення поштових сервісів та інші.

**Постановка задачі** [1]. Припустимо, проводиться організація виробництва, що використовує ресурс, який щільно заповнює деяку область  $\Omega$ . Переробка ресурсу проводиться в два етапи, а саме:  $N$  підприємств першого етапу (пунктів первинної обробки), розташованих в ізольованих точках  $\tau_i^I$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  області  $\Omega$  збирають сировину від постачальників, щільно розподілених в цій області, переробляють його і відправляють для реалізації (або подальшої обробки) в пункти кінцевого споживання (підприємства другого етапу), координати яких  $\tau_1^II, \dots, \tau_M^II$  заздалегідь визначені. Передбачається також, що відомий попит  $b_j^II$  на продукцію для кожного кінцевого пункту споживання  $j = 1, 2, \dots, M$ ; запас ресурсу  $\rho(x)$  в кожній точці області  $\Omega$ ; вартість доставки одиниці ресурсу,  $c_i^I(x, \tau_i^I)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  з точки  $x$  області  $\Omega$  до пункту первинної обробки  $\tau_i^I$ , вартість перевезення одиниці продукту  $c_{ij}^II$  з пункту первинної обробки  $\tau_i^I$  до пункту  $\tau_j^II$ . Будемо вважати, що потужність  $i$ -го підприємства першого етапу визначається сумарним запасом ресурсу в області, яку воно обслуговує, а прибуток підприємства залежить тільки від транспортних витрат.

Необхідно розбити область  $\Omega$  на зони обслуговування  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$ , кожним з підприємств першого етапу і визначити обсяги перевезень,  $v_{ij} \geq 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$  між підприємствами першого етапу і пунктами

кінцевого споживання таким чином, щоб забезпечити мінімальну сумарну вартість доставки сировини і кінцевої продукції.

Цю задачу можна описати за допомогою такої математичної моделі [1]:

$$\sum_{i=1}^N \int c_i^I(x, \tau_i^I) \rho(x) \lambda_i(x) dx + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij}^{II} v_{ij} \rightarrow \min_{\lambda(\cdot) \in \Gamma_2, v \in R_{NM}^+}$$

$$\sum_{i=1}^N v_{ij} = b_j, \quad j=1, 2, \dots, M, \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^M v_{ij} = \int_{\Omega_i} \rho(x) \lambda_i(x) dx, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

$$\lambda(\cdot) \in \Gamma_2, \quad v \in R_{NM}^+,$$

де  $\Gamma_2 = \{\lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) : \lambda_i(x) \in \{0; 1\}, \forall x \in \Omega, i = \overline{1, N}, \sum_{i=1}^N \lambda_i(x) = 1 \text{ м. в.}\}$

для  $x \in \Omega$ ,  $\sum_{j=1}^M b_j = \int_{\Omega} \rho(x) dx$ .

Згідно з результатами, одержаними в роботі [2], характеристична функція  $\lambda^*(\cdot) \in \Gamma_2$ , яка описує оптимальний розв'язок даної задачі м.в. для  $x \in \Omega$  обчислюється у такий спосіб:

$$\lambda_i^*(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } c_i^I(x, \tau_i^I) + \psi_i^* = \min_{k=1, N} (c_k^I(x, \tau_k^I) + \psi_k^*), \\ 0, & \text{якщо } c_i^I(x, \tau_i^I) + \psi_i^* \neq \min_{k=1, N} (c_k^I(x, \tau_k^I) + \psi_k^*), \end{cases} \quad \forall x \in \Omega, \quad i = \overline{1, N},$$

де  $\psi^* = (\psi_1^*, \psi_2^*, \dots, \psi_T^*)$  – оптимальний розв'язок двоїстої задачі:

$$G(\psi) = \int_{\Omega} \min_{k=1, N} (c_k^I(x, \tau_k^I) + \psi_k) \rho(x) dx - \sum_{j=1}^M b_j \min_{k=1, N} (c_{kj}^{II} - \psi_k).$$

У випадку, коли ланцюги поставок відомі, тобто зафіксовано для яких значень індексів  $i, j$  змінні  $v_{ij}$  мають ненульові значення, в аналітичному виразі для характеристичних функцій підмножин, що складають оптимальне розбиття, можна позбутися двоїстих змінних. За рахунок цього запропонований метод розв'язування може бути модифікований таким чином, щоб спочатку визначити розбиття вихідної множини і обчислити потужності підприємств першого етапу, а потім розв'язувати звичайну транспортну задачу і знайти обсяги перевезень між підприємствами першого і другого етапів.

### Список використаних джерел

1. Ус С.А. О математических моделях многоэтапных задач размещения предприятий / С.А.Ус, О.Д.Станина // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – Дніпропетровськ, 2014. С. 258–267.
2. Zelentsov D. Solving Continual Two- Problems of Optimal Partition of Sets Stage / Zelentsov D., Us S., Koryashkina L., Stanina O. // International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE). – Volume 4, Issue 4, 2017. – P. 72-80.

УДК 004.94

<sup>1</sup>Н.В. Фернос

студент 4-го курсу

<sup>2</sup>В.О. Карбівничий

магістрант

<sup>3</sup>О.В. Єгорова

к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних технологій проектування

<sup>1-3</sup>Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ

**Вступ.** На сучасному етапі процеси підтримки прийняття рішень щодо подальшого розвитку торговельного підприємства супроводжує проблема вибору місця розміщення власних торговельних об'єктів на території міст. Наведені в науковій літературі [1-4] методи вибору місця розміщення об'єктів роздрібної торгівлі переважно орієнтовані на максимізацію прибутку підприємств і опосередковано враховують інтереси держави і споживачів.

**Постановка задачі.** Здійснимо формалізовану постановку задачі вибору місця розміщення об'єктів роздрібної торгівлі з урахуванням інтересів усіх зацікавлених сторін. Нехай

$C_a$  – витрати на оренду або придбання приміщення для магазину;

$C_i$  – витрати на облаштування інфраструктури для магазину;

$C_z$  – витрати на створення товарних запасів;

$P$  – ймовірність вибору покупцем об'єкту роздрібної торгівлі;

$K_1 = \{k_1^1, k_1^2, \dots, k_1^{m_1}\}$ ,  $K_2 = \{k_2^1, k_2^2, \dots, k_2^{m_2}\}$  – множина факторів, значення яких збільшують або зменшують ймовірність вибору покупцем об'єкту роздрібної торгівлі;

$N$  – кількість можливих покупців;

$S$  – дохід від продажу товарів;

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_{m_R}\}$  – множина, які містить вимоги норм і стандартів;

$T$  – показник кваліфікованості кадрів;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_{m_A}\}$  – товарний асортимент;

$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{m_\Theta}\}$  – множина, елементи якої характеризують щільність розміщення об'єктів роздрібної торгівлі в різних районах міста;

$H = \{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{m_H}\}$  – множина, елементи якої характеризують чисельність населення в різних районах міста;

$\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{m_\Lambda}\}$  – множина, елементи якої характеризують купівельну спроможність населення в різних районах міста;



$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{m_0}\}$  – множина, елементи якої вказують на наявність та координати об'єктів роздрібної торгівлі;

$L$  – загальна тривалість маршруту від потенційного покупця до об'єкта роздрібної торгівлі;

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_{m_0}\}$  – множина інших факторів, які впливають на розміщення об'єкту роздрібної торгівлі.

Необхідно розв'язати задачу

$$E \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $E$  – ефективність розміщення об'єкту роздрібної торгівлі.

Критерій ефективності (1) є багатофакторною залежністю, тому перепишемо його таким чином:

$$E = (C_a, C_i, C_z, K_1, K_2, N, S, R, T, A, \Theta, H, \Lambda, D, L, O) \rightarrow \max \quad (2)$$

Задача (2) може мати і модифіковані постановки. Проте, розв'язання задачі (2) пов'язане із необхідністю врахування як кількісної, так і якісної інформації, та розробкою і застосуванням відповідних експертних технологій підтримки прийняття рішень та параметричної оптимізації.

**Висновки.** У доповіді наводиться постановка задачі вибору місця розміщення об'єктів роздрібної торгівлі з урахуванням інтересів усіх зацікавлених сторін. Визначено основні підходи до розв'язання даної задачі.

### Список використаних джерел

1. Новиков А. В. Совершенствование гравитационной модели размещения розничных торговых сетей региона. Вестн. Волгоград. гос. ун-та. Серия 3: «Экономика. Экология». 2005. № 9. С. 127–132.
2. Салливан М., Эдкок Д. Маркетинг в розничной торговле : пер. с англ. / под ред. Л. Л. Никитиной. СПб. : Нева, 2004. 384 с.
3. Угаров А. С. Методы выбора местоположения торговой точки. Маркетинг в России и за рубежом. 2005. № 6 (50). С. 99–108.
4. Чкалова О. В. Формирование и развитие розничной торговой сети в мегаполисе : монография. Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2003. 231 с.

УДК 519.8

**Ф.А. Шарифов**

Доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник.

*Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины.***ПРИЛОЖЕНИЯ РАСШИРЕННОГО ПОЛИМАТРОИДА**

Существование совершенного паросочетания, нахождения максимального разреза, а также и множества независимых вершин и т.д. в заданном графе считается одной из основных задач комбинаторной оптимизации. С каждым графом можно связать определенный многогранник так называемым полиматроидом [3]. В работах [1] показано, что решение выше перечисленных задач может быть сведено к определению специальных баз полиматроида. Для примера рассмотрим каким образом задача нахождения совершенного паросочетания. В [1] можно найти различные критерии о существовании совершенного паросочетания в заданном графе. На основе этих критериев разработаны различные подходы для нахождения совершенного и сформулирована двойственная задача к задаче нахождения паросочетания с максимальной мощностью, тем самым дана хорошая характеристика для этой задачи [1,2].

Однако, существование совершенного паросочетания в произвольном графе может быть выражается на языке базы расширенного полиматроида, описанной специальной субмодулярной функцией, определенной на подмножествах множества вершин заданного графа. Другими словами, существование совершенного паросочетания в произвольном графе сводится к задаче принадлежности [2] заданного вектора –базы, к многограннику-полиматроиду. Известно, что эта задача эквивалентна к задаче о максимальном потоке и минимальном разрезе [2,3,4]. Таким образом, данный подход позволяет применить известные эффективные потоковые алгоритмы для нахождения совершенного паросочетания в произвольном графе.

Аналогичная критерия о существовании совершенного паросочетания в двудольных графах доказана в [3,4], на основе, которой разработан строго полиномиальный алгоритм [4] для задачи нахождения подграфа с максимальным весом, содержащего совершенное паросочетание. Последняя задача имеет ряд приложения при разработке расписания для обслуживания маршрутов в турагентствах [5,6,7], в управлении цепи поставок, функционировании которых осуществляется в режиме «точно в срок» (“just in time”) [5], а также при подготовке специалистов с учётом их будущей потребности на рынке труда.

Пусть  $S$ - произвольное подмножество множества вершин заданного неориентированного графа  $G = (V, E)$ . Относительно,  $S$  можно определить субмодулярную и супермодулярную функции  $\varphi(S)$  и  $\omega(S)$ , на подмножествах множества вершин графа. Для подмножества  $S$ , значение функции  $\varphi(S)$

определяется как мощность подмножества ребер хотя бы с одной конечной вершиной в  $S$ , а  $\omega(S)$ - как мощность подмножества ребер с конечными вершинами в  $S$ .

Многогранник  $EP(\varphi - \omega) = \{z \in R^V; z(S) \leq \varphi(S) - \omega(S), S \subseteq V\}$ ,

определенный функцией  $\varphi(S) - \omega(S)$ , называется расширенным полиматроидом [2] (extended polymatroid). Известно, что гриды алгоритм определяет различные базы  $EP(\varphi - \omega)$ , в соответствии с топологический сортировкой вершин графа  $G = (V, E)$ . Вектор  $x$  из этого многогранника, является  $x$  базой  $EP(\varphi - \omega)$ , если  $x(V) = 0$ . На основе следующего результата может быть разработаны алгоритмы решения задачи нахождения совершенного паросочетания минимального веса, в процессе работы которых нет необходимости в операции стягивания циклы нечетной длины цветков.

**Теорема.** *Граф  $G = (V, E)$  содержит совершенное паросочетание тогда и только тогда, когда вектор  $x = 1$ , для произвольного базы  $x$  является базой расширенного полиматроида  $EP(\varphi - \omega)$ .*

Выше отметили, что задача проверки принадлежности к расширенному полиматроиду, сводится к задаче нахождения минимального разреза. Поэтому данный результат является стержнем построения двудольного графа при поиске совершенного паросочетания в графе  $G = (V, E)$ .

#### Список использованных источников

1. Lovasz L., Plummer M. D. Matching theory. American Mathematical Soc., 2009 –547 p.
2. Grotschel M., Lovasz L., Schrijver A. Geometric algorithms and combinatorial optimization, Springer --Verlag, Berlin, 1988 –345 p.
3. Шарифов Ф. А. Совершенные паросочетания и расширенный полиматроид // Кибернетика и системный анализ. –2008. –№ 3. — С. 173-179.
4. Sharifov F. Perfectly matchable subgraph problem on a bipartite graph. RAIRO – Operation Research. –44 – 2010– P. 27-42
5. Хендфилд Роберт Б., Николс Эрнест Л. Мл. Реорганизация цепей поставок. Создание интегрированных систем формирования ценности (перевод с английского) – М.: Изд. дом. «Вильямс», 2003 – 416 с.
6. Bruset X. Estimating the supply chain efficiency loss when the seller has to estimate the buyer's willingness to pay. RAIRO- Oper. Res. –48 – 2014 – №4 P. 477– 496.
7. Шарифов Ф. А., Кривицкая Н. Ю. Екомика –математичні задач при плануванні ланцюга постачань. Економика, Менеджмент, Бізнес, № 1(19)–2014– С. 61– 69.

УДК 519.854.2

<sup>1</sup>В.П. Шило

доктор фіз.-мат. наук, професор, провідний науковий співробітник

<sup>2</sup>С.В. Чупов

кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент

<sup>1</sup>Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова, Київ<sup>2</sup>ДВНЗ «Ужгородський Національний Університет», Ужгород

## ПАРАЛЕЛЬНІ НАБЛИЖЕНІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ КВАДРАТИЧНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ

Квадратична задача про призначення має багато практичних застосувань та є важкою з точки зору обсягу обчислень. Враховуючи сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки, зокрема сучасні можливості розпаралелювання обчислень, виникає необхідність побудови нових ефективних паралельних алгоритмів розв'язання задач цього класу.

Квадратична задача про призначення (QAP) полягає в оптимальному розміщенні  $n$  об'єктів на  $n$  локаціях (місцях призначення). Відомі дві квадратні матриці порядку  $n$  з невід'ємними елементами:  $A = [a_{ij}]$  – матриця величин потоків ресурсів між об'єктами  $i$  та  $j$ ,  $B = [b_{rs}]$  – матриця відстаней між локаціями  $r$  і  $s$ . Треба так розподілити об'єкти по локаціях, щоб сума відстаней, помножених на відповідні потоки, була мінімальною. Нехай  $\pi$  – деяка перестановка перших  $n$  натуральних чисел, а  $\Pi_n$  – множина усіх таких перестановок. Математична модель задачі полягає у визначенні такої перестановки  $\pi^*$  з  $\Pi_n$ , яка мінімізує функцію

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

Об'єднанням алгоритмів назвемо множину алгоритмів  $A_1, A_2, \dots, A_p$ , які працюють паралельно над розв'язанням однієї задачі. Якщо в процесі роботи не відбувається обміну поточними результатами між алгоритмами, тобто вони працюють незалежно один від одного, то таке об'єднання називають *портфелем алгоритмів* [1]. Після завершення роботи всіх алгоритмів портфеля вибирається найкращий з отриманих розв'язків задачі.

Авторами розроблено та досліджено портфелі двох варіантів алгоритму **RITS** (Repeated Iterated Tabu Search) [2]. Їхня відмінність полягає у збуренні на етапі диверсифікації найкращого знайденого розв'язку  $\pi_{best}$ . У першому алгоритмі **RITSR** застосовується випадкове збурення, що полягає у перестановці певної кількості елементів  $\pi_{best}$ , які знаходяться на випадково вибраних позиціях. Збурення за технологією виділення ядра в алгоритмі **RITSK** полягає у визначенні тих елементів перестановки  $\pi_{best}$ , для яких воно має

перспективу знаходження кращих розв'язків.

Для порівняння ефективності запропонованих алгоритмів використано найкращі на даний момент алгоритми розв'язання QAP, а саме: *BLS* [3], *BMA* [4], *ITS* [5]. Всі описані експерименти проведені авторами, що забезпечило однакові умови для всіх алгоритмів.

Значну увагу приділено розв'язанню найбільш важких з точки зору обсягу обчислень тестових задач *taiXXa* [6]. Їхньою особливістю є наявність великої кількості локальних мінімумів різної якості. Для кожного наближеного методу використовувався портфель з 4-х алгоритмів. Усі алгоритми портфеля відрізняються початковим значенням датчика випадкових чисел. Критерієм зупинки їхньої роботи є обмеження за часом, яке становило 2 години. Розв'язано задачі цього типу при  $n=80, 100$ . Позначимо  $f_{min}^i, i=1, \dots, max\_attack$ , ( $max\_attack$  – максимальна кількість випробувань, у даному експерименті вона дорівнює 10) мінімальне значення цільової функції задачі, отримане за допомогою портфеля алгоритмів при  $i$ -му випробуванні.

У табл. наведено відхилення (у відсотках)  $\Delta_{mean} = ((f_{mean} - f_{bks}) / f_{bks}) * 100$  ( $\Delta_{min} = ((f_{min} - f_{bks}) / f_{bks}) * 100$ ) середнього значення  $f_{mean} = mean f_{min}^i$  (мінімального значення  $f_{min} = min f_{min}^i$ ) цільової функції задачі, отриманого за допомогою портфеля алгоритмів при всіх випробуваннях, від відомого рекорду  $f_{bks}$ .

**Таблиця. Результати експериментальних досліджень**

Задача \ Алгоритм	BLS	BMA	ITS	RITSR	RITSK
tai80a	0.564(0.488)	0.458(0.389)	0.368(0.293)	<b>0.342(0.276)</b>	0.365(0.309)
tai100a	0.569(0.518)	0.432(0.344)	0.311(0.273)	0.299(0.239)	<b>0.277(0.196)</b>

Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить про високу ефективність розпаралелювання обчислень з використанням портфельів двох варіантів алгоритму **RITS**.

#### Список використаних джерел

1. Шило В.П., Рошин В.А., Шило П.В. Построение портфеля алгоритмов для распараллеливания процесса решения задачи о максимальном взвешенном разрезе графа. *Компьютерная математика*. Киев: Ин-т кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, 2014. № 2. С. 163–170.
2. Шило В.П., Чупов С.В., Боярчук Д.О., Шило П.В. Нові підходи до розв'язання квадратичної задачі про призначення. В кн.: VII Міжнар. наук.–практ. конф. “Математика. Інформаційні технології. Освіта.”. Тези доповідей (Луцьк–Світязь, 3–5 червня 2018 р.). Луцьк: Східноєвропейський нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2018, с. 121,122.
3. Benlic U., Hao J.K. Breakout local search for the quadratic assignment problem. *Applied Mathematics and Computation*. 2013. 219(9). P. 4800–4815.
4. Benlic U., Hao J.K. Memetic search for the quadratic assignment problem. *Expert Systems with Applications*. 2014. 42(1). P. 584–595.
5. Misevicius A. An implementation of the iterated tabu search algorithm for the quadratic assignment problem. *OR Spectrum*. 2012. 34(3) P. 665–690.
6. Taillard E. Robust taboo search for the quadratic assignment problem. *Parallel Computing*. 1991. 17. P. 443–455.

УДК 519.85

**С.В. Яковлев**

Доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математического моделирования и искусственного интеллекта

*Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» (Харьков)*

## **ЕВКЛИДОВАЯ КОМБИНАТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Введение.** Задачи комбинаторной оптимизации вызывают постоянный интерес исследователей. В настоящее время разработано большое число методов, эффективность которых определяется свойствами рассматриваемого класса задач. Вместе с тем, можно указать некоторые особенности, присущие задачам комбинаторной оптимизации в самой общей ее постановке. Это касается класса задач евклидовой комбинаторной оптимизации [1], в которых комбинаторные объекты отображаются в арифметическое евклидовое пространство. В результате формируется эквивалентная по своей постановке задача дискретной оптимизации.

В большинстве случаев удается осуществить отображение комбинаторного множества в  $R^n$  таким образом, чтобы область допустимых решений задачи дискретной оптимизации совпадала с множеством вершин своей выпуклой оболочки. Такие множества названы вершинно-расположенными. Если при этом точки вершинно-расположенного множества принадлежит некоторой гиперсфере, то оно называется полиэдрально-сферическим. В работе [2] были заложены основы теории выпуклых продолжений для функций, заданных на вершинно расположенных множествах. Здесь же впервые была предложена идея построения эквивалентной задачи дискретной оптимизации на вершинно-расположенном множестве с выпуклыми целевой функцией и функциональными ограничениями. Современное состояние теории выпуклых продолжений и непрерывных функциональных представлений для евклидовых комбинаторных множеств представлено в работах [3-5]. В докладе развиваются основные положения данной теории применительно к решению задач евклидовой комбинаторной оптимизации.

Основные направления приложений связаны с возможностью использования аппарата выпуклого программирования при решении вспомогательных задач в различных схемах глобальной оптимизации на вершинно расположенных и полиэдрально-сферических множествах. В первую очередь это касается решения релаксационных задач на указанных множествах. Для полиэдрально-сферических множеств возможны два типа релаксации. С одной стороны, имеем релаксационную задачу оптимизации выпуклой функции при выпуклых функциональных ограничениях и линейных неравенствах, описывающих комбинаторный многогранник. Данная задача является задачей выпуклого программирования, для точного решения которых существует

большое число эффективных методов решения. Другим подходом к релаксации является решение оптимизационных задач на гиперсфере.

Общая концепция задач оптимизации квадратичных функций на полиэдрально-сферических множествах была заложена в работе [6] и получила развитие в [7].

Построение выпуклых продолжений для целевой функции и функциональных ограничений существенно расширяет возможности усиления нижних оценок в задачах минимизации на различных подмножествах области допустимых решений. Это позволяет существенно повысить эффективность направленного перебора в декомпозиционных методах глобальной оптимизации, таких как метод ветвей и границ, метод последовательного анализа вариантов и др.

**Выводы.** Описанные результаты постулируют следующее общее свойство задач евклидовой комбинаторной оптимизации. Какие бы ни были целевая функция и функциональные ограничения в задачах оптимизации на вершинно-расположенном множестве, существуют их выпуклые продолжения, позволяющие строить эквивалентные модели с выпуклыми функциями. Это значительно расширяет возможности применения классических методов выпуклого программирования на различных этапах решения дискретных оптимизационных задач.

#### Список використаних джерел

1. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования, К.: Наук. думка, 1986. 268 С.
2. Yakovlev S.V. The theory of convex continuations of functions on vertices of convex polygons. *Comp. Math. and Math. Physics*, 1994. 34. P.959-965.
3. Яковлев С.В. Теория выпуклых продолжений в задачах комбинаторной оптимизации. Доклады НАН Украины, 2017. № 8. С.20– 26.
4. Yakovlev S. Convex extensions in combinatorial optimization and their applications. *Springer Optimization and its Applications*, 2017. 130. P.67-584.
5. Pichugina O.S., Yakovlev S.V. Continuous representations and functional extensions in combinatorial optimization. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2016. 52(6). P.921-930.
6. Stoyan Y.G., Yakovlev S.V., Parshin O.V. Quadratic optimization on combinatorial sets in  $\mathbb{R}^n$ . *Cybernetics and Systems Analysis*, 1991. 27(4). P.561–567.
7. Yakovlev S.V., Pichugina O.S. Properties of combinatorial optimization problems over polyhedral-spherical sets. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2018. 54(1). P.99-109.

# **Section 3**

**Intelligent systems and  
information technology  
of decision making**





UDC 005.8

<sup>1</sup> **A. Biloshchytskyi**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information Systems and Technologies

<sup>2</sup> **A. Kuchansky**

PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Information Systems and Technologies

<sup>3</sup> **S. Biloshchytska**

PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Information Technology Designing and Applied Mathematics

<sup>1,2</sup> *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv*

<sup>3</sup> *Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

## A NEW METHOD FOR EVALUATION OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

To ensure effective functioning of organizations in the educational sphere under modern conditions, it is necessary to improve the system of management of these organizations. This improvement is associated with the necessity of using modern management methodologies in the implementation of almost all kinds of activity: scientific, educational, organizational, etc.

Study [1] contains the methods of construction of scalar and vector evaluations of scientists in terms of their research activities. The ideal point method for construction of the vector evaluation is described in [1]. However, it is necessary to correctly select the point, the coordinates of which are scientific performance scores of scientists, the best in terms of achieving maximum efficiency according to a certain criterion. The method of transition from qualitative higher educational institutions (HEI) performance evaluation to quantitative evaluation was proposed in [2]. Research [3] proposed the method for identification of scientific research directions for scientists based on cluster analysis of scientific publications, which is a preparatory stage for the problem of prediction of development of potential of research directions. The method for comprehensive performance evaluation of subjects of educational environments is described in [4].

The subject of educational environment (SEE) implies universities, structural units of HEI: institutes, faculties, departments, academic and teaching staff of these units, as well as groups of scientists, united by their involvement in certain projects. To evaluate SEE, a score in any category can be considered as a point in  $(m+1)$ -dimensional space. We will consider points  $v_i$ ,  $i = 0, m$ , which are vertices of a  $m$ -simplex. A  $m$ -dimensional polytope, which is a convex shell of its  $m+1$  vertices, is called  $m$ -simplex with vertices in points  $v_i \in \mathbb{R}^{m+1}$ . That is,  $m$ -simplex is a set of points  $\Delta^m \in \mathbb{R}^{m+1}$ , for which the condition is satisfied:

$$\Delta^m = \left\{ \theta_0 v_0 + \theta_1 v_1 + \dots + \theta_m v_m \left( \sum_{i=0}^m \theta_i = 1 \right) \wedge \left( \theta_i \geq 0, i = \overline{0, m} \right) \right\},$$

where  $\theta_i$  is some real numbers,  $\theta_i \in \mathbb{R}$ .

We propose the method for comprehensive performance evaluation of subjects of educational environments, specifically higher educational institutions, based on calculation of generalized volume of the m-simplex. The vertices of the m-simplex are found based on performance scores of subjects of educational environments by different categories. To find a comprehensive performance score of subjects of educational environments, it is proposed to calculate generalized volume of the constructed m-simplex, based on calculation of the Cayley-Menger determinant.

A list of five major categories of evaluation of higher education institutions was compiled and selection of indicators for these categories was performed. The method of comprehensive performance evaluation of the subjects of educational environments based on calculation of generalized volume of m-simplex was verified in the developed information-analytical system. This method was compared with the ideal point method and the weighed scores method. The feature of the proposed method is its self-sufficiency, because the method does not require solution of ancillary problems in calculation of a comprehensive score, such as selection of weight coefficients and the ideal point, involvement of experts, etc. It was shown that the proportional changes in a comprehensive score, calculated by the proposed method, correspond to small changes of certain categories. The method of setting a tendency of activity development of subjects of educational environments by calculating the derivative of a comprehensive score in time was presented.

The methods for performance evaluation of subjects of educational environments can be used in scientific and educational institutions, as well as in private companies that are engaged in creation of information technologies.

## References

1. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S., Kuzka, O., & Terentyev, O. (2017). Evaluation methods of the results of scientific research activity of scientists based on the analysis of publication citations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(2(87)), 4–10.
2. Biloshchytskyi, A., Myronov, O., Reznik, R., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Paliy, S., & Biloshchytska, S. (2017). A method to evaluate the scientific activity quality of HEIs based on a scientometric subjects presentation model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(2(90)), 16–22.
3. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S., Kuzka, O., Shabala, Ye., & Lyashchenko, T. (2017). A method for the identification of scientists' research areas based on a cluster analysis of scientific publications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(2(89)), 4–10.
4. Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Biloshchytskyi, A., Biloshchytska, S., Danchenko, E., Ilarionov, O., Vatskel, I. & Honcharenko, T. (2018). The method for evaluation of educational environment subjects performance based on the calculation of volumes of M-simplexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(4(92)), 15–25.

UDC 004.942:519.816

<sup>1</sup>**Aleksandr Mikhalyov**

Doctor of Technical Sciences, professor, head of ITS department

<sup>2</sup>**Vladimir Kuznetsov**

Candidate of Technical Sciences, senior researcher, associate professor of ITS department

<sup>3</sup>**Halyna Yevtushenko**

Candidate of Technical Sciences, associate professor of ITS department

<sup>1-3</sup>*National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro*

## **A NEW APPROACH TO SYSTEM MODELING AND USING THE DSS NOOTRON WITH MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS METHODS IN COMPLEX STRUCTURE PROBLEMS SOLVING**

**Multi-criteria decision analysis (MCDA)** is a central part of system analysis, is understood as analysis of problems, analysis of decisions. MCDA allows combining formal models: analytical and imitation, statistical data and expert knowledge in solving a system problem. In particular, it allows reducing the vector optimization problem (the problem of mathematical programming or an optimization computer experiment in a simulation model) to scalar optimization.

The use of MCDA methods is becoming an integral part of solving problems arising from the analysis, optimization, and evaluation of the effectiveness of complex weakly structured systems. These are such problems as comparative analysis and choice of the best alternative, making design decisions, vector optimization, resource allocation, diagnostics, rating compilation.

Quantitative methods of MCDA are of particular interest. These methods provide algorithms for dividing the system problem being studied into separate elements (decomposition), analyzing the selected blocks, determining the value of influence of each element on others (analysis), determining local (criterial) results and converting them into a global assessment (aggregation).

Therefore, multi-criteria decision analysis is an adjustment, an “integrator” of particular models and methods, including almost the entire arsenal of simulation and fuzzy modeling.

**System modeling.** At present system modeling is an important and necessary technique for analysis of both as complex system projects and as leading-edge technologies. System modeling might be characterized as interactive modeling with multiple-criteria decision analysis and optimization methods built-into the model.

System model has such property as modularity and has the opportunities of interactive rearrangement and parameterization.

The general characteristics of system model are [1, 2]:

1) the reference model stepwise reduction to the condition similar to the original object at the expense of including into the model adaptation and interpretation software modules;

2) the organization of the efficient interactive mode with a researcher;

- 3) including into the model adaptation and interpretation software modules;
- 4) the organization of the efficient interactive mode with a researcher.

There is an international standard of system modeling (MBSE) and modeling language SysML – an extension of the language UML.

The developed concept of system modeling is the following [1].

1. Domain models in one or several simulation paradigms: dynamic, discrete-event, system-dynamic, agent-based.

2. Optimization model based on the domain model for computer optimization experiments based on search engine optimization methods.

3. A multi-criteria comparative analysis model for ranking and choosing the best alternatives, implemented in a universal DSS with the library of MCDA methods.

The target strategies of system modeling are following:

- modeling (a direct operational research problem) → optimization → multiple-criteria decision analysis → guidance – if only one technology is in the scope;

- preselecting (according to the boundary conditions and performability) → prior multiple-criteria decision analysis → each technology modeling (a direct operational research problem) → multiple-criteria optimization of each technology → multiple-criteria comparative analysis of technologies with integrated method – if the vector of technologies is in the scope.

The use of the proposed strategies in system modeling allows solving the following problems:

1. Comparing known technologies (with MCDA methods).

2. Estimating factors (simulation: system dynamics).

3. Performing optimization (optimal solutions search methods).

4. Comparing optimized alternatives (on the base of integrated MCDA methods).

For optimization it is proposed to use optimal solutions search methods, including heuristic ones. The advantages of the methods are their universality and opportunity of many suboptimal solutions acquisition.

**DSS NooTron.** During solving complex problems, it may be necessary and appropriate to apply several methods of MCDA, which could increase the validity of solutions.

The developed decision support system NooTron (<https://nootron.net.ua/>) is based on the open and constantly updated MCDA methods library.

We have developed new so-called integrated methods of multi-criteria decision analysis [2], which combine the capabilities of individual methods. They form the original part of the NooTron decision support system.

There were analyzed the present possibilities of using multi-criteria analysis methods from the DSS NooTron (<https://nootron.net.ua/>) library considering system problems of a complex structure on a finite set of alternatives and criteria.

The purpose of this work is to demonstrate the capabilities of multi-criteria analysis methods from the DSS NooTron library in system problems of a complex structure on a finite set of alternatives and criteria, including the tasks and methods implemented in the new version of NooTron DSS.

A group of quantitative multi-criteria methods that are the most widely used and modified are chosen for the study, namely: the analytical hierarchy process, the analytical network process, the BOCR efficiency assessment methodology, the weighted sum method, the decision matrix method.

The analysis of the structures of solved practical problems using the DSS NooTron led to the conclusion that this system provides a wide range of possibilities for system analytics, and also allows the analysis of weakly structured systems.

The project “DSS NooTron” continues to evolve and improve. At the time of this writing, the following had been performed in the development of the system:

1. The project architecture was improved on the basis of selected components of multi-criteria methods and React JavaScript framework for future support and scaling.

2. Organized data exchange between components, their synchronization and processing of the application state.

3. Improved interaction with the server to obtain intermediate results of solving the problem.

4. A unified component flexible version of the analytical hierarchy process was developed using the React JavaScript framework.

5. Implemented visualization of a dynamic hierarchical structure of a multi-criteria task in AHP.

The integrated MCDA methods implemented in the DSS NooTron are used in solving various scientific and practical problems, including within the research and development works [3, 4].

The variety of topics in these tasks confirms the universality of the developed methods and the general approach.

Perspective directions are being investigated, both by models and methods. A very interesting and promising direction is the integrating of MCDA methods with fuzzy modeling and methods based on the training of artificial neural networks for control problems, medical and technological diagnostics [3, 4].

## References

1. 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.

2. Кузнецов В.І. Системне моделювання складних об'єктів на базі методів багатокритеріального аналізу / В.І. Кузнецов, Г.Л. Євтушенко // *Системные технологии моделирования сложных систем : монография* / [под общей ред. проф. Михалёва А.И.]. – Днепро: НМетАУ-ИВК «Системные технологии», 2016. – С. 349 – 373. ISBN 978-966-2596-19-9

3. 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.

4. Pinchuk V.A. Using the analytic hierarchy process for comparative analysis and construction of optimal option sets for activation of coal–water fuel / V.A. Pinchuk, V.I. Kuznetsov, H.L. Yevtushenko, T.A. Sharabura, & K.S. Yehortsev // *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 2017.- vol. 18, iss.3, (2017).

UDC 004.855.5

<sup>1</sup>Naderan M.

Postgraduate

<sup>2</sup>Zaychenko Y. P

Professor Candidate of Engineering Sciences

<sup>1,2</sup>Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kiev, Ukraine

## DIAGNOSIS CANCER USING DEEP LEARNING METHODS

**Abstract.** This paper considers problem of low precision rate of diagnosis cancer. To solve the current problem various models were reviewed and compared during the experience. Convolutional neural networks Inception v3 and ResNet50 were compared for diagnosis breast cancer have been developed and investigated. The Bioimaging Challenge 2015 Breast Histology Dataset were used for collecting the mammography scans. The Experiments were conducted on comparing used classifiers in the related works with CNNs Inception V3 and ResNet50. The purpose of the paper is to improve the accuracy of diagnosis breast cancer using deep learning.

**Key words:** breast cancer diagnosis, deep learning, convolutional neural networks, object detection, prognosis

### Introduction

Nowadays, breast cancer is on the second place of popularity between patients after lung cancer. It is the most common type of cancer among women, affecting between 1/13 and 1/9 of women aged 13 to 90 years. According to the previous research, percent of new cases of breast cancer is %11.6 and percent of deaths %6.6 in 2018 [1]. However, based on World Health Organization (WHO), breast cancer detection at early stages could prevent cancer.

### Related works and methods

In paper [2] authors considered support vector machine and ANN, and the best prediction model for each data set, accuracy for PCs-SVM is the highest for WBC data, and PCiANN is the best considering accuracy for WDBC data 97.47% and 94.33% respectively. In paper [3] authors compared their method with SVM, Decision Tree (C4.5), Naive Bayes (NB) and k Nearest Neighbors (k-NN) on WBC datasets. Based on their experience, SVM had the best accuracy with %97.13.

With respect to all work for the current task, our work compares the behaviour of CNNs using INESC TEC datasets.

### Result

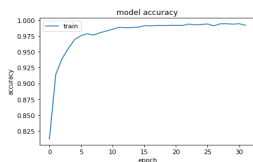
We have compared CNNs Inception V3 and ResNet50 with other classifiers. Table 1 illustrates the accuracy and mean absolute error for each considered methods.

Table 1 - Comparing accuracy for CNNs with other classifiers

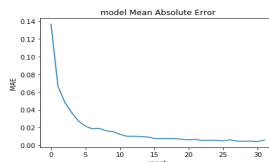
Methods	InceptionV3	ResNet50	<sup>3</sup> SVM	<sup>2</sup> ANN
Accuracy	97.79%	96.10%	97.13%	94.33%
Mean Absolute Error	0.0071	0.019	0.02	0.06

According to the table 1, convolutional neural network Inceptionv3, comparing to other classifiers, has the higher accuracy with less MAE.

Graphs below show fluctuation for accuracy and MAE at each epoch. After 31th epoch, percentage of accuracy started to decrease. So, training was interrupted before over-fitting.



Line graph 1 - InceptionV3 Accuracy per epoch



Line graph 2 - InceptionV3 mean absolute error per epoch

## Conclusion

According to the result and experiments, it could be conclude that comparing to other methods, convolutional neural network InceptionV3 is the best classifier with accuracy and precision 97.79% and 97% respectively. Future works will consider improvement CNN architecture to reach the higher precision with low lost.

## References

1. Freddie B., Jacques F., Isabelle S., Rebecca S., Lindsey T., Ahmedin J. Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. Global Cancer Statistics. Volume 68 , number 6, 2018. p.394–424.
2. Haifeng W., Sang Y. Breast Cancer Prediction Using Data Mining Method. Proceedings of the 2015 Industrial and Systems Engineering Research Conference. 2015.
3. Hiba A., Hajar M., Hassan M., Thomas N. Using Machine Learning Algorithms for Breast Cancer Risk Prediction and Diagnosis. The 6th International Symposium on Frontiers in Ambient and Mobile Systems. Procedia Computer Science 83. 2016 p.1064 – 1069.



UDC: 519.8

<sup>1</sup>**Volodymyr Polishchuk**

PhD, Doc., Associate Professor of the Department of Software Systems

<sup>2</sup>**Miroslav Kelemen**

DrSc., MBA, LL.M., Dr.h.c. prof., Professor of the Department of flight preparation

<sup>1</sup> *Uzhhorod National University, Uzhhorod*

<sup>2</sup> *Technical university of Kosice, Kosice*

## **NEURO-FUZZY INFORMATIONAL MODEL OF ASSESSMENT OF DEVELOPERS OF START-UP PROJECTS**

**Introduction.** Today's genius start-up idea does not mean a successful business in the future. For any projects, there are people who implement it. Even for a very good start-up project, with a very high score and prospects for success, successful commercialization depends, to a greater extent, on the qualitative composition of the developers, ready to bring the product to the market and successfully decide on its sale. Therefore, investors in start-ups like to say that they primarily invest in a team that the success or failure of a project depends largely on the team of developers.

The urgency of the work is to develop a model for estimating start-ups of teams using a neuro-fuzzy network when there are only expert fuzzy data on the team of the developers. The development of such a model will allow increasing the degree of validity of financing start-up projects since the success of the start-up implementation directly depends on the qualitative composition of the team of developers. The lack of models, which allows us to assess the prospects of implementation of the start-up project team developers, proves the relevance of the study.

**Formulation of the problem.** Recent researches suggest needing of systematizing tools and developing the algorithms for evaluating developers start-up projects. The holistic concept for defining the level of teams of developers' ratings has not yet been developed for the successful implementation of start-ups of projects to take into account the subjective aspects of evaluation. Thus, the problems of project start-up evaluation are raised in the work [1], where the fuzzy set is used and the existing group of criteria "authors of the idea" is used, but not enough attention is paid to the analysis of the teamwork on the project. In the work [2] the task of informational modeling of the selection of a group of experts for different research objects is solved, but it is not indicated on what indicators it is possible to estimate teams of developers. Analyzing a large number of publications, we conclude that there are no special models for evaluating and withdrawing the ratings of developers implementing the start-up projects.

Fuzzy exclusion systems can use human expertise and perform fuzzy output to obtain initial estimates. Formation of rules and related membership functions very much depends on a priori knowledge of the system under consideration. Therefore, there is no universal way of transforming the experimental knowledge of human experts into the knowledge base of the fuzzy output system. Therefore, there is also a need to develop teaching methods for obtaining an initial assessment with the

required level of accuracy [3-4]. In addition, the mechanism of training neural networks does not rely on human expertise, but through a homogeneous structure of neural networks [5] it is difficult to extract structured knowledge. Therefore, for the task of evaluating and withdrawing the rating of the team of developers of the start-up projects, it is necessary to develop its own neuro-fuzzy network, working with fuzzy expert input signals and based on the knowledge base displays adequate results. Recent scientific studies indicate the need to develop such a model.

The purpose of scientific work is to develop an informational model for evaluating and eliminating the ranking of start-up teams using neuro-fuzzy network. To achieve the goal of scientific research it is necessary to solve such problems:

- Formulate a set of criteria for evaluating teams of developers of start-up projects, to provide input in the form of linguistic terms and coefficients of expert confidence in their assignment;
- Formulate the level of the rating of the teams of developers and production rules of the fuzzy knowledge base;
- Develop a neuro-fuzzy model for obtaining the resulting score and comparing it with the rating of teams of developers of start-up projects to build their ranking range;
- To approach the learning of the developed neuro-fuzzy network to determine the boundaries of decision-making and describe the general algorithm for constructing the resulting evaluation team start-up;
- Test the research on real data.

**Conclusions.** The developed neuro-fuzzy information model of the output of the ranking of start-up teams will be a useful tool for substantiating the choice of teams by investors for the implementation of their projects.

### References

1. Polishchuk, V., Malyar, M., Sharkadi, M., & Liakh, I. (2016). Model of start-ups assessment under conditions of information uncertainty. *EEJET*, 3/4 (81), 43-49. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71222.
2. Polishchuk, V., & Liakh, I. (2018). Information modeling of security increase in expert knowledge assessment. The 6th International Scientific Seminar "Formation of Knowledge Economy as the Basis for Information Society". Amsterdam – Paris. *International Academy of Information Science*, 18-22.
3. Dvorak, Z., Cekerevac, Z., Kelemen, M. & Sousek, R. (2010). Enhancing of security on critical accident locations using telematics support", in Sánchez, M. (ed.), International conference on society and information technologies, ICSIT 2010 proceedings, Orlando, Florida, USA, April 6th-9th, 2010, 414-417.
4. Kelemen, M. & Blišťanová, M. (2014). Logistic Modelling to handle the Threat of Floods - The Bodva River example, in Curran Associates, Inc. (eds.), 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2014 Conference Proceedings, Volume III, Sofia, Bulgaria, June 17-26, 2014, 715-723.
5. Subbotin, S. O. (2008). Podannya ta obrobka znan u systemakh shtuchnoho intelektu ta pidtrymky pryynyattya rishen: navch. posib. – Zaporizhzhya: ZNTU.

УДК 519.688

<sup>1</sup> **В.А. Бовді**

К.ф.-м.н., full professor

<sup>2</sup> **В.О. Лавер**

К.ф.-м.н., доцент кафедри ІУСТ

<sup>1</sup> *UAE University, Al Ain, UAE*

<sup>2</sup> *УжНУ, Ужгород*

## THELMA — ПАКЕТ GAP SYSTEM ДЛЯ РОБОТИ З ПОРОГОВИМИ ФУНКЦІЯМИ

**Вступ.** Питання чи може задана булева функція бути представлена за допомогою одного порогового елемента є центральним питанням порогової логіки. В пакеті THELMA (Threshold Elements: Modelling and Applications) [1] для системи комп'ютерної алгебри GAP System [2] реалізовано процедури та функції як для визначення пороговості функцій алгебри логіки, так і для роботи із нейроелементами над полем дійсних чисел та заданим скінченим полем.

**Можливості пакету.** В пакеті THELMA реалізовано підхід до визначення пороговості булевих функцій на основі методу матриць толерантності, запропонованого в [3]. Даний підхід дозволяє ефективно визначати пороговість функцій від великої кількості змінних та знаходити відповідні порогові елементи, які реалізують дані функції.

Пакет містить також процедури та функції для роботи із нейроелементами над полями Галуа. За допомогою THELMA зокрема протестовано гіпотезу, висунуту в [3], про існування поля Галуа, над яким усі булеві функції від заданої кількості змінних  $n$  можуть бути реалізовані одним нейроелементом і знайдено відповідні вектори структур для функцій від  $n \leq 4$  змінних. Математичні основи та опис алгоритмів, реалізованих у пакеті, викладено у [4].

**Висновки.** Пакет THELMA є розширенням системи комп'ютерної алгебри GAP System для роботи із пороговими функціями та вирішення задач порогової логіки.

### Список використаних джерел

1. Bovdi V. Thelma, A package on threshold elements, Version 1.02 [Електронний ресурс] / V. Bovdi, V. Laver // GAP Package. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://gap-packages.github.io/Thelma/>.
2. The GAP Group. GAP – Groups, Algorithms, and Programming, Version 4.10.0 [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gap-system.org>.
3. Гече Ф. Аналіз дискретних функцій та синтез логічних схем у нейробазисі: [Монографія] / Ф. Гече. – Ужгород: Видавництво В. Падяка, 2010 – 210 с.
4. Bovdi V. On the Construction of Kernels of Threshold Functions and Spectral Analysis of Discrete Neurofunctions Over Finite Fields / V. Bovdi, F. Geche, V. Laver. – 2019. (подано до друку)

УДК 551.551.8

**Броварець О.О.**

к.т.н., доцент

*Київський кооперативний інститут бізнесу і права*

## **ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ**

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

Очевидно, що за таких умов виникає необхідність у принципово нових підходах до ведення агропромислового виробництва, що полягає у забезпеченні належної якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічних операцій є інтегральним показником ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в межах агробіологічного поля. Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

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

Поставлене завдання досягається шляхом використання інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища.

Мета даного дослідження є розробка і обґрунтування функціональної структури, програмного забезпечення, написання програмного коду та алгоритмів керування виконавчими робочими органами інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

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

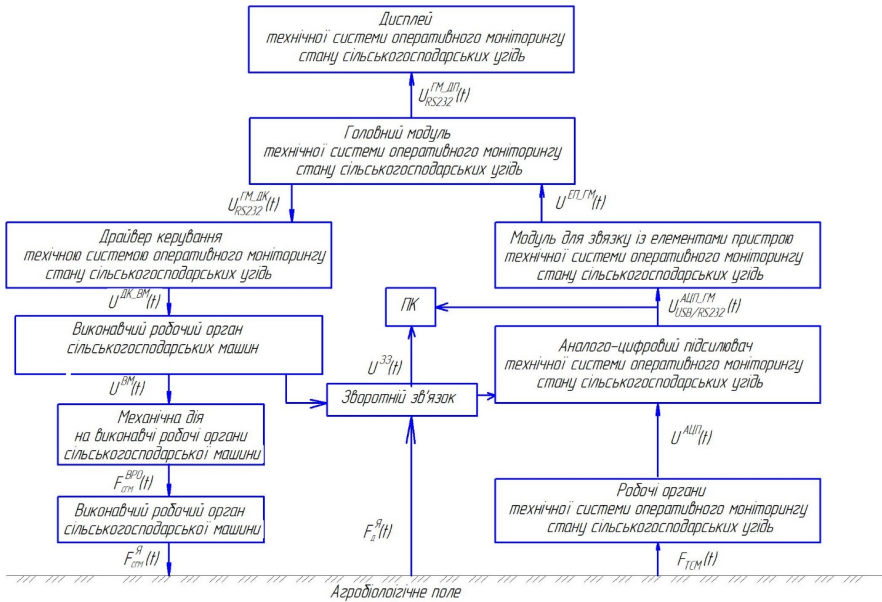


Рис. 1. Загальна схема інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

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

Функцію керування технологічним процесом з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь, можна представити наступною закономірністю:

$$U_a^B(t) = U(t_\beta - t_\alpha) = \int_{t_\alpha}^{t_\beta} \left[ F_{TCM}(t) + U^{ALPI}(t) + U_{USB/RS232}^{ALPI\_GM}(t) + U^{EPI\_GM}(t) + U_{RS232}^{GM\_DPI}(t) + U_{RS232}^{GM\_DK}(t) + U^{DK\_BM}(t) + U^{BM}(t) + F_{CFM}^{BPO}(t) + F_{CFM}^A(t) + F_D^A(t) + U^{33}(t) \right] dt = \mu(t_\alpha) \quad (1)$$

Функція оптимального керування буде мати такий вигляд:

$$U_{OPT}(t) = F_{TCM}(t) + U^{ALPI}(t) + U_{USB/RS232}^{ALPI\_GM}(t) + U^{EPI\_GM}(t) + U_{RS232}^{GM\_DPI}(t) + U_{RS232}^{GM\_DK}(t) + U^{DK\_BM}(t) + U^{BM}(t) + F_{CFM}^{BPO}(t) + F_{CFM}^A(t) + F_D^A(t) + U^{33}(t), \quad (2)$$

де  $F_{TCM}(t)$  – функція, яка описує функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану

сільськогосподарських угідь під час виконання технологічної операції;

$U^{AMB}(t)$  – функція, яка описує вихідний сигнал, отриманий від робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь до аналого-цифрового підсилювача перетворювача за допомогою екранованих проводів;

$U_{USB/RS232}^{AIII\_GM}(t)$  – функція, яка описує вихідний сигнал, отриманий від аналого-цифрового підсилювача-перетворювача інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь, та передає сигнал до модуля зв'язку із технічними системами оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь з використанням порту  $RS232$  чи до персонального комп'ютера за допомогою порту  $USB$ ;

$U^{EP\_GM}(t)$  – функція, що описує зв'язок елементів пристрою з головним модулем інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь;

$U_{RS232}^{GM\_DII}(t)$  – функція, яка описує сигнал, отриманий від головного модуля до дисплею керування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь;

$U_{RS232}^{GM\_DK}(t)$  – функція, яка описує сигнал, отриманий від головного модуля до драйвера керування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь;

$U^{DK\_BM}(t)$  – функція, яка описує вихідний сигнал, отриманий від драйвера керування до виконавчих робочих органів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь;

$U^{BM}(t)$  – функція зміни напруги керування виконавчим механізмом технічної системи оперативного моніторингу (в цьому випадку, електродвигун чи сервопривід);

$F_{STM}^{BPO}(t)$  – функція, яка описує керування виконавчими робочими органами сільськогосподарських машини, що виконує технологічну операцію (ланцюгові передачі, варіатор та інша механічна частина);

$F_{STM}^A(t)$  – функція, яка описує механічну дію виконавчих робочих органів сільськогосподарської машини на якість виконання технологічного процесу;

$F_d^A(t)$  – функція, яка описує інформацію від датчика якості виконання технологічної операції, які розміщується на сільськогосподарській машини з оперативним керуванням якістю залежно від технічних систем оперативного моніторингу;

$U^{33}(t)$  – функція, що описує зворотний зв'язок від параметрів та режимів роботи виконавчих робочих органів сільськогосподарських машин і синхронізується з даними аналого-цифрового підсилювача технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь  $U_{USB/RS232}^{AIII\_GM}(t)$  та

передається на головний модуль;

ПК – персональний комп'ютер, що отримує інформацію від функції  $U_{USB/RS232}^{АЦП_{ГМ}}(t)$ , яка описує вихідний сигнал отриманий від аналого-цифрового підсилювача-перетворювача технічної системи оперативного моніторингу.

Реалізації цього закону за допомогою функціональної схеми інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця (рис. 2).

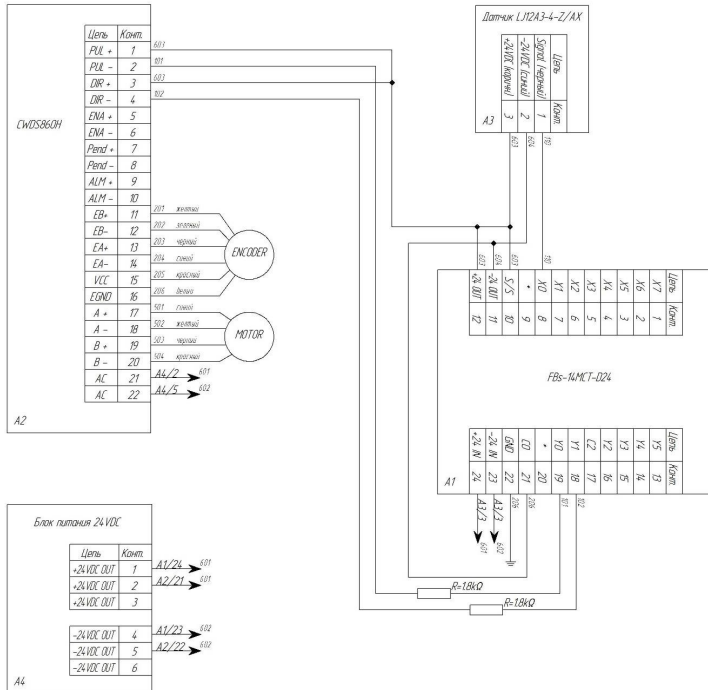


Рис. 2. Функціональна схема інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

**Висновок.** У дослідженні наведено функціональну структуру, програмне забезпечення, програмний код та алгоритми керування виконавчими робочими органами інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь. Результатом використання такої системи для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища є отримання підвищення прибутку на 20-30% за рахунок оптимізації норми висіву технологічного матеріалу із врахуванням агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

УДК 004.89

**<sup>1</sup>Возняк А.Т.**

студентка

**<sup>2</sup>Бегун В.В.**

кандидат технічних наук, завідувач відділу

<sup>1</sup>НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, м.Київ

<sup>2</sup>ІПММС НАН України, м.Київ

## **РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАПОБІГАННЯ ПОЖЕЖІ В ТОРГОВО-РОЗВАЖАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ НА ОСНОВІ ІМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

У статті 3 Конституції України сказано: “Людина, її життя і здоров'я, честь і гідність, недоторканність і безпека визнаються в Україні найвищою соціальною цінністю”. Безпека людини була і є актуальною проблемою. Однією з небезпек для людини є перебування в торгово-розважальних центрах та інших подібних закладах. Державною службою України з надзвичайних ситуацій у 2018 році було здійснено позапланові перевірки 4000 торгово-розважальних центрів (ТРЦ). Під час перевірок виявлено 83055 порушень [1], наприклад:

- на 1985 об'єктах відсутні або несправні автоматичні системи протипожежного захисту (49,6%);
- на 669 об'єктах відсутнє або несправне зовнішнє протипожежне водопостачання (16,7%);
- на 577 об'єктах відсутнє або несправне внутрішнє протипожежне водопостачання (14,4%);
- 576 будівель потребує заміни або ремонту систем електропостачання (14,4%);
- у 523 будівлях необхідно перепланувати шляхи евакуації (13,1%);
- 1318 будівель потребує обладнання первинними засобами пожежогасіння (33,0%);
- на більшості підприємств відсутнє навчання персоналу діям у аварійних ситуаціях.

Ці перевірки були ініційовані ДСНС України після пожежі у ТРЦ «Зимова вишня» у м. Кемерово, де за офіційними даними одночасно загинуло 62 людини.

Сучасні методи моделювання дозволяють розробити заходи запобігання на основі розрахунку ймовірності небажаної події, але поки що не існує єдиного підходу до математичного моделювання оцінок ризику. Найчастіше з поняттям “ризик” пов'язують ймовірність настання небажаної події. У Законі України [2] є таке визначення: “ризик – ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки і/(або) за її межами”. Оскільки більшість подій, що характеризують процес виникнення й розвитку пожеж мають стохастичну



природу, було прийнято рішення проводити аналіз на основі імовірнісної моделі процесів. Імовірнісні моделі та імовірнісний аналіз безпеки (ІАБ) широко й порівняно давно використовуються у моделюванні безпеки складних систем, АЕС тощо [3]. Що стосується застосування методу для аналізу безпеки ТРЦ, то це, мабуть, одна з перших спроб.

Перш, ніж застосувати метод визначення ризику, необхідно зрозуміти роботу системи, її елементів і вплив відмови окремого елемента на роботу усієї системи. Такого розуміння можна досягти шляхом проведення якісного аналізу. Якісна оцінка ризиків – це процес якісного аналізу результатів ідентифікації, а також визначення подій, що вносять найбільший внесок у загальний ризик, і які потребують вживання заходів до їхнього зниження. Ця обов'язкова процедура імовірнісного моделювання, звичайно виконується за допомогою методу FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), або у перекладі «аналіз видів відмов та їх наслідків – АВВН» [4]. Процедура FMEA – це якісний аналіз системи, що застосовується для визначення «впливових» подій, які обов'язкове мають бути включені в імовірнісну модель.

Для створення моделі запобігання пожежі в ТРЦ було визначено наступні події (деякі з них складні), що можуть призвести до заданої негативної події:

1. Електроустановки не відповідають вимогам нормативних документів
2. Системи опалення та теплові мережі не відповідають протипожежним вимогам стандартів
3. Системи кондиціонування та вентиляції не відповідають протипожежним вимогам норм
4. Газове обладнання не відповідає протипожежним вимогам норм
5. Системи каналізації та сміттєвидалення не відповідають вимогам та експлуатуються не відповідно до вимог протипожежних норм
6. Будівлі, приміщення та споруди не обладнані автоматичними системами протипожежного захисту (АСПЗ), в тому числі:
  - 6.1. системами пожежної сигналізації;
  - 6.2. автоматичними системами пожежогасіння;
  - 6.3. системами оповіщення про пожежу;
  - 6.4. системами управління евакуюванням людей;
  - 6.5. системами протидимного захисту;
  - 6.6. системами централізованого пожежного спостереження;
  - 6.7. АСПЗ обслуговуються не відповідно до вимог;
7. Улаштування та утримання внутрішнього протипожежного водогону, кількість введів у будівлю, витрати води на внутрішнє пожежогасіння та кількість струмин від пожежних кранів не відповідає вимогам будівельних норм.
8. Наявність та утримання:
  - 8.1. підрозділу добровільної пожежної охорони;
  - 8.2. підрозділу відомчої пожежної охорони;
  - 8.3. підрозділу місцевої пожежної охорони;
  - 8.4. пожежної техніки;

- 8.5. первинних засобів пожежогасіння.
- 8.6. здійснено навчання працівників з питань цивільного захисту.
9. Нове будівництво, реконструкція, переоснащення, реставрація та капітальний ремонт здійснюються не на підставі проектної документації
10. Застосування у будівництві матеріалів та речовин, на яких відсутні показники щодо пожежної небезпеки
11. Не розміщено інформацію про заходи безпеки та відповідну поведінку населення у разі виникнення аварії
12. Організація евакуаційних виходів не відповідає вимогам будівельних норм.
13. Забезпечення евакуаційних виходів
14. Наявність спеціальних місць для куріння

Наступним етапом є кількісна оцінка ризиків, яка полягає у визначенні значення імовірності виникнення ризиків і впливу їхніх наслідків на діяльність, що допомагає приймати оптимальні рішення.

Розроблена нами модель створена на основі «дерев відмов». Дерево відмов (ДВ) представляє собою графічну модель різних паралельних та послідовних поєднань базисних подій (БП), що призводять до реалізації раніше визначеної небажаної події. З математичної точки зору це розімкнутий граф, вершинами якого є те чи інше сполучення подій. У техніці ДВ – це математичні ймовірнісні моделі систем, які враховують відмови всіх елементів, що входять у систему, їх взаємозв'язок та взаємозалежність, та дозволяють розрахувати ймовірність відмови системи [3]. Моделювання технічних систем, навіть таких складних систем, як АЕС дещо простіше, оскільки порівняно легко прослідити вплив кожної БП (відмови) на роботоздатність кожної підсистеми, в яку входять елементи, що моделюються. FMEA аналіз надав можливість виявити логічні взаємозв'язки та вплив на подальший перебіг подій. Для побудови моделі використано декілька ДВ підсистем, зазначених вище у тому числі. Таким чином визначаємо не тільки ймовірність летальних наслідків, а й проміжні результати: ймовірність переростання загорянь у пожежу, ймовірність евакуації персоналу та відвідувачів ТРЦ та інше.

Висновок. На основі ймовірнісного моделювання можливе створення методики та програмного забезпечення за аналогією з складними технічними системами для розрахунків ризику у ТРЦ. Завдяки даним моделям можливо прослідкувати зв'язки між впливовими факторами та визначити найбільш ефективні засоби запобігання пожеж.

#### Список використаних джерел

1. Інформація щодо проведення ДСНС перевірок стану техногенної та пожежної безпеки об'єктів з масовим перебуванням людей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Rezultati-perevirki-TRC.html>.
2. Законі України “Про основні засади державного нагляду у сфері господарської діяльності”
3. В.В.Бегун. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Киев, 2000.
4. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

УДК 378.4:004

<sup>1</sup>**Й. І. Головач**

д.т.н., проф., проф.

<sup>2</sup>**О. В. Міца**

к.т.н, доцент, зав. каф. ІУСТ

<sup>1</sup> *Закарпатський угорський інститут ім. Ф. Ракоці ІІ, Берегове*

<sup>2</sup> *ДВНЗ “Ужгородський національний університет”, Ужгород*

## **ЕЛЕКТРОННИЙ УКРАЇНСЬКО-УГОРСЬКИЙ (УГОРСЬКО-УКРАЇНСЬКИЙ) МАТЕМАТИЧНИЙ СЛОВНИК**

У Закарпатському угорському інституту ім. Ф. Ракоці ІІ (ЗУІ) більшість студентів є випускниками шкіл з угорською мовою навчання. Для покращання володіння ними українською мовою в ЗУІ для всіх спеціальностей введено вивчення української мови по професійним напрямкам. Важливим компонентом методичного забезпечення цього є розробка спеціалізованих тематичних українсько-угорських (угорсько-українських) словників. Такий словник по математиці було видано ще у 1998 році [1].

В останній період з'явилася можливість розробки електронних словників.

У ЗУІ ведеться робота по розробці спеціалізованих українсько-угорських (угорсько-українських) електронних словників, до яких студенти (а також учні шкіл) мали б доступ через Інтернет. На даний момент нами розроблені електронні словники по математиці, які розміщені на сайті інституту. Кожен словник містить більше, як 5200 словникових статей.

Програмне забезпечення системи розроблено на мові PHP (частково на JavaScript) і реалізує технологію «клієнт–сервер». Словники зберігаються на сервері в базах даних (БД), які функціонують під управлінням СУБД MySQL. SQL-сервер системи знаходиться на сервері інституту. На основі запиту, отриманого від користувача, клієнтський додаток формує його, як *запит на мові SQL* до сервера. SQL-сервер виконує запит до БД, а отриманий результат передає додатку-клієнту, який видає його користувачу.

З точки зору доступу до словників можна виділити дві компоненти: *зовнішню та внутрішню*. Зовнішня компонента призначена для безпосереднього користування словниками (без можливості його модифікації). Для модифікації словників використовується внутрішня компонента, до якої мають доступ лише адміністратори словників з інститутських комп'ютерів.

В зв'язку з тим, що програмне забезпечення системи не залежить від змісту словників, на його основі розроблені електронні словники по іншим галузям знань (крім математики). На даний момент є можливість вибирати наступні спеціалізовані словники:

*математика, історія, біологія, економіка, інформатика, географія, хімія, а також загальний словник.*

Після вибору напряму перекладу (*угорсько-український або українсько-угорський*), користувач, крім “традиційної” операції пошуку в словнику –

переклад окремого слова, може вибрати ще такі операції: *пошук слів, які містять задану частину слова; знаходження виразів, які містять введене слово; вивід частини словника між двома заданими словами; повний словник (слова та вирази); словник без виразів, які можуть бути корисними в різних конкретних ситуаціях* (рис. 1). Результати пошуку можна вивести на друк.



Рис. 1. Інтерфейс програми

Користуючись внутрішнім компонентом системи адміністратори можуть редагувати словники. Основні можливості по веденню словників:

- введення у словники окремих слів (або виразів);
- модифікація та видалення слів (або виразів);
- вивід словника та його частин на монітор для полегшення операцій модифікації та видалення словникових статей;
- перенумерація словника. (Нумерація рядків спрощує процес редагування словника);
- передбачена можливість вводу у словник дані з текстового (.TXT) файлу.

#### Список використаних джерел

1. Головач Й.І. Українсько-угорський угорсько-український математичний словник. – Nyiregyháza: BGYTF, 1998. – 269 с.

УДК 004.62

<sup>1</sup>**С. М. Злепко**

Д.т.н., професор, зав. кафедри Біомедичної інженерії

<sup>2</sup>**С. В. Тимчик**

Д.т.н., доцент кафедри Біомедичної інженерії

<sup>3</sup>**І. О. Криворучко**

Аспірант кафедри Біомедичної інженерії

<sup>3</sup>**М. І. Паламарчук**

Магістр

<sup>1-4</sup>*Вінницький національний технічний університет, Вінниця*

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ НИЗЬКО ІНТЕНСИВНОЇ СВІТЛОВОЇ КОРЕКЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОЯКІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**

**Вступ.** Інформаційна технологія низькоінтенсивної світлової корекції функціонального стану вояків ЗСУ представлена на рис. 1 у вигляді логічної послідовності функціональних, автономно-завершених етапів, починаючи від збору і реєстрації даних і завершуючи продовженням виконання професійної діяльності чи відстороненням від неї.

Алгоритм функціонування I етапу технології побудовано за класичною схемою, яка передбачає ввід даних безпосередньо від давачів, розміщених на тілі вояка або із бази даних; попереднє оброблення (фільтрацію, стабілізацію ізольній, АЦП та інше) і передачу на другий етап - оброблення даних.

Етап оброблення даних є одним із основних і передбачає процедури ранжування показників за ступенем інформативності та формування загального переліку показників для конкретного дослідження, після чого виконується процедура аналізу сформованого переліку на предмет його достатності. У випадку, якщо даних недостатньо або недостатній ступінь їх інформативності, процедура ранжування і формування повторюється, як і процедура формування робочого (діагностичного) переліку показників, що здійснюється тільки за умови наявності позитивного результату після виконання попередніх процедур [1].

На етапі №3 враховується вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на процес корекції стану вояка; виконується аналіз пропозицій і визначається напрям оптимізації психофізіологічних показників, параметрів і критеріїв за допомогою відповідного математичного апарату; виконується безпосередньо оптимізація параметрів і здійснюється підготовка умов для етапу підтримки прийняття рішень.

Інформаційне забезпечення четвертого етапу представлено сукупністю спеціалізованих баз даних і знань; блоків, які забезпечують логічно-розумову послідовність підтримки прийняття рішень; експертами; ОНР - лікарем і тимчасовим сховищем даних. Вибір моделей для підтримки прийняття рішень здійснює ОНР (лікар), використовуючи відповідну БД моделей, а їх

персоніфікація та адекватність забезпечуються блоком трансформації моделей, блоком висновків і рекомендацій та блоком оцінювання якості та адекватності прийнятого рішення. Інтелектуальний інтерфейс, група експертів і база знань

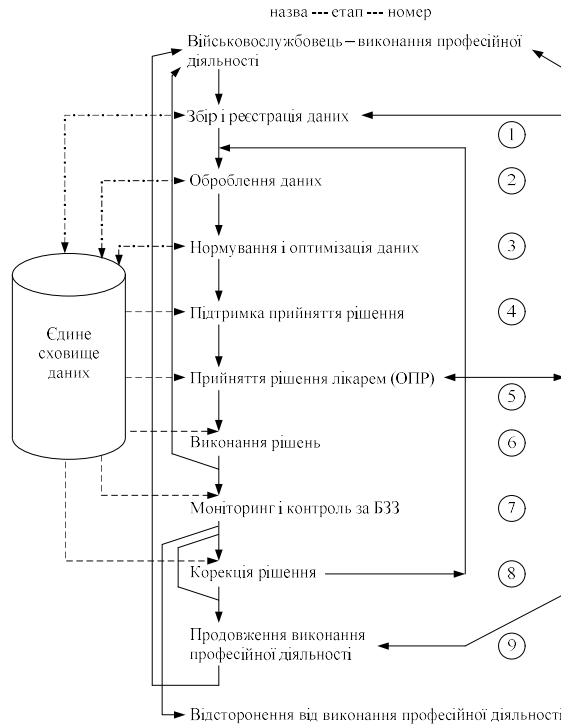


Рисунок 1 – Структура інформаційної технології низько інтенсивної світлової корекції функціонального стану воєка ЗСУ, де

- · — · — · → – інформаційні потоки, які пов'язані з моніторингом даних;
- · — · — · — · → – інформаційні потоки, які пов'язані з прийняттям рішення.

формують додаткову гілку забезпечення оптимального адекватного рішення щодо діагнозу і тактики світлової корекції функціонального стану воєка.

**Висновок.** Розроблена технологія реалізована за принципами сервіс-орієнтованої архітектури, що дає їй відповідні переваги: незалежність від платформи, на якій вона реалізована та засобів розроблення; адаптованість до вимог користувачів; масштабованість та можливість розвитку як апаратного так і програмного забезпечення; можливість інтеграції з іншими інформаційними технологіями і системами.

#### Список використаних джерел

1. Тимчик С. В. Концептуальні основи теорії психофізіологічної надійності / С. М. Злепко, М. Т. Бондарчук, С. В. Тимчик // Вісник Хмельницького національного університету. - 2005. – Ч.1, Т. 2, № 4. - С. 87-89.

УДК 519.237.8

**Н.Е. Кондрук**

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібернетики і прикладної математики

*ДВНЗ «УжНУ», Ужгород*

## ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ МІР ПОДІБНОСТІ В КЛАСТЕРНОМУ АНАЛІЗІ

**Вступ.** Кластеризація (неконтрольована класифікація, автоматичне групування об'єктів) дозволяє розбити набір даних на деяку кількість однорідних в певному сенсі кластерів. Центроїдна неконтрольована класифікація реалізується методами кластерного аналізу і дозволяє виявляти властивість даних групуватись близько до деяких значень (центрів). Загалом концепцію кластерного аналізу багатовимірних даних можна визначити як розподіл всіх можливих точок (об'єктів)  $m$ -вимірному простору ознак за відповідними кластерами. При цьому об'єкти одного кластера групуються в просторі ознак компактно: подібність об'єктів всередині кластера більша, ніж між об'єктами різних кластерів. Поняття подібності об'єктів математично може бути виражено різними способами. Найчастіше для цього використовується деяка метрика відстані (Евкліда, манхеттенська, Чебишева та ін.). При цьому форма кластерів обмежується еліпсоїдною. Існує цілий ряд прикладних задач розв'язання яких потребує утворення кластерів інших геометричних форм [1-3].

Таким чином, доцільним є розробка математичного апарату, який дозволить би проводити групування об'єктів на кластери різних геометричних форм. Це дає можливість ефективно розв'язувати достатньо широкі класи прикладних задач із різних предметних областей.

**Деякі види мір подібності.** Пропонується використати міру подібності експоненціального виду засновану на понятті нечітких бінарних відношень об'єктів [2, 4]:

$$\mu_R(\bar{c}_i, \bar{c}_j) = e^{-\rho_{ij}}, \quad (1)$$

де  $R$  - нечітке бінарне відношення задане на множині векторних ознак  $C = \{\bar{c}_i | i = \overline{1, m}\}$  із функцією належності  $\mu_R : C^2 \rightarrow [0, 1]$ , що характеризує подібність об'єктів за деяким критерієм,  $\rho_{ij} : C^2 \rightarrow [0, 1]$  - деякий функціонал.

Вибір саме такого виду функції належності забезпечує можливість підбору  $\rho_{ij}$  так, щоб близькість її значень до 1 характеризувала сильну подібність, а до 0 відмінність об'єктів  $i$  та  $j$  за певним критерієм. Функція виду (1) має «хороші» властивості – гладкість, неперервність та монотонність.

В роботі [4] розроблено алгоритм однорівневої кластеризації, що використовує зокрема, міри подібності об'єктів типу (1) -  $R^V$ ,  $R^D$ . Ідея методу полягає у визначенні подібності за певним нечітким бінарним відношенням і утворенням кластеру, із тих об'єктів, функція належності  $\mu_R$  яких більша за

певний поріг кластеризації – число із проміжку  $[0, 1]$ . Проведення практичних експериментів показало, що «хороша» чутливість функції типу (1) в околі свого граничного значення ( $\sup \mu_{R^D} = 1$ ) дозволяє проводити кластеризацію об'єктів для всіх можливих величин порогів проміжку  $[0; 1]$  із певною точністю (наприклад, із точністю 0,01). Це забезпечує можливість проводити дослідження всієї динаміки зміни кластерів та їх структури.

Так нечітке бінарне відношенням  $R^V$  [4] характеризує близькість точок простору ознак об'єктів за відстанню і приводить до утворення еліптичних кластерів. «Довжинна» міра подібності  $R^D$  дозволяє розбивати вектори ознак об'єктів на кластери концентричними сферами [2] і характеризує різницю довжин векторів ознак об'єктів.

Кластеризація еліптичними кластерами є найбільш поширена при розв'язанні багатьох прикладних задач, так як схожість об'єктів проводиться на основі «відстаневої» міри подібності. Але використання саме однорівневого методу показало дуже хороші результати на практиці, які описані в [4]. Кластеризація концентричними кластерами (кластерами у формі концентричних сфер) [2] дала можливість групувати об'єкти за довжиною схожістю їх векторів ознак та отримувати якісно нову прикладну змістовну інтерпретацію утворених однорідних груп на практиці.

**Висновок.** Отже, проведені дослідження показали, що міри подібності, засновані на нечітких бінарних відношеннях, які характеризуються функцією належності типу (1) забезпечують проведення групування точок простору ознак кластерами різних геометричних форм і можуть бути ефективно використані для розв'язання різних прикладних задач кластерного аналізу.

#### Список використаних джерел

1. Кондрук Н. Е. Системи підтримки прийняття рішень для автоматизованого складання дієт / Н. Е. Кондрук // Управління розвитком складних систем. – 2015. – Вип. 23(1). – С. 110–114.
2. Кондрук, Н. Е. Використання довжинної міри подібності в задачах кластеризації / Н. Е. Кондрук // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2018. – № 3 (46) – С. 98-105. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-3-11.
3. Кондрук, Н. Е. Деякі методи автоматичного групування об'єктів / Н. Е. Кондрук // Південно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 2. – № 4 (68). – С. 20–24.
4. Kondruk N. Clustering method based on fuzzy binary relation / N. Kondruk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2017. - № 2(4). - С. 10-16. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.94961 2.



УДК 004.942

<sup>1</sup> **В.Ю.Корольов**

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

<sup>2</sup> **М.І.Огурцов**

Науковий співробітник

<sup>3</sup> **О.М.Ходзінський**

Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

<sup>1-3</sup> *Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, Київ*

## ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ГРУП БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ АПАРАТІВ

**Вступ.** Масове виробництво безпілотних літаючих апаратів (БПЛА) призвело до їх суттєвого здешевлення та зробило економічно прийнятним використання їх груп [1-5]. Наразі для визначення розташування позицій супротивника активно використовуються одиночні БПЛА з відеокамерою або тепловізором, що дистанційно керуються з захищеної позиції. Застосування об'єднаних у мережі груп БПЛА з комбінованим навантаженням дозволяє прискорити виявлення і стеження за малими групами супротивника, які мають високу динаміку переміщень, діють під прикриттям засобів радіоелектронної боротьби і радіоелектронної розвідки та мають маскування від тепловізорів.

**Постановка задачі пошуку об'єкта.** Висока динаміка подій у сучасних гібридних війнах та використання автономних груп засобів технічної розвідки з штучним інтелектом, що з'являється у найближчий час, вимагають перегляду постановок задач оптимізації військових операцій та методів їх розв'язання. Перш ніж атакувати групу супротивника, необхідно за короткий інтервал часу визначити його координати, тип озброєння, чисельність, параметри руху, можливі контрзаходи та інше для вибору раціональних засобів його знищення. Тому прискорення процесів розвідки і побудови шляхів патрулювання, котрі є простими і багатократно повторюваними діями при подібних початкових умовах, є актуальною проблемою для оптимізації виконання операцій пошуку і управління. Розрахунок величин, що характеризують ефективність операції, дозволяє, окрім оцінки раціональності використання застосованих груп БПЛА, також виявити зміну тактики супротивника та ініціювати контрзаходи.

**Змістова постановка задач.** Наведемо змістовні постановки кількох задач для груп БПЛА.

*Задача 1. Загальна розвідка території.* Є певна територія, на якій слід виконати заходи по визначенню поточної ситуації. Вона може містити місця особливого інтересу, що потребують першочергової уваги і обов'язково мають бути відвідані. Задачею є виконати розвідку наявними БПЛА якомога більшого відсотку заданої території за вказаний час із зазначеними витратами пального.

*Задача 2. Розвідка заданих точок.* В цьому випадку не потрібно обстежувати певну територію. Необхідно лише відвідати ряд заданих точок з метою виконання наявних завдань. До таких завдань можуть відноситись

перевірка блокувань супротивника та інших об'єктів ворожої інфраструктури, перехресть доріг, місць потенційних засідок, контроль можливих шляхів підступу до своїх позицій, цілевказання тощо. Подібні обмеження враховуються шляхом введення штрафних значень, які додаються до наявної ваги ребер графа задачі.

Єдиною відмінністю у порівнянні із задачею 1 є те, що БПЛА мусять потрапити в усі точки із наявних.

**Задача 3. Спостереження.** В цьому випадку треба спостерігати за певною ділянкою місцевості за регулярним принципом з метою виявлення будь-яких змін. Ця задача відноситься до задач маршрутизації транспорту з періодичною маршрутизацією.

Математично не відрізняється від задачі 1. Може містити або не містити місця особливої цікавості для спостереження.

**Задача 4. Патрулювання.** Ця задача є окремим випадком задачі спостереження. Відмінністю є те, що спостерігається не просто зона відповідальності, а певні відомі маршрути патрулювання або периметри позицій.

**Задача 5. Задача доставки.** Є ряд об'єктів, які слід відвідати та доставити їм певний вантаж. Усі об'єкти мають обов'язково бути відвідані. Після завершення виконання завдання БПЛА має повернутись до одного з місць приземлення.

**Висновки.** Подані змістовні постановки і математичні моделі задач маршрутизації дозволяють скоротити кількість БПЛА, що використовуються у групі для виконання поставлених задач та прискорити виконання таких завдань, як пошук об'єкту, розвідка місцевості та доставка вантажів, в тому числі за умови дії засобів РЕБ.

Напрямок подальших досліджень може бути оптимальний синтез траєкторій пошуку об'єкту для групи БПЛА.

#### Список використаних джерел

1. Golden B., Raghavan S., Wasil E. (2008). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, New York: Springer.
2. Гуляницький Л.Ф. (2007). *Проблема оптимізації маршрутов транспортних средств с временными окнами* // Компьютерная математика. № 1. – С. 122–132.
3. Корольов В.Ю., Огурцов М.І. (2017) *Транспортно-комунікаційна задача для груп безпілотних апаратів* // Математичні машини і системи. № 1. – С. 82 – 89.
4. Огурцов М.І., Ходзінський О.М. (2016). *Розробка алгоритмів розв'язання задачі маршрутизації транспортних засобів з часовими вікнами*. Комп'ютерна математика. №1. – С. 134 –142.
5. Гуляницький Л.Ф., Рибальченко О.В. (2018). *Формалізація та розв'язування одного типу задач маршрутизації БПЛА*. Теорія оптимальних рішень. 17. – С. 107-114.

УДК 004.6

<sup>1</sup> О.В. Кравченко

К.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій проектування

<sup>2</sup> І.С. Уманець

аспірант

<sup>1,2</sup>Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

## ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА УЧАСНИКА ВЕБ- СПІЛЬНОТИ В УМОВАХ ПОВЕДІНКОВОЇ ЕКОНОМІКИ.

**Вступ.** Вплив інформації на особистість є фактом. Постає проблема дослідження питань впливу інформації на людину з точки поведінкової економіки для прийняття рішення з питання що, розглядається. Основна інформація зосередження в мережі інтернет і 85% населення є користувачами веб-спільнот [1]. Під веб-спільнотою будемо розуміти як учасників соціальних мереж, так і дописувачів груп меседжерів та YouTube каналів.

Розглядаємо задачу збору та обробки особистісних даних для визначення схильності людини до прийняття рішення з питань політичної лояльності. Розглядаємо саме «Людину» з позиції поведінкової економіки, що має особистісні характеристики, які впливають на прийняття ситуаційних рішень. «Людина раціонал» має набір основних характеристик, що не змінюються під впливом особистісних характеристик, що дає можливість розрахувати ймовірніший розвиток подій та відкидаючи додаткові фактори як неважливі. Збір інформації у соціальних мережах відбувається засобами ботів-співрозмовників. Обробка інформації ведеться засобами інтелектуальної системи досліджень соціогруп.

На рисунку 1 зображено модель процесу формування власної думки під впливом зовнішньої інформації та інформації в середині соціогрупи.

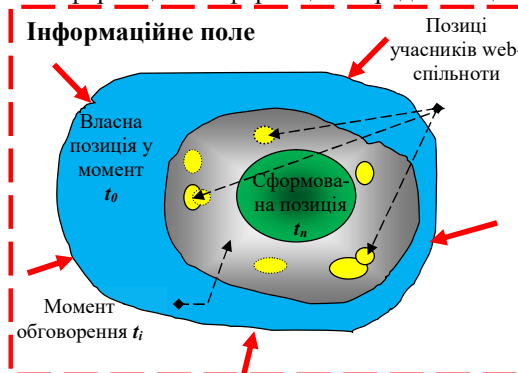
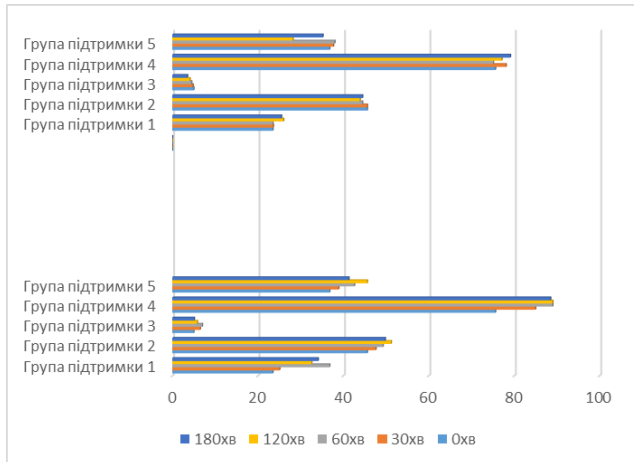


Рисунок 1 – Модель процесу формування громадської думки

За допомогою методу аналогій на основі зібраних даних розраховуються значення функції корисності у відповідності до правил поведінкової економіки [2].

На рисунку 2 зображено діаграму зміни позиції учасників YouTube каналу за 180 хвилин.



**Рисунок 2** – Діаграма зміни позиції учасників веб спільноти в умовах поведінкової економіки

В експерименті приймало участь 5 груп. Група 2 мала відверто негативне ставлення до події (в середньому 4% підтримки), група 2 підтримувала подію на рівні 75%. Коливання твердості позиції становило в межах 2-10% в залежності від початкових вподобань. Модуль функції корисності має кореляцію відносно результатів загальноприйнятих соціологічних досліджень не більше 2-3%. Отже, при структурованому підході до обговорення проблеми та наявності не менше 10% групи підтримки в спільноті позиція учасників змінюється у часі під впливом зовнішньої інформації.

**Висновки.** описано результати експерименту застосування моделі впливу зовнішньої інформації на користувачів web-спільнот на прикладі спільноти YouTube-каналу, що підтримує певну політичну силу. Побудованого графіку корисності, який відповідає типу графіку корисності поведінкової економіки.

#### Список використаних джерел

1. Steven T. Smith, Edward K. Kao, Danelle C. Shah, Olga Simek, Donald B. Rubin. Influence Estimation on Social Media Networks Using Causal Inference. IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP), 2018. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8450823> (accessed 15.02.2019)
2. Пелешак Р.М., Скотна Н.В. Колективні ефекти при формуванні громадянської думки в межі моделі Ізінга – Вайдліха. Доступно в: [http://science.lp.edu.ua/sites/default/files/Papers/37\\_89.pdf](http://science.lp.edu.ua/sites/default/files/Papers/37_89.pdf) (Дата звернення 12.03.2019)

УДК 004.896

<sup>1</sup>**В.І. Кудін**

Професор кафедри інтелектуальних та інформаційних систем, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

<sup>2</sup>**А.В. Кошель**

Магістрант

<sup>1,2</sup>*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ ПРИ АНАЛІЗІ РИНКОВОГО КОШИКА**

Навчання асоціативних правил – метод машинного навчання машин на основі правил для знаходження відношень між змінними у великих базах даних. Метою є ідентифікація правил, які виявляються в базах даних з використанням деяких вимірів зацікавленості [2].

Вперше детально про метод асоціативних правил було згадано в роботі "Discovery, Analysis, and Presentation of Strong Rules." (1991) Георгієм Пятецьким-Шапиро. Більш докладно тему розвивали Р. Агравал, Т. Імелінські, А.Свами в роботах "Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases "(1993) [2] і "Fast Algorithms for Mining Association Rules. "(1994) [1]. Ракеш Агравал, Томаш Імелінський та Арун Свами[1] запровадили асоціативні правила для виявлення закономірностей між продажами продуктів, які фіксуються через торгові точки (англ. point-of-sale, POS) у супермаркетах і всі ці транзакції зберігаються у величезній базі даних.

Для відбору правил з множини усіх можливих правил, накладають обмеження на різні способи вимірювання значущості та інтересу. Серед основних концепцій:

- Підтримка (вказує наскільки часто набір предметів з'являється у базі даних)
- Впевненість (вказує на те, як часто виконується правило)
- Ліфт (співвідношення спостережуваної підтримки до очікуваного)
- Переконливість (інтерпретовано як відношення очікуваної частоти того, що X трапляється без Y (тобто частота того, що правило робить неправильне передбачення), якщо X та Y незалежні, поділене на частоту спостережень невірних передбачень) [4].

Існує ряд часто використовуваних класичних алгоритмів, що дозволяють знаходити правила в DataSet згідно перерахованим вище понять - Наївний або брутфорс-алгоритм, Apriori- алгоритм, ECLAT-алгоритм, FP-growth алгоритм і інші [5].

Особливістю застосування методу асоціативних правил є те, що алгоритм досліджуючи базу даних покупок, аналізує, що при покупці в кошику {тісто для піци, ковбаса}->{піца}, якщо споживач купує дані продукти, то має намір приготувати піцу, то ймовірно, що також буде придбано сир. Така інформація

може бути використана як підґрунтя для прийняття рішень щодо маркетингової діяльності, наприклад, рекламних цін або вибору місць для розташування товарів. Завдяки цій інформації можна найбільш ефективно підійти до аналізу споживача та індивідуально підібрати товари, такий підхід зможе підняти продажі та інші цілі компанії.

**Висновки.** На основі методу асоціативних правил – розробляється система, яка буде автоматично визначати товар для реклами користувачу та будувати оптимальний маршрут його проходження по магазину. Основоположними для розробки даної системи є такі дані: інформація по розміщенню товару в магазині, чеки клієнтів, база даних покупок, тощо. За допомогою даної програми для користувача вирішується проблема мінімізації витрат часу та максимізація доходу для магазину, за рахунок вдалого комбінування використання нейронних мереж та еволюційних алгоритмів.

#### **Список використаних джерел**

1. Agrawal, R.; Imieliński, T.; Swami, A. (1993). Mining association rules between sets of items in large databases. Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '93. с. 207.
2. Piatetsky-Shapiro, Gregory (1991), Discovery, analysis, and presentation of strong rules, in Piatetsky-Shapiro, Gregory; and Frawley, William J.; eds., Knowledge Discovery in Databases, AAAI/MIT Press, Cambridge, MA.
3. S.Murthy. Automatic construction of decision trees from data: A Multi-disciplinary survey.1997.
4. J. Han, J. Pei, and Y. Yin, “Mining frequent patterns without candidate generation,” in ACM SIGMOD Record, vol. 29, no. 2. ACM, 2000, pp. 1–12.
5. Введение в анализ ассоциативных правил [Електронний ресурс] // Технологии анализа данных. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/intro>

УДК 004.89

**А.В. Кулик**

Кандидат економічних наук, доцент, старший науковий співробітник.

*Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАНУ та МОНУ, м. Київ.*

## **ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕКОНОМІЦІ**

**Вступ.** В умовах глобальної цифрової трансформації суспільства, принципово змінюються запити, умови та форми економічної діяльності й керування нею, що вимагає неперервного удосконалення та підвищення якості підтримки прийняття ефективних управлінських рішень. Для цього створено багато прикладних систем, що вирішують завдання різного характеру й масштабу. Для забезпечення системності використання здійснюється поступове їх об'єднання в корпоративні інформаційні системи та перехід до комплексних платформ бізнес-інтелекту (Business Intelligence), побудованих з використанням методів і моделей штучного інтелекту. Тобто відбувається поступовий перехід від інформаційних систем, основним завданням яких є інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття рішень до інтелектуальних систем, які виробляють нові знання. Саме з розробкою та запровадженням інтелектуальних технологій більшість фахівців пов'язують підвищення якості процесу підтримки ефективних управлінських рішень в економіці.

Питання розроблення та запровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР) в економіці розглядають у своїх наукових роботах багато закордонних і вітчизняних вчених, зокрема, К.Верселіс, М.Мінеллі, Е.Турбан, О.В.Колесников, А.В.Остроух, П.М.Клачек, Г.Сетлак, В.В.Вітлінський, Г.О.Чорноус, С.П.Альошин, О.Ю. Мінц та інші. Разом з тим існує ряд проблем, які необхідно вирішити для розробки ефективних ІСППР, які б відповідали запитам сучасного керування економікою.

### **Виклад основного матеріалу.**

В інтелектуальних системах необхідні знання представляються за допомогою різних методів і технологій штучного інтелекту. Застосовуючи ці знання, інтелектуальні системи спроможні певною мірою замінити особу, яка приймає рішення. При цьому виникає дві основні проблеми: максимальне наближення інтелектуальних систем до об'єктивної сутності економічних явищ і процесів та принципів мислення особи, яка приймає рішення, а також створення систем, що інтегрують вже створені технології та системи, в тому числі інтелектуальні, підтримки прийняття рішень, спроможні вирішувати економічні завдання. Відповідно формуються два відповідні перспективні напрямки досліджень у сфері ІСППР, які повністю відповідають основним стратегічним напрямкам досліджень штучного інтелекту [1].

Максимальне наближення інтелектуальних систем до об'єктивної сутності економічних явищ і процесів досягається, насамперед, шляхом формування

об'єктивної системи знань про предметну область. Більшість економічних явищ і процесів є складними, багатограними, різноякісними та динамічними. Вони постійно змінюються і піддаються впливу чисельних внутрішніх і зовнішніх факторів, що важко формалізуються. На сьогодні, незважаючи на багатомісячну історію розвитку економіки, більшість її понять та категорій, особливо системних, залишаються не до кінця визначеними і дискусійними навіть на рівні загальних формулювань, зміст багатьох з них зазнав істотних трансформацій і потребує суттєвого удосконалення. Для того, щоб ІСППР були ефективними, вони повинні передбачати побудову чіткої системи знань про предметну область на основі системного розуміння об'єктивної сутності та змісту економічних явищ і процесів з використанням різних методів представлення знань, насамперед семантичного моделювання.

Економічні об'єкти є складними системними об'єктами, що мають високий рівень самоорганізації та саморозвитку. Використання синергетичного підходу при формуванні системи знань про предметну область, розроблення й використання методів і моделей врахування процесів самоорганізації й саморозвитку дозволить формалізувати та ефективно вирішити багато складних проблем керування, які не можливо розв'язати традиційними методами прийняття рішень.

В економіці для отримання знань використовують надзвичайно широке коло методів, моделей та алгоритмів. При розробленні ІСППР найперспективнішим є не стільки розробка нових методів, моделей та алгоритмів, скільки інтелектуалізація тих, що вже себе зарекомендували як дієві засоби підтримки ефективних управлінських рішень.

При створенні ІСППР найперспективнішим з огляду на можливість не тільки вибирати найкращі, а й покращувати вже наявні моделі, методи та алгоритми є гібридний підхід, що дозволить поєднати переваги напрацьованого програмного забезпечення підтримки прийняття рішень, синтезувати якісно різні підходи до обґрунтування рішень, комбінувати різні інтелектуальні методи та моделі, широко залучити гібридні алгоритми [2]. Як модель такої системи найбільш доцільно обрати мережеву структуру з колективною взаємодією програмних модулів [3].

**Висновки.** Основними проблемами, вирішення яких істотно підвищить якість та ефективність ІСППР в економіці визначаємо максимальне наближення інтелектуальних систем до об'єктивної сутності економічних явищ і процесів та принципів мислення особи, яка приймає рішення, а також створення систем, що інтегрують вже розроблені технології та системи підтримки прийняття рішень, спроможні вирішувати економічні завдання різної складності.

#### Список використаних джерел

1. Остроух А.В. Интеллектуальные информационные системы и технологии: Монография / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 370 с.
2. Черноус Г. Агентна модель інтелектуальної системи управління в економіці
3. Плєскач В.Л. Агентні технології / В.Л. Плєскач, Ю.В. Рогущина. – К. : КНТЕУ, 2005. – 338 с.



УДК 004.043

<sup>1</sup> **В.В. Литвинов**

доктор технічних наук, професор

<sup>2</sup> **Н. Стоянов**

доктор технічних наук, професор

<sup>3</sup> **О.В. Трунова**

кандидат педагогічних наук, доцент

<sup>4</sup> **І.С. Скігер**

кандидат фізико-математичних наук, доцент

<sup>1,3</sup> *Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів*

<sup>2</sup> *Болгарський інститут оборони ім. Ц. Лазарова, м. Софія*

<sup>4</sup> *Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ*

## **ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕСТАНДАРТНОЇ ПОВЕДІНКИ КОРПОРАТИВНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРО-ІМУННИХ МЕРЕЖ**

**Вступ.** Використання традиційних методів при розробці систем виявлення вторгнень (СВВ) і систем виявлення зловживань (СВЗ) є все менш ефективним. Тому ставиться завдання побудови систем захисту з використанням інтелектуальних методів, що моделюють поведінку зловмисників. До них відносять методи і моделі штучного інтелекту, генетичні алгоритми, імунні моделі, нейромережеві моделі [1]. Використання вказаних методів для якісного визначення аномальної поведінки мережі вимагає значних обчислювальних і часових ресурсів. Це призводить до необхідності розробки спеціалізованих засобів для автоматизації процесу виявлення аномальних подій в мережі.

**Синтез імунних та нейромережевих алгоритмів для аналізу стану корпоративних інформаційних мереж** Найбільш перспективними підходами для вирішення зазначених проблем можуть бути методи засновані на біологічному моделюванні штучного інтелекту - імунні системи (Artificial Immune System - AIS) [2], нейронні мережі (Artificial Neural Networks - ANN) [3], а також їх комбінації.

Застосування нейронних мереж як інструменту аналізу в режимі реального часу найбільш ефективно при використанні мереж Кохонена на базі методу «Winner Takes All» (WTA) [4]. Це дає можливість виявляти нестандартну поведінку мережі, аномалії, вторгнення і атаки шляхом порівняння поточних станів системи з «ідеальними».

Реальні імунні системи (AIS) стосовно до сфери інформаційних технологій [5] є розподіленими і відносно невимогливі до обчислювальних ресурсів. Саме ці властивості можуть забезпечити максимальну ефективність проєктованих систем виявлення аномальної поведінки (СВАП). В основній СВАП на базі AIS імітуються два процеси - еволюція генної бібліотеки і негативна селекція.

На етапі еволюції генної бібліотеки відбувається накопичення інформації про характер аномалій мережевого трафіку.

На другому етапі шляхом довільного комбінування "генів" відбувається генерування пре-детекторів, які потім за допомогою механізму негативної селекції перевіряються на несумісність з нормальним мережевим трафіком [6]. Кінцевою метою в цьому випадку є створення обмеженого набору детекторів, за допомогою якого можна було б виявити максимальне число мережевих нестандартних подій.

При виявленні нестандартної поведінки відбувається клональна селекція - відповідний їй детектор "розмножується" і розсилається на всі вузли. Остаточне

ж рішення про вторгнення в мережу приймається на підставі даних від декількох вузлів.

Застосування комбінації AIS і ANN пов'язано з тим, вони обидві здатні вивчати динаміку і статистичні властивості системи. Для досягнення максимальної ефективності в них необхідний підбір значень керуючих параметрів, тощо.

Структура системи виявлення аномального поведінки (СВАП) розроблена на основі принципів роботи AIS і ANN включає в себе: модуль аналізу трафіку, модуль навчання, модуль виявлення нестандартної поведінки і модуль прийняття рішень та оповіщення (рис.1).

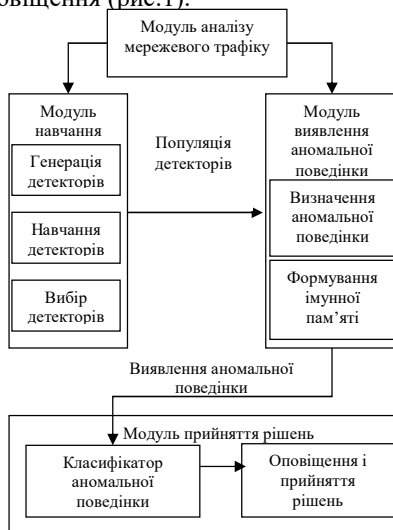


Рис.1. Структура системи виявлення аномальної поведінки (СВАП)

**Висновки.** Запропонована ідея використання неймережевих детекторів в імунному алгоритмі для виявлення нестандартної поведінки мережевого трафіку є ефективною і може бути успішно використана для виявлення нештатних ситуацій і можливих порушень функціонування інформаційної мережі; вибрані параметри мережевої статистики не вимагають для свого формування значних обчислювальних витрат і дозволяють результативно виявляти аномалії трафіку обчислювальної мережі.

*Ця робота фінансується проектом HATO SPS Project CyRADARS (Cyber Rapid Analysis for Defense Awareness of Real-time Situation - CyRADARS) - номер грантової угоди: G5286.*

**Список використаних джерел:** 1. V.V. Lytvynov, N. Stoianov, I.S. Skiter, O.V. Trunova, and A. G. Grebennyk, "Analysis of systems and methods for detecting unauthorized intrusions in computer networks," *Mathematical Machines and Systems*, vol. 2, pp. 45–56, 2017. 2. L.E. Jim and M.A. Gregory, "A review of Artificial Immune System Based Security Frameworks for MANET," *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, vol. 9, pp.1-18, 2016 [Published Online January 2016 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/ijcns> <http://dx.doi.org/10.4236/ijcns.2016.91001>]. 3. D. Dasgupta, S.Yu and F. Nino, "Recent Advances in Artificial Immune Systems: Models and Applications," *J. Applied Soft Computing*, vol. 11, issue 2, March 2011, pp. 1574-1587. 4. T. Kohonen, *Self-Organizing Maps* (trans. of the third English edition) M.:Laboratoria Znaniiv, 2017, 660 p. 5. D. Dasgupta and F. Nino, *Immunological Computation: Theory and Applications*, Auerbach Publications Reference, 2008, 296 p. 6. A.G. Mustafaeava, "Neural network system for detecting computer attacks based on network traffic analysis," *Voprosy bezopasnosti* // vol. 2, pp. 1–7, 2016

УДК 004.853

**<sup>1</sup>О.В. Лялецький**

Канд. фіз.-мат. наук, с.н.с., доцент

**<sup>2</sup>А.О. Бабич**

Студент

**<sup>3</sup>Г.Л. Петрович**

Студент

*<sup>1-3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ*

## **МОВНІ ТА ІНТЕРФЕЙСНІ ЗАСОБИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЕДУКЦІЇ ТА ЇХ РОЗВИТОК**

Накопичений досвід в області створення складних програмних комплексів, призначених для числових обчислень, та/або символічних перетворень, та/або дедуктивних міркувань, дає хорошу основу для проектування та інтеграції різних видів обробки комп'ютерних математичних служб як декларативного, так і алгоритмічного характерів. Комплексний підхід до такої інтеграції було закладено ще академіком В.М. Глушковым на рубежі 1960-70-х років у вигляді програми наукових та прикладних досліджень під назвою "Алгоритм Очевидності" (АО) [1], яка реалізовувалася зі змінним успіхом на різних етапах свого розвитку, починаючи з 1970-х років і закінчуючи сьогоднішнім днем [2].

Сучасний стан робіт по АО добре відповідає наявним зараз інтеграційним тенденціям, що дозволяє ставити питання про одночасне проведення робіт у напрямку розробки формалізованих мов для запису математичних текстів у найсприятливішій для користувача формі, в напрямку еволюційного розвитку поняття машинного кроку доведення, у напрямку створення інформаційного середовища АО, яке впливає на очевидність машинного кроку доведення, та в напрямку побудови засобів інтерактивної обробки математичних текстів.

Нині існує програмна реалізація програми АО у вигляді системи автоматизації дедукції SAD (System for Automated Deduction), онлайн доступ до якої можна здійснити через сайт "nevidal.org". З метою удосконалення її можливостей у поточний час проводиться цикл робіт з подальшого розвитку її мовних та інтерфейсних засобів.

Нагадаємо, що на вхід системи SAD надходить текст, написаний англійською формальною мовою ForTheL (FORmal THEory Language) [3].

З синтаксичної точки зору будь-який ForTheL-текст являє собою набір розділів. Усякий розділ може містити у собі фрази та розділи більш низького рівня. Певні розділи, наприклад, теореми, доведення, леми, визначення грають ту особливу роль в ForTheL-текстах, яка присутня і у звичайних математичних публікаціях. Тому відносно мовних засобів системи SAD здається доречним розробити для неї український та російський варіанти мови ForTheL, влаштовані таким же чином, що і сама мова ForTheL. Це робиться зараз і веде до побудови багатомовної системи SAD.

Пошук логічних висновків в системі SAD базується на секвенційних численнях [4], що дозволяє виконувати пошук доведень у сигнатурі початкової теорії. Така орієнтація на секвенційний формалізм пояснюється тим, що секвенційні виведення мають більш природний вигляд, ніж виведення, отримані, наприклад, резолюційною технікою. Ця властивість секвенційного формалізму стає важливою, коли передбачається взаємодія людини з комп'ютером в процесі пошуку доведення твердження, що розглядається. Окрім цього, вона дає можливість відокремити обробку рівностей від процесу дедукції та здійснювати опрацювання рівностей спеціальними методами та існуючими комп'ютерними математичними службами з використанням баз математичних знань. Тому виникає потреба у розвитку інтерфейсних засобів взаємодії системи SAD як зі сховищами інформації та комп'ютерними службами різного виду, наприклад, з системами комп'ютерної алгебри, так і з людиною, з метою надання нею допомоги системі SAD (в разі такої необхідності) у вирішенні задачі, що розглядається. Це є другим напрямком робіт з поточного розвитку системи SAD.

**Висновок.** Система SAD з розширеними можливостями може бути корисною в таких важливих прикладних областях інформатики та математики, як дистанційне навчання математичним дисциплінам різними мовами, пошук та верифікація різномовних доведень у математичних теоріях, пошук логічних висновків з урахуванням досвіду людини та можливостей комп'ютерних служб, здобування знань з математичних текстів і т. д.

#### Список використаних джерел

1. Глушков В.М. Некоторые проблемы теории автоматов и искусственного интеллекта. Кибернетика. 1970. № 2. С.3-13.
2. Летичевский А.А., Лялецкий А.В., Лялецкий А.А. Алгоритм Очевидности: прошлое, настоящее, будущее. Тези доповідей Міжнародної конференції "Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку", Київ, Україна, 2017. Е-видання. 3 стор.
3. Vershinine K., Paskevich A. ForTheL — the language of formal theories. International Journal of Information Theories and Applications, 2000. Vol. 7, No. 3. P. 120-126.
4. Lyaletski A. Evidence Algorithm and inference search in first-order logics. Journal of Automated Reasoning (Special Issue: 40 Years of Mizar and Beyond), 2015. Vol. 55, Issue 3. P. 269-284.

УДК 004.9:519.816

<sup>1</sup>Максимов А.Є.

студент

<sup>2</sup>Триус Ю.В.

доктор педагогічних наук, кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу

<sup>1,2</sup>*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

## ПРОЕКТУВАННЯ І СТВОРЕННЯ МОДУЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ WEB-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ІТ-КОМПАНІЇ

**Вступ.** Прийняття рішень являє собою особливий вид людської діяльності, спрямований на вибір найкращого варіанта дії серед багатьох інших варіантів. Для того, щоб особа, яка приймає рішення (ОПР), мала можливість використовувати моделі та методи для розв'язання неструктурованих та слабоструктурованих проблем, що забезпечують досягнення поставленої мети з урахуванням відповідних критеріїв, створюються інтелектуальні комп'ютерні інформаційні системи, що мають назву «системи підтримки прийняття рішень» (СППР, англ. Decision Support System, DSS). Ці системи є інструментом, який надає особі, яка приймає рішення, вихідні дані, на основі яких вона може приймати обґрунтовані та ефективні управлінські рішення. В сучасних умовах для прийняття оперативних управлінських рішень використовуються СППР, що інтегруються з web-орієнтованими інформаційними системами, доступними користувачу у будь який час і будь якому місті, де є доступ до мережі Інтернет або мобільний зв'язок. Тому створення таких СППР є актуальною науково-технічною проблемою.

**Мета роботи.** Метою дослідження є проектування і створення підсистеми підтримки прийняття рішень для web-орієнтованої інформаційної системи ІТ-компанії, яка б надавала можливість керівникам компанії в онлайн режимі приймати рішення щодо вибору вигідних замовників на розробку або впровадження інформаційних систем, обрання надійних партнерів на розробку програмних продуктів, а також обрання засобів, технологій чи платформ для розробки програмного забезпечення (ПЗ), на основі аналізу існуючих аналогів ПЗ для вирішення конкретних задач бізнесу з використанням методів прийняття рішень.

**Основна частина.** Як правило, до складу системи підтримки прийняття рішень входять три головні компоненти: база даних, база моделей та програмна підсистема, яка складається з системи управління базою даних (СУБД), системи управління базою моделей (СУБМ) і системи управління інтерфейсом між користувачем і комп'ютером. В авторському проєкті створення модуля підтримки прийняття рішень обрано такі засоби: мова програмування PHP, база даних MySQL, CMS WordPress, яка забезпечує постійний доступ до нього користувачів сервісу. Введення даних відбувається за допомогою таблиць,

стилі до яких взято з бібліотеки Bootstrap 4. Для створення засобів виведення результатів обрано мову програмування JavaScript та бібліотеку amCharts.

У модулі ППР, що розробляється, використовуються різні методи теорії прийняття рішень, серед яких: метод аналізу ієрархій [1], метод аналізу співвідношень [2], методи прийняття рішень в умовах невизначеності (за критеріями Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа) [3], метод розв'язування нечіткої задачі оптимізації портфеля, метод нечітких с-середніх [4], метод Беллмана-Заде розв'язування багатокритеріальної задачі досягнення нечіткої визначеної мети та багатокритеріального аналізу інноваційних проєктів [5].

За допомогою вищеприказаних технологій на сайті ІТ-компанії створюється модуль для забезпечення прийняття рішень щодо послуг, які надає ІТ-компанія, зокрема: вибір медичної інформаційної системи для впровадження у закладах охорони здоров'я, вибір комп'ютерного, серверного і мережевого обладнання для комплексної інформатизації підприємства за відповідними критеріями або критеріями, що визначаються замовником. Враховуючи те, що більшість методів прийняття рішень, що реалізуються в модулі ППР, використовують експертне оцінювання, в програмному додатку передбачена підсистема, що забезпечує роботу експертів. За бажанням, користувач має можливість створювати завдання на прийняття рішень, заповнити його згідно вимог та отримати результат за допомогою методів прийняття рішень. Отримані розв'язки користувач може зберегти в особистому кабінеті для подальшого аналізу. Доступ до особистого кабінету здійснюється за допомогою реєстрації та авторизації користувача, при цьому забезпечується захист даних від несанкціонованого доступу інших користувачів.

**Висновки.** У дослідженні обґрунтовано актуальність створення модуля підтримки прийняття рішень у складі web-орієнтованої інформаційної системи ІТ-компанії, що займається впровадженням та розробкою програмних продуктів у галузі документообігу, сфері охорони здоров'я та освіти, комплексною інформатизацією підприємств-замовників. Також наведено опис структури модуля ППР і технологій для його розробки, методів прийняття рішень, що реалізуються цим модулем у залежності від задач, що потребують вирішення.

#### Список використаних джерел

1. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
2. Бідюк П.І., Коршевнок Л.О. Проектування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень. Навчальний посібник. – Київ: ННК «ІПСА» НТУУ «КРІ», 2010. – 340 с.
3. Волошин О.Ф., Машенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2009. – 340с.
4. Зайченко Ю.П. Нечёткие модели и методы в интеллектуальных системах. – К.: «Издательский Дом «Слово», 2008. – 344 с.
5. Zadeh L., Bellman R.. Decision-making in a fuzzy environment // Management Science. – 1970. – Vol. 17, pp. 141-164.

УДК 004.942

<sup>1</sup> **І.О. Малець**

к.т.н., доцент, доцент кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій

<sup>2</sup> **О.В. Придатко**

к.т.н., заступник начальника кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій

<sup>3</sup> **Ю.О. Борзов**

к.т.н., доцент кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій

<sup>4</sup> **О.О. Смотр**

к.т.н., доцент кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій

<sup>1,2,3,4</sup> *Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів*

## МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ТА ПРИЙНЯТТЯ КОЛЕКТИВНИХ РІШЕНЬ

**Вступ.** Проблеми прийняття та підтримки колективних рішень завжди були актуальними у суспільстві, адже процеси прийняття рішень є невід'ємними у повсякденній життєдіяльності людини незалежно від сфери інтересів та кола діяльності. А у тих випадках, коли прийняття рішень здійснює колектив, то процес ускладняється різницею думок та досвіду окремих експертів. Насамперед слід виділити проблеми чіткого обговорення та вірного прийняття рішення у колективі. Ці проблеми стали особливо актуальними останнім часом у великих компаніях, адже прийняття доцільного та справедливого для всіх рішення є запорукою сталого розвитку компанії в умовах жорстокої конкуренції.

**Основна частина.** Провівши дослідження систем підтримки прийняття колективних рішень ініційовано розробку власної системи. Для реалізації задуму створено модель системи, розроблено комплекс алгоритмів та сховище даних, забезпечено способи авторизації, розроблено підсистему голосування та вибору варіантів голосування.

Для досягнення основної мети вирішено наступні завдання:

1. За результатами аналізу існуючих методів підтримки та прийняття колективних рішень обґрунтовано вибір оптимальних методів та їх алгоритмічну реалізацію.

2. Розроблено структуру системи, роботу якої засновано на обраних методах та засобах.

3. розроблено алгоритмічні рішення для окремих елементів системи.

4. Розроблено структуру даних для системи.

5. На основі обраних методів прийняття колективних рішень, а також на основі розроблених алгоритмів і структур, здійснено розробку системи підтримки та прийняття колективних рішень.

В процесі реалізації системи розглянуто основні проблеми, що виникають під час прийняття та узгодження колективних рішень. За результатами аналізу методів та моделей узгодження колективних рішень було здійснено вибір оптимального алгоритму волевиявлення – метод Шульце. Проте, задля адаптації обраного методу під конкретні задачі системи, здійснено його модифікацію для кращого алгоритмічного представлення, що дозволило підвищити точність отриманих даних голосування.

Завершальним етапом проведених досліджень є розробка структурної схеми, де описано клієнтську та серверну частину системи. З метою спрощення реалізації архітектури подано діаграму класів для компонентів системи, що спростило їх реалізацію, а також спроектована та реалізована структура бази даних, що дозволило реалізувати процес зберігання та зміни даних у системі. Розробка системи дозволила здійснити тестування та перевірку створених алгоритмічних рішень.

**Висновки.** Основним результатом проведеної роботи є дослідження методів підтримки та прийняття колективних рішень. На основі результатів досліджень спроектовано комп'ютерну систему підтримки та прийняття колективних рішень у вигляді веб – додатку.

#### Список використаних джерел

1. Братушка С.М. Системи підтримки прийняття рішень: навчальний посібник / С.М.Братушка, С.М.Новак, С.О.Хайлук; Державний вищий навчальний заклад «Українська академія банківської справи Національного банку України».-Суми:ДВНЗ «УАБС НБУ», 2010. - 265 с.
2. Льюс Р.Д. Игры и решения.Введение и критический обзор / Р.Д.Льюс, Х.Райфа – М: Издательство иностранной литературы, 1961р.- 630с.
3. Кичмаренко О.Д. Теория принятия решений / О.Д.Кичмаренко, А.П.Огуленко. – Одесса: ОНУ имени И.И.Мечникова, 2012. – 52с.
4. Филинов Н.Б. Математическое моделирование в анализе и разработке управленческих решений/Н.Б.Филинов, В.В.Борисов. – М:ГУУ,2001. – 63с.
5. Бусел В. Т. Кур'єр / В. Т. Бусел // Великий тлумачний словник української мови / В. Т. Бусел. – Ірпінь: ВТФ "Перун", 2005. – С. 598.
6. Управление в условиях неопределенности / Пер. с англ. – М: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 213с. - ISBN 5-9614-0382-3.
7. Маркин Б.Г. Проблема группового выбора .- М:Наука, 1974. – 256с.
8. Дж.Чедвик ASP.NET MVC 4: разработка реальных веб-приложений с помощью ASP.NET MVC / Дж.Чедвик, Т.Снайдер, Хр. Панда. – Москва-Санкт-Петербург – Киев: Издательский дом «Вильнос». – 2013.-432с.
9. Климов. А. С# Советы программистам. – Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург». – 2008 – 544с.
10. Arrow K.J. Social Choice and Individual Values. – New York:Wiley,1951. - 124p.
11. Gibbard A. Manipulation of voting schemes.A general result.Econometrica – 1973 – V.41,587p.



УДК: 519.8

<sup>1</sup>**М.М. Маляр**

д.т.н., доц., професор кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>2</sup>**А.В. Поліщук**

магістр математики

<sup>1,2</sup>*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород*

## МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ ЗНАТЬ

**Вступ.** Експертне оцінювання різноманітних об'єктів і систем бере початок з глибокої давнини і розвивається паралельно з формуванням людського суспільства. На різних етапах суспільного розвитку прикладами форм реалізації експертного оцінювання є ради старійшин, військові наради, сенати та колегії, експертні комісії тощо. На сучасному етапі методи експертного оцінювання застосовують у різних галузях практичної та наукової діяльності. Широкого застосування ці методи набули під час вирішення складних управлінських та соціально-економічних проблем, аналізу й прогнозування ситуацій з великою кількістю соціальних факторів, коли виникає необхідність застосування знання, інтуїції та досвіду висококваліфікованих фахівців-експертів.

В період нестабільного розвитку соціальних, економічних та інших процесів, характерним є високий ступінь невизначеності впливу факторів зовнішнього середовища, а тому прийнятна точність результатів не може бути забезпечена ніякими статистичними чи іншими формалізованими методами, якими б досконалими вони не були. Тому, використання експертних методів набуває особливого значення і прямо чи опосередковано впливає на прийняття рішень, наприклад, органами державного управління та місцевого самоврядування.

Постає актуальна задача вибору експертної групи для дослідження або розв'язання нових проблем. Від рівня експертних знань залежить правильність прийняття рішень для деякого досліджуваного об'єкту.

Пропонується модель застосування теорії нечітких множин на етапі формування експертної комісії, а в окремих випадках і складу групи, на яку покладається організація та проведення експертизи.

Під час формування експертної комісії(групи) організатори експертизи, як правило, беруть до уваги рівень компетентності претендентів. У деяких випадках є можливість самостійно з'ясувати компетентність обраних експертів, протестувавши їх на задалегідь відомих організаторам, але невідомих експертам об'єктах.

Модель розрахунку компетентності експерта за допомогою функції належності для відомих значень характеристики досліджуваного об'єкта експертизи виглядає наступним чином[1].

Нехай відомі значення характеристик для досліджуваного об'єкта. Припустимо, що таких характеристик є число  $n$  і задана експертом оцінка  $i$ -й

характеристиці  $O_i (i = \overline{1, n})$ . Введемо у розгляд  $n$ -вимірний вектор  $T = (t_1, \dots, t_n)$  з простору  $R_{++}^n$ , компонентами якого будуть відомі значення (оцінки) характеристик досліджуваного об'єкта.

Визначимо, використовуючи кусково-лінійну модель, множину величин :

$$z_i = 1 - |t_i - O_i| / t_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

Кожна така величина є відносною оцінкою близькості оцінки експерта до відповідного елемента відомого значення характеристики. Наступним кроком є побудова функції належності, як функції згортки даних числових оцінок. Нами запропоновано модель функції належності у вигляді наступної групи згорток:

$$\mu_A^1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}; \quad \mu_A^2 = \prod_{i=1}^n (z_i)^{\alpha_i}; \quad \mu_A^3 = \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i; \quad \mu_A^4 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i (z_i)^2}, \quad (1)$$

де  $\alpha_i (i = \overline{1, n})$  - нормовані вагові коефіцієнти для кожної характеристики, а згортки (1) характеризують відповідно як песимістичну, обережну, середню, оптимістичну оцінку.

Введемо лінгвістичну змінну  $M(m)$  = «рівень оцінки експертних знань», де  $m = \mu_A$ . Універсальною множиною для змінної  $M(m)$  є відрізок  $[0; 1]$ , а множиною значень змінної  $m$  – терм-множина  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_5\}$ , де:

- $m_1$  = «рівень знань експерта для дослідження проблеми дуже низький»;
- $m_2$  = «рівень знань експерта для дослідження проблеми низький»;
- $m_3$  = «рівень знань експерта для дослідження проблеми середній»;
- $m_4$  = «рівень знань експерта для дослідження проблеми вище середнього»;
- $m_5$  = «рівень знань експерта для дослідження проблеми високий».

Для встановлення лінгвістичної оцінки дослідження отримане значення зіставимо до одної з терм-множин:  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_5\}$ . Шкалу оцінок визначимо наступним чином:  $m \in (0,67; 1] - m_5$ ;  $m \in (0,47; 0,67] - m_4$ ;  $m \in (0,36; 0,47] - m_3$ ;  $m \in (0,21; 0,36] - m_2$ ;  $m \in [0; 0,21] - m_1$ .

Таки чином, задачу підбору експертів можна описати за допомогою розмитої моделі:  $A_T = \{x \in X, \mu_A(x)\}$ , де  $X$  множина експертів.

**Висновки.** Дана модель є інструментом ранжування та вибору експертів за рівнем знань. Запропоновану математичну модель можна використати в інформаційну систему чи технологію, сформувавши конкретні інформаційні показники оцінювання, у залежності від конкретної прикладної задачі. Модель може використовуватись у різних задачах формування експертної групи, підвищуючи рівень майбутніх досліджень.

#### Список використаних джерел

1. Маляр М.М. Інформаційна технологія обмежено-раціонального вибору в соціо-економічних системах: дис. докт. техн. наук: 05.13.06/Маляр Микола Миколайович – Київ, 2018. – 412 с.

УДК 004.82

**М.С. Пасічник**

аспірант

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

**МОДЕЛЬ ОНТОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ СУДОВИХ РІШЕНЬ**

**Вступ.** Ухвалення судових рішень здійснюється, відповідно до ст. 65 Кримінального кодексу України (КК України) [1], суд призначає покарання, враховуючи ступінь тяжкості вчиненого злочину, особу винного та обставини, що пом'якшують та обтяжують покарання. Вибір виду покарання у разі, коли закон передбачає альтернативні санкції залишається за суддею. Отже, слабо формалізованою частиною вироку залишається важення обставин здійснення злочину й характеристики особи винного. Для зниження рівня суб'єктивності в процес прийняття рішень вводяться системи підтримки прийняття рішень (СППР). Перспективним методом розробки СППР є онтологічний підхід.

**Результат.** Онтологія судового рішення – це структура, яка відображає зв'язок між класами вихідних даних (учасників процесу і обставин), необхідних для прийняття рішення, і мірою покарання. Основи фундаментальної онтології правового об'єкту закладено в роботі [2], але судовий процес розглядається тільки на рівні одного з концептів в системі «правовий суб'єкт-судовий процес-суд».

Дана робота присвячена побудові онтології прийняття судового рішення. У вигляді онтографа в графічному модулі GraphViz редактора Protégé 5.5.3 [3] вона представлена на рис.1.

**Рис.1. Онтологія прийняття судового рішення**

При призначенні покарання визначають обставини, які пом'якшують, зазначені в ст. 66 КК України, та обтяжують покарання, зазначені в ст. 67 КК України. Таких обставин визначено по одинадцять і чотирнадцять.

Застосуємо багатокритеріальну оцінку якості онтології, що складається з оцінок фрагментів онтології і топологічних характеристик онтографа. Обчислимо оцінки для трьох ситуацій  $Var_1$ ,  $Var_2$ ,  $Var_3$ . Вихідні дані першої ситуації  $Var_1$  представлені в табл.1, яка є матрицею суміжності нечіткого графа фрагмента онтології. У стовпцях таблиці показані значення, відповідні лояльному рішенням (L) – версія адвоката, нейтральному (N) – рішення судді і суворому (H) – версія прокурора, в допустимих межах, передбачених нормою закону. У рядках - розташовані фактори, що формують судове рішення: В - обтяжуючі обставини, М - пом'якшуючі обставини, Р+ - позитивні якості

підсудного, P. - негативні якості підсудного. Друга ситуація  $Var_2$  відповідає автоматизованому процесу прийняття судового рішення (табл.2). Ситуацію  $Var_3$  (табл.3) - це ідеалізований варіант, при якому м'які рішення враховують всі позитивні і пом'якшувальні фактори, а жорсткі - всі негативні і обтяжуючі фактори.

Таблиця 1

$Var_1$	L	N	H
P+	0,8	1	0,1
P-	0,2	1	0,9
B	0,1	1	0,9
M	0,7	1	0,1

Таблиця 2

$Var_2$	N
P+	1
P-	1
B	1
M	1

Таблиця 3

$Var_3$	L	N	H
P+	1	1	0
P-	0	1	1
B	0	1	1
M	1	1	0

Розрахунок оцінок функціональності і ін'єктивності виконується за формулами з [4]. Для автоматичної побудови онтології важлива пропускна здатність і топологічна ентропія з роботи [5].

Результати розрахунків оцінок векторної цільової функції для онтографа, представлено на рис.1, і трьох ситуацій прийняття рішення наведені в табл.4.

Таблиця 4

Показник	$Var_1$	$Var_2$	$Var_3$
Функціональність	0,64	0	0,67
Ін'єктивність	0,51	0	0,56
Пропускна здатність	0,25	0,25	0,25
Топологічна ентропія	2,824	2,824	2,824

При порівнянні отриманих результатів, отримуємо ранжування  $Var_3 \approx Var_1 > Var_2$ . Таким чином, ситуація  $Var_1$  наближається до ідеалізованої ситуації  $Var_3$ .

**Висновки.** Результати моделювання показали, що введення повної формалізації винесення вироку впливає на оцінку функціональності онтології.

#### Список використаних джерел

1. Кримінальний кодекс України <http://zakon2.rada.gov.ua>
2. Валькман Ю.П., Хала Е.А. Проектирование онтологии для правовой предметной области на основе текстового контента с использованием нечеткой логики // Онтология проектирования. – 2014. - № 2(12). – С.19-39.
3. Protégé [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://protege.stanford.edu/products.php#desktop-protege>.
4. Онтологический и нечеткий анализ слабоструктурированных информационных ресурсов / Афанасьева Т. В., Мошкин В. С., Наместников А. М., Тимина И. А., Ярушкіна Н. Г.; под науч. ред. Н. Г. Ярушкіной. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 130 с.
5. Tevet J. Structure of the Graphs and Graphs of the Structure / J. Tevet. – S. E. R. R.: Tallinn, 2003. – 76 p.

УДК 004.8

<sup>1</sup> Д. Пелешко

доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи

<sup>2</sup> О. Винокурова

доктор технічних наук, професор, професор

<sup>3</sup> О. Максимів

асистент

<sup>4</sup> С. Оскерко

студент

<sup>1,2,4</sup> IT STEP University, м. Львів<sup>3</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів

## ТЕХНОЛОГІЯ ДЕТЕКТУВАННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ПОЛУМ'Я У ВІДЕОПОТОЦІ НА БАЗІ ГЕНЕРАТОРА ГІПОТЕЗ ТА ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

**Вступ.** Пожежа є однією з найнебезпечніших видів надзвичайних ситуацій, оскільки в часовому проміжку, процес її локалізації та ліквідації зазвичай ускладнюється, вимагаючи дедалі більше часових та людських ресурсів. Це в свою чергу обумовлює необхідність вияву ознак пожежі на ранніх етапах та сповіщення про них відповідних органів та підрозділів, з метою прийняття ефективних рішень щодо мінімізації можливих втрат. З цією метою пропонується використання камер відеоспостереження, які в порівнянні з традиційними автоматичними камерними сповіщувачами, мають ряд переваг: можливість виявлення полум'я на відкритій місцевості; можливість контролю приміщень великих об'ємів мінімальною кількістю відеокamer, оскільки їх розміщення, на відміну від деяких типів традиційних сповіщувачів, не повинно знаходитися поблизу джерела займання; можливість перевірки правильності та ідентифікації безпосереднього місця загоряння; мінімально короткий час реагування на прояви пожежі; полегшення виявлення місця та причини виникнення пожежі.

Підхід, що пропонується передбачає використання методів комп'ютерного зору з метою розроблення базового генератора гіпотез та методів глибокого машинного навчання для розробки конволюційної глибокої нейронної мережі. Зазначений генератор дозволяє виділити ділянки зображення або відеопотоку, які за своїми візуальними ознаками можуть бути віднесені до категорії «полум'я». На протипагу існуючим роботам, ми стараємося досягнути якомога вищого показника повноти правильних спрацювань а не точності, забезпечуючи при цьому максимальну швидкодію. Отримані регіони інтересу передаються для подальшого аналізу конволюційною нейронною мережею, що і забезпечуватиме необхідну точність верифікації.



### Рис. 1. Технологія розпізнавання

Переважає більшість методів які використовуються для детектування полум'я передбачають використання колірних ознак, інформації про руху або одночасно двох вказаних характеристик. Стосовно використання кольору як способу виділення ключових ознак полум'я, то для цього широко використовуються такі колірні моделі як RGB [1], HSV [2], YCbCr [2], YUV [3] або їх комбінація [4]. В свою чергу, з метою виявлення рухомих об'єктів у відеопотоці використовують різноманітні методи, які б дозволили виявити можливі зміни на основі просторових або часових ознак. Умовно, серед існуючих методів можна виділити три найбільш використовуваних та ефективних підходи: вилучення заднього фону [5], різниця кадрів [5] та оптичний потік [6].

**Розроблення базового генератора гіпотез щодо наявності полум'я у відеопотоці.** Враховуючи основні ознаки полум'я як об'єкта дослідження був розроблений базовий генератор гіпотез, який надає можливість згенерувати так звані регіони інтересу. Генератор включає в себе наступні операції: попереднє оброблення, колірна сегментація та детектування рухомих об'єктів. В порівнянні з уже існуючими алгоритмами виявлення полум'я, в розробленому генераторі вдосконалений метод колірної сегментації та на заміну класичним методом виявлення рухомих об'єктів, пропонується використання трьох-кадрової різниці.

*Колірна сегментація.* Один із базових способів який дозволяє ефективно здійснити візуальне відокремлення полум'я від інших об'єктів є його колір. Сегментація зображення на основі кольору передбачає використання певних граничних меж колірної моделі/набору моделей. Для вирішення даної проблеми було вирішено самостійно проаналізувати ефективність повноти сегментації за допомогою 4 колірних моделей: RGB, HSV, CIE  $L^*a^*b$ , та YCbCr. Для виділення границь в яких може знаходитися полум'я було використано метод кластеризації  $k$ -середніх. Як недолік даного підходу необхідно відзначити необхідність самостійного підбору кількості кластерів для досягнення максимально ефективного результату. Узагальнюючи експериментальні результати, можемо стверджувати, що колірні моделі HSV, YCbCr та  $L^*a^*b$  показали хороші результати під час сегментації зображення. Проте, було вирішено використовувати модель  $L^*a^*b$ , оскільки вона дозволяє забезпечити не тільки ефективне відсіювання пікселів які не схожі на вогонь, а й таких, які в інших моделях можуть відноситися до категорії «полум'я».

*Виділення лише рухомих об'єктів.* Оскільки вогонь характеризується постійною зміною форми та границь в часовому проміжку то за умови наявності відеоряду існує змога мінімізації кількості хибно сегментованих ділянок шляхом виокремлення лише рухомих об'єктів або додаткового порівняння поведінки полум'я в часі з детектованими об'єктами. Незважаючи на ряд існуючих методів виявлення руху на відео, за важливе вбачається врахування особливостей поведінки вогню, що дозволить зменшити кількість хибних викликів. Запропонований підхід до виявлення рухомих об'єктів у відеопотоці ґрунтується на використанні методу різниці кадрів. Даний метод передбачає

виявлення змін між двома послідовними кадрами відеопотоку шляхом елементарного попиксельного віднімання поточного кадру від наступного кадру. Математично даний процес можна описати наступним чином:

$$D(x, y, t + 1) = \begin{cases} 1, & \text{if } |f(x, y, t) - f(x, y, t + 1)| > Th, \\ 0, & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (1)$$

де  $f(x, y, t)$  - кадр відеопотоку у часі  $t$ ;  $f(x, y, t + 1)$  – наступний кадр у часі  $t + 1$ ;  $Th$  - граничне значення для прийняття рішення.

Однак, для аналізу руху полум'я у просторі, експериментально було виявлено, що інформації, отримуваної шляхом порівняння лише двох кадрів (поточного та наступного) не є достатньо для здійснення точної верифікації щодо наявності або відсутності вогню у відеопотоці. З метою вирішення даної проблеми було запропоновано використання трьох-кадрової різниці, що дозволило врахувати додаткові особливості руху об'єкта, тим самим надаючи змогу надавати більш точнішу оцінку щодо його приналежності до певного класу.

В базовій реалізації методу різниці кадрів розраховується різниця між попереднім та поточним кадром:

$$D_k(x, y) = |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)|, \quad i = 1, 2, 3, K, \quad (2)$$

В свою чергу, бінаризація зображення відбувається на основі наступної формули:

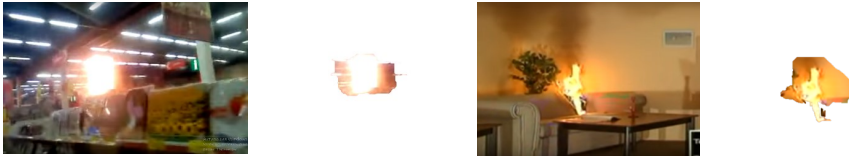
$$R_k(x, y) = \begin{cases} 0, & D_k(x, y) \leq T, \\ 1, & D_k(x, y) > T. \end{cases} \quad (3)$$

Метод трьох-кадрової різниці, відповідно до його назви, аналізує не тільки поточний та попередній кадр, а й наступний ( $t + 1$ ):

$$D_1(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| > T, \\ 0, & \text{if } |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| < T, \end{cases} \quad D_2(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } |f_{k+1}(x, y) - f_k(x, y)| > T, \\ 0, & \text{if } |f_{k+1}(x, y) - f_k(x, y)| < T, \end{cases} \quad (4)$$

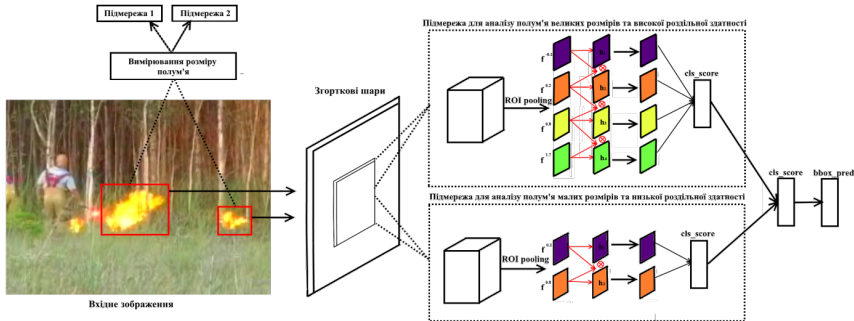
Під час розроблення методу генерації ділянок зображення які візуально можуть нагадувати полум'я було запропоновано використовувати бінаризацію та розкриття для усунення дуже малих ділянок (візуально не можуть надати будь-якої інформації) та можливих артефактів зображення (передусім зашумлення на відеокамерах з низькою роздільною здатністю).

**Експериментальні результати.** Для отримання експериментальних результатів було використано власно розроблений відеодатасет, який складається з 10 відеопослідовностей, де спостерігається полум'я або об'єкти, які візуально можуть нагадувати полум'я. Загальна тривалість відео – 16хв. 46 с. Показник точності – 64,3 %, повноти – 99,9 %. Приклад роботи генератора гіпотез відображений на рис. 3. Зліва наведене кадр отриманий з відеопослідовності, справа – результат його оброблення розробленим генератором.



**Рис. 2.** Результат роботи генератора гіпотез на відеопослідовності в режимі реального часу

На рис. 3 наведено архітектуру запропонованої глибокої конволюційної нейронної мережі для розпізнавання полум'я в відеостримі.



**Рис. 3.** Архітектура глибокої конволюційної нейронної мережі

**Висновки.** Запропоновано використання генератора гіпотез для виділення ділянок зображення, які за своїми візуальним виглядом або часовими характеристиками можуть нагадувати полум'я. Першочерговою задачею ми ставили отримання максимально можливого показника повноти. Відповідно, хоча і спостерігаються об'єкти, які помилково відносяться до категорії «полум'я», нам вдалося в значній мірі мінімізувати розмір ділянок, які необхідні буде в подальшому верифікувати класифікатору з повнотою в 99,9 %.

#### Список використаних джерел

1. Patel P., Tiwari S. Flame Detection using Image Processing Techniques. Int. J. Comput. Applic., 2012, vol. 58, no. 18, P. 13-16.
2. Norsyahirah Izzati binti Zaidi, Nor Anis Aneza binti Lokman, Mohd Razali bin Daud, Hendriyawan Achmad, Khor Ai Chia, Fire recognition using RGB and YCBCR color space. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2015, vol. 10, no. 21, P. 9786-9790.
3. Rossi L., Akhloufi M., Tison Y. On the use of stereovision to develop a novel instrumentation system to extract geometric fire fronts characteristics // Fire Safety Journal, 2011, vol. 46, no. 1-2, P. 9-20.
4. Guruh F. S., Fajrian N. A., Catur S., Ricardus A. P., Pulung N. A., Multi color feature, background subtraction and time frame selection for fire detection, Proc. of the 2013 Int. Conf. on Robotics, Biomimetics, Intelligent Computational Systems, Jogjakarta, Indonesia, 2013, P. 115-120.
5. Celik T. Fast and efficient method for fire detection using image processing. ETRI journal, 2010, vol. 32, no. 6, P. 881-890.
6. Rinsurongkawong S., Ekpanyapong M., Dailey M. N. Fire detection for early fire alarm based on optical flow video processing, Proc. of the 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Phetchaburi, Thailand, 2012, P. 1-4.



УДК 004.82

Г.М. Ропало

Аспірант

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

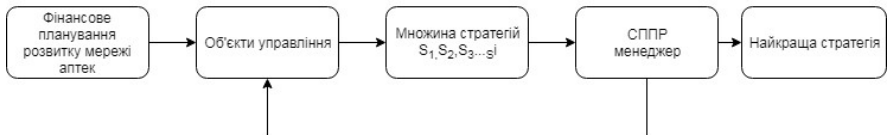
## ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКОМ МЕРЕЖІ АПТЕК

**Вступ.** Система прийняття рішень в умовах обробки великих даних в діяльності аптечних мереж потребує розробки результативних методів аналізу інформації. Ефективним вирішенням цього завдання може стати автоматичне створення онтологій. Онтологічний підхід дозволить зменшити ймовірність накопичення суперечливих даних та здійснювати перевірку повноти даних на стадії їх аналізу.

**Постановка.** Управління розвитком мережі аптек ґрунтується на предметних областях фармації, медицини, комерції. Тому для погодження концептуальних описів цих предметних областей слід застосовувати онтологічний підхід. Прикладом є розробка групи дослідників медичної онтології догляду за хронічно хворими пацієнтами, яка допомагає виявляти неправильні діагнози та супутні захворювання [1]. Застосування онтологічних моделей для формалізації та впорядкування знань у фармацевтичній індустрії досліджені у праці [2]. З розвитком інтернет-аптек актуальним є дослідження публікацій з електронної комерції. Так у статті [3] розглянуто методи автоматичного визначення класів товарів. Але онтологічний підхід до управління розвитком мережі аптек пропонується вперше в даній роботі.

**Результат.** Онтологія управління мережею аптек – це механізм опису предметної області, базових понять цієї області, їх властивостей та відношень між ними. Прикладами бінарних відношень є *part-of: Рекламна кампанія → Маркетингова стратегія*; *connected-to: Якість потоку → Тип району*. При побудові онтології була використана методологія IDEF5, яка представляє стандарт онтологічного дослідження складних систем.

Механізм прийняття рішення в управлінні розвитком мережі аптек можна визначити відношеннями, що показані схематично на рис.1.



**Рис.1.** *Схема прийняття рішення по управлінню розвитком мережі аптек*

Онтологія прийняття рішення в управлінні розвитком мережі аптек - структура, яка описує зв'язок між класами вхідних даних (класом цільових об'єктів управління: купівельна спроможність – CA, інтернет-аптека – E, асортимент – As, трафік – T, якість пішохідного потоку – QR, тип району – DT,

конкурентне середовище – CE, відстань до медичних установ – DM), необхідних для прийняття рішення та класом *Множина стратегій управління*:  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_i$  введенням формалізації бінарного відношення:

*ВИБІР: Менеджер (або СППР) → Найкраща стратегія.*

Субклас завдань представлений множиною цільових об'єктів управління.

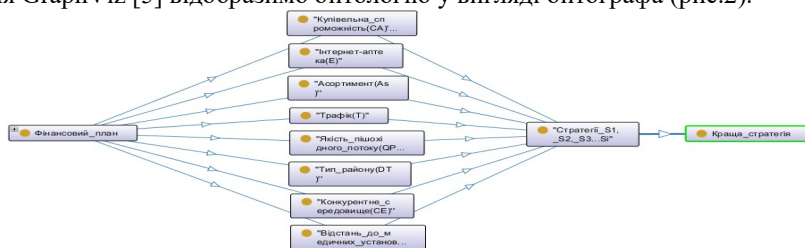
Побудова онтології дозволяє сформулювати загальну модель СППР управління розвитком мережі аптек, що має вигляд:

$$S = f( CA, As, E, T, QP, DT, CE, DM), \quad (1)$$

де  $S$  - найкраща стратегія управління.

Більш докладно СППР для ситуації відкриття нової аптеки розглянута в статті [4].

За допомогою вільно поширюваного редактора Protégé та його графічного модуля GraphViz [5] відобразимо онтологію у вигляді онтографу (рис.2).



**Рис.2. Онтограф прийняття рішення по управлінню розвитком мережі аптек**

**Висновки.** Ключовим питанням підвищення якості управління складними системами у діяльності аптечних мереж є підвищення ефективності прийняття рішень в проблемних ситуаціях. Ухвалення правильних і своєчасних рішень повинно базуватись на наданні своєчасної інформації, що має бути отримана в результаті інструментального аналізу проблемної ситуації. Саме тому застосування онтологічного підходу підтримки прийняття рішень дозволяє дослідити системні зв'язки такої складної структури із застосуванням методів і засобів комп'ютерного моделювання. На підставі отриманої предметної онтології зроблено припущення про можливість повної автоматизації управління розвитком мережі аптек.

#### Список використаних джерел

1. D.Riaño, F.Real, J.A.López-Vallverdú, F.Campana, S.Ercolani, P.Mecocci, R.Annicchiarico, C.Caltagirone. An ontology-based personalization of health-care knowledge to support clinical decisions for chronically ill patients. *Journal of Biomedical Informatics*. 2012, P. 429–446.
2. Л. Ю. Бабінцева. Онтології в фармації. Медична інформатика та інженерія. 2014. № 3. С. 9–12.
3. A. Kutiyanaawala, P. Verma, Z. Yan: Towards a simplified ontology for better e-commerce search. *SIGIR eCom 2018*, July 2018, Michigan, USA.
4. Бакурова А.В., Ропало Г.М. Система підтримки прийняття рішення про розміщення аптек на основі нечіткої логіки. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ. 2017. №19, ч.2, Економічні науки. С. 5–13.
5. Protégé [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [protege.stanford.edu](http://protege.stanford.edu).  
Міжнародний науковий симпозіум «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РІШЕННЯ»  
IX Міжнародна науково-практична конференція «Теорія прийняття рішень»

УДК 621.396.96

<sup>1</sup> **В.Г. Сайко**

д.т.н., професор, професор кафедри прикладних інформаційних систем

<sup>2</sup> **Т.М. Наритник**

к.т.н., професор, професор кафедри телекомунікацій

<sup>1</sup> *Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ*

<sup>2</sup> *Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ*

## **ОСОБЛИВОСТІ АЛГОРИТМА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БЮДЖЕТУ РАДІОЛІНІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ 5G**

**Вступ.** На даний момент у зв'язку з переважаним ліцензійним спектром частот, у телекомунікаційних операторів виникає проблема у використанні широкосмугових сигналів для передачі даних, яка полягає у відсутності вільних ділянок радіочастотного ресурсу. Виходячи з цього, виникає потреба в практичному освоєнні більш високого спектру частот, що не є зайнятим, а саме неліцензійного терагерцового діапазону (ТГД). Однак на поточний момент в світовій практиці не існує універсального методу, що забезпечуватиме надійне прогнозування якісних показників безпроводової телекомунікаційної системи (БТС) типу «точка-точка». Це призводить до великого розкиду результатів розрахунку енергетичного потенціалу таких радіоліній за методами різних фірм, що використовують різні підходи в оцінці впливу факторів розповсюдження радіохвиль на стійкість роботи БТС [1-3]. Велика кількість матеріалів, стосовно методики розрахунку роботи БТС ТГД, розглядається в різних рекомендаціях МСЕ [3], але до єдиного виду вони так і не зведені.

**Основна частина.** Проведений аналіз показав, що в діапазоні частот 30-300 ГГц з відомих типів завмирань найбільш вагомими, які слід враховувати при проектуванні, є наступні: завмирання внаслідок послаблення сигналу гідрометеорами, в пісчаних та пилових бурях; завмирання внаслідок поглинання радіосигналу в газах; завмирання внаслідок впливу діаграм спрямованості антен. Також отримані результати показали, що перехід на використання у БТС терагерцового діапазону дозволяє значно зменшити радіус першої зони Френеля, що в свою чергу дозволяє зменшити висоту антенно-щоголових споруд, на яких розташовані кореспондуючі станції. Відмітимо, що через застосування в таких телекомунікаційних системах антен з високим коефіцієнтом підсилення, інтерференційними завмираннями на вході приймальної антени, що обумовлені ефектом багатопроменевого поширення радіохвиль, можна знехтувати.

У зв'язку з тим, що параметри трас ТГД мають велику різноманітність, а середовище поширення радіохвиль - випадкові параметри, основою розрахунку енергетичного потенціалу таких радіоліній є статистичні характеристики, отримані емпіричним шляхом. Таким чином, розрахункові значення енергетичних характеристик ліній ТГД є наближеною оцінкою очікуваних

характеристик зв'язку. Тому в роботі розрахунок енергетичного бюджету радіолінії ТГД виконано для трьох можливих варіантів в залежності від виду умов:

- ідеальні умови (враховуються лише затухання вільного простору);
- умови наближені до реальних (враховуються затухання в атмосфері та затухання у вільному просторі);
- несприятливі умови (до реальних умов додається затухання в дощі).

Розрахунок проведено для різних центральних частот двох діапазонів від 110 до 170 ГГц та від 220 до 310 ГГц, коли смуга частот сигналу ТГД дорівнює  $\Delta f = 30$  ГГц. При розрахунку дальності зв'язку незмінним залишається відношення енергії біту до спектральної щільності шуму  $E_b/N_0$  (або пов'язаний з ним параметр відношення потужності сигналу до потужності шуму) у приймальній антенні, при якому на виході демодулятора приймача забезпечуватиметься необхідна ймовірність виникнення помилки (BER) при обраному типі модуляції та виді прийому.

При побудові моделі розрахунку енергетичного бюджету радіолінії ТГД було використано та враховано наступне:

- Формулу Г. Фрііса, яка визначає потужність, одержувану однією антенною за ідеальних умов від іншої антени, що знаходиться на певній відстані, при відомій потужності, ідеальних умовах. При цьому антени лінії зв'язку співнаправлені одна до одної та узгоджені по поляризації.
- Для розрахунку проходження радіосигналу під час дощу, також враховано відповідно Рекомендації ІТУ-R Р.838 послаблення у дощах різної інтенсивності.
- Згідно з рекомендацією ІТУ-RP.676 при побудові наземних безпроводових ліній зв'язку, що працюють на частотах до 1000 ГГц, враховано втрати потужності у атмосферних газах – водяних парах ( $H_2O$ ) та сухому повітрі.

Розроблена модель розрахунку енергетичного бюджету радіолінії БТС ТГД дозволила визначити максимальну протяжність інтервалу між кореспондуючими станціями при різних видах модуляції сигналу, при яких забезпечується необхідна ймовірність бітової помилки.

**Висновки.** Проведено розрахунок енергетичного бюджету радіолінії терагерцового діапазона для різних видів модуляції імпульсного надширококутового сигналу, який дозволив оцінити протяжність інтервалу між кореспондуючими станціями при різних станах середовища поширення радіохвиль.

#### Список використаних джерел

1. Transceiver for 130-134 GHz band and digital radiorelay system. / M.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, S.Ye. Kuzmin, A.I. Fisun, O.I. Belous, V.N. Radzikhovsky/ Telecommunications and Radio Engineering, Volume 72, Number 17, 2013.-P.1623-1638.
2. Clifford algebra in multipleaccess noise-signal communication systems. / M.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, R.M. Didkovsky. / Telecommunications and Radio Engineering, Volume 72, Number 18, 2013.-P.1651-1663.
3. ECC Report 282. Point-to-Point radio Link in the frequency ranges 92-114.2 GHz and 130-174.8 GHz. Approved 14 September 2018. 51 pages.

УДК 004.82:004.89

<sup>1</sup> Сатир Л.М.

д.е.н., професор, академік АЕНУ, завідувач кафедри підприємництва, торгівлі та біржової діяльності

<sup>2</sup> Новікова В. В.

к.е.н., асистент кафедри інформаційних систем та технологій

<sup>1,2</sup> Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква

## СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПОДАННЯ Й ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Безпосереднє використання алгоритмів нечіткої логіки — річ поки досить рідкісна. Втім, очевидною областю впровадження є експертні системи, у тому числі: нелінійний контроль за процесами (виробництво); системи, що самонавчаються, дослідження ризикових і критичних ситуацій; розпізнавання образів; фінансовий аналіз (ринки цінних паперів).

Системи підтримки прийняття рішень (DSS - Decision Support Systems) це інформаційні системи, максимально пристосовані до вирішення завдань повсякденної управлінської діяльності і є інструментом, що допомагає менеджерам приймати обґрунтовані та ефективні управлінські рішення. СППР (DSS) дозволяють у режимі реального часу автоматично аналізувати великі обсяги інформації. За допомогою СППР можуть вирішуватися неструктуровані і слабоструктуровані багатокритеріальні задачі. СППР — це інтерактивна автоматизована система, яка допомагає тим, хто приймає рішення, використовувати дані та моделі для виявлення та розв'язання задач та прийняття рішень. Такі корпоративні системи працюють з інтерактивними запитами і дозволяють моделювати ситуації та формувати звіти в режимі онлайн. Мета СППР — підвищення ефективності рішень[1].

Кожна з моделей СППР орієнтована на обробку деякого типу невизначеності. Зокрема, моделі та методи, які використовують для оперування неповної і суперечливої інформації використовують апарат наближених множин, ефективні в ситуаціях максимальної невизначеності, коли немає ніякої додаткової інформації про проблему. У міру надходження додаткової інформації, наприклад, у вигляді ймовірностей для правил, може бути застосований інтегрований підхід, що поєднує методи теорії наближених множин і теорії ймовірностей, що підвищує ступінь правдоподібності видаються системою рекомендацій ОПП. При наявності повної інформації про проблемної ситуації рішення можуть бути достовірними і отриманими в результаті рішення задачі оптимізації.

Американський комітет CODASYL пропонує три рівні логічної бази даних: зовнішній, концептуальний, внутрішній. Іноді для зручності проектування вводять допоміжний рівень (проміжний), який називають інфологічним. Він може бути й самостійним або функціонувати як складова зовнішнього рівня. Інтеграція всіх зовнішніх зображень виконується на

інфологічному рівні. Мета інфологічного проектування — створити структуровану інформаційну модель ПЗ, для якої розроблятиметься БД.

Основною складовою інфологічної моделі є атрибути, які потрібно проаналізувати і деяким чином згрупувати для подальшого зберігання в БД. Сутність інфологічного моделювання полягає у виділенні інформаційних об'єктів ПО (файлів), які підлягають зберіганню в БД, а також визначенні характеристик об'єктів і зв'язків між ними. Характеристиками об'єктів є атрибути. Даталогічний (логічний, концептуальний) рівень формується з урахуванням специфіки і особливостей конкретної СУБД. На цьому рівні будується концептуальна модель даних, тобто спеціальним способом структурована модель ПО, яка відповідає особливостям і обмеженням вибраної СУБД. Модель логічного рівня, яка підтримується засобами конкретної СУБД, іноді називають даталогічною. Залежно від типів моделей, які підтримуються засобами СУБД, є ієрархічні, сіткові і реляційні моделі баз даних. Найпоширенішими на сучасному ринку програмних продуктів є реляційні СУБД (DBASE 111, FOXBASE, FOXPRO, CLIPPER і т. ін.).

Внутрішній рівень пов'язаний з фізичним розміщенням даних у пам'яті ЕОМ. На цьому рівні формується фізична модель БД, яка містить структури зберігання даних в пам'яті ЕОМ, включаючи опис форматів записів, їхнє логічне або фізичне упорядкування, розміщення за типами пристроїв, а також характеристики і шляхи доступу до даних[2].

Для багатьох з розглянутих нами алгоритмів розроблені програми, вихідні тексти яких можна знайти в мережі Інтернет. Ряд програм, що реалізують дані алгоритми, входять до складу спеціалізованих, паралельних бібліотек. Як приклад можна назвати бібліотеки ATLAS, Aztec, BlockSolve95, Distributed Parallelization at CWP, DOUG, GALOPPS, JOSTLE, NAMD, P-Sparslib, PIM, ParMETIS PARPACK, PLAPACK ScaLAPACK, SPRNG [3]. Вони містять програмний код, що реалізовує паралельні алгоритми лінійної алгебри, мережних методів, методів Монте-Карло, генетичних алгоритмів, рендеринга зображень, квантової і молекулярної хімії а інші.

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) дозволяють проводити глибоку аналітичну обробку, пошук прихованих структур і закономірностей у масивах даних, стратегічне й оперативне планування, формування нерегламентованих запитів, прийняття рішень і прогнозування їх наслідків. Вивчення й використання «баз даних» без СППР (DSS) є недоцільним.

#### Список використаних джерел

1. Басюк Т. М. Особливості проектування високо рейтингових інтернет-ресурсів / Т. М. Басюк, А. С. Василюк // ВісникНац. ун-ту “Львівськаполітехніка”. – 2014. – No 805. – С. 354–361.
2. Берегова Г.І. Економіко-математичне моделювання: Навч. посіб./ Берегова Г.І., Сидоренко А.Ю. - Львів: УБС НБУ, 2018. – 140с.
3. Специализированные параллельные библиотеки. Режим доступа: [http://www.parallel.ru/tech/tech\\_dev/par\\_libs.html](http://www.parallel.ru/tech/tech_dev/par_libs.html) - Назва з екрану

УДК 004.67:004.8

<sup>1</sup> **А.В. Селіванова**

к.т.н., доцент кафедри ІТКБ

<sup>2</sup> **А.С. Винник**

магістрант

<sup>1,2</sup> *Одеська національна академія харчових технологій, Одеса*

## **РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАНІВ ТА ДИСЦИПЛІН**

**Вступ.** Метою реформи вищої освіти в Україні є створення привабливої та конкурентоспроможної національної системи вищої освіти України, інтегрованої у Європейський простір вищої освіти (ЄПВО) та Європейський дослідницький простір (ЄДП) [1].

Відповідно до стандарту щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти навчальні заклади повинні мати процедури розробки і затвердження своїх навчальних програм. Програми мають бути розроблені відповідно до встановлених цілей і очікуваних навчальних результатів. Кваліфікація, що здобувається внаслідок опанування програми, повинна бути чітко сформульована і роз'яснена, а також відповідати належному рівню в національній кваліфікаційній рамці вищої освіти і, відповідно, в Рамці кваліфікацій Європейського простору вищої освіти. Навчальні заклади повинні забезпечувати таке викладання програм, що заохочує студентів до активної участі у творенні навчального процесу, і таке оцінювання студентів, що відображає цей підхід. Відповідно до рекомендацій щодо забезпечення якості студентоцентричне навчання і викладання відіграє важливу роль у стимулюванні студентської мотивації, саморефлексії та залучення в навчальний процес. Це вимагає ретельної розробки структури і способу подачі навчальних програм та оцінювання результатів. Втілення студентоцентричного навчання і викладання передбачає застосування різних способів подачі матеріалу, гнучке використання різноманітних педагогічних методів, регулярне оцінювання і коригування способів подачі матеріалу та педагогічних методів [2].

Іншою вагомою проблемою вищої освіти у наш час вважається недостатня підготовка спеціалістів до виходу на ринок праці та невисока оцінка якості вищої освіти представниками ринку праці [1].

Створення навчальних планів із урахуванням всіх вимог, запитів студентів та представників індустрії є складною, неформалізованою задачею, яка може бути вирішена за допомогою сучасних технологій, а саме за допомогою застосування рекомендаційної системи.

Необхідно здійснювати моніторинг освітнього процесу із метою визначення рівня якості викладання дисциплін, виявлення порушень міжпредметних зв'язків, визначення цінності дисципліни для даної спеціальності за думкою викладачів, науковців та фахівців-практиків та ін.

Проаналізувавши різні підходи моніторингу освітнього процесу, можна звести основні задачі до наступного:

- вироблення комплексу показників, що забезпечують цілісне уявлення про стан освітнього процесу, про якісні та кількісні зміни в ньому;
- систематизація інформації про стан освітнього процесу;
- забезпечення регулярного і наочного представлення інформації про процеси, що відбуваються в освітньому процесі;
- інформаційне забезпечення аналізу та прогнозування стану освітнього процесу, вироблення управлінських рішень [3];
- визначення актуальності предметів, що викладаються та відповідність сучасному стану і перспективам розвитку науки, техніки і технологічних процесів, що застосовуються у відповідних галузях;
- врахування потреб роботодавців;
- врахування потреб студентів.

Найбільш складним при створенні рекомендаційної системи є виявлення критеріїв оцінки якості, що мають бути враховані при виробленні рекомендацій а також отримання даних від різних категорій користувачів, а саме викладачів, студентів, представників індустрії.

**Висновки.** Аналіз стану питання показав актуальність створення рекомендаційної системи для підвищення якості навчальних планів та викладання дисциплін. У подальшому передбачається виявлення критеріїв, що впливають на якість та створення рекомендаційної системи, що дозволяє накопичувати дані про якість викладання навчальних дисциплін, їх актуальність, правильність межпредметних зв'язків та ін., обробляти їх методами інтелектуального аналізу даних та створювати рекомендації щодо змін у навчальних планах, що сприятимуть підвищенню якості.

#### Список використаних джерел

1. Стратегія реформування вищої освіти в Україні до 2020 року [Електронний ресурс] // МОНУ. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/gromadske-obgovorennya/2016/18-strategiya-reformuvannya-vishhoi-osviti-20.doc>.
2. Стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [https://enqa.eu/indirme/esg/ESG%20in%20Ukrainian\\_by%20the%20British%20Council.pdf](https://enqa.eu/indirme/esg/ESG%20in%20Ukrainian_by%20the%20British%20Council.pdf).
3. Моніторинг навчальної діяльності: навчальний посібник. / Д. М. Бодненко, О. Б. Жильцов, О. Л. Лещинський, Н. П. Мазур. – Київ: Київський університет імені Бориса Грінченка, 2014. – 276 с.



УДК 381.3

**Скукіс О.Є.**

Науковий співробітник

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

## АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Розв'язування задач дискретної оптимізації є частиною сучасних інформаційних технологій (ІТ), а процес розв'язування цих задач може розглядатися як ІТ для дослідження прикладних проблем, які описуються в термінах дискретного програмування [1,2].

Важливим напрямком досліджень є розробка математичного та програмного забезпечення для автоматизації процесу розв'язування задач, які використовуються при прийнятті оптимальних економічних, проектних і технологічних рішень, на базі ефективних алгоритмів дискретного програмування.

Запропоновано підхід до побудови автоматизованої інформаційної системи (АІС), призначеної для розв'язання задач дискретної оптимізації, що ґрунтується на застосуванні технології об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) [3]. АІС розглядається як сукупність дискретних об'єктів, що складаються з наборів структур даних і процедур, які взаємодіють з іншими об'єктами. Структура АІС представлена на рисунку.

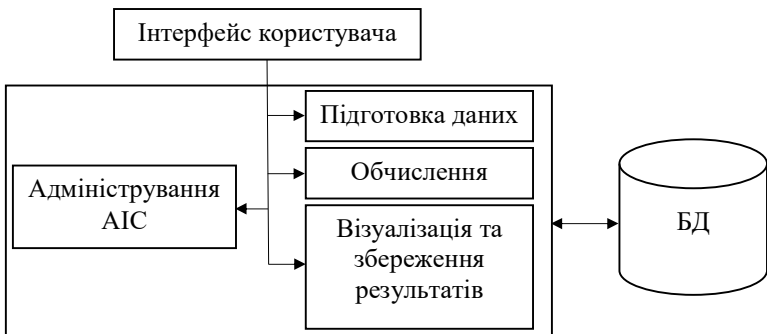


Рисунок – Структура АІС

Набори структур даних і процедур об'єднані у файлоу базу даних, яка є структурованим набором папок, що містять набори вхідних, вихідних і робочих даних для прикладних модулів, а також виконувані файли алгоритмів розв'язання задач. Інтерфейс користувача містить засоби, що дозволяють здійснювати підготовку даних, формувати завдання для розв'язування задач, переглядати, редагувати та зберігати результати обчислень.

Функціональні можливості АІС забезпечують адміністрування доступу до системи та налаштування індивідуальних параметрів проведення обчислювального експерименту. Останній характеризується датою проведення, варіантом вхідних даних, версією прикладних модулів, які реалізують алгоритми розв'язання задач, місцем збереження вихідних даних.

Процес розв'язання задачі включає вибір зі списку безпосередньо самої задачі, алгоритму розв'язання задачі, варіанту вхідних даних та способу проведення обчислень (автономний/пакетний). Процес обчислень може бути зупинений для уточнення параметрів задачі та поновлений з новими критеріями. По його закінченні в АІС передбачено перегляд, редагування та друк результатів.

Контекстна та детальна довідка надають можливість правильно застосовувати АІС.

Розроблена АІС призначена для підтримки процесу розв'язування задач дискретної оптимізації. При її програмній реалізації було враховано специфіку задач дискретного програмування, застосована технологія ООП [4,5].

Створена АІС надає користувачам зручний механізм опису моделей розв'язуваних задач, володіє розвиненим інструментом підготовки даних і організації обчислювального процесу. Засоби візуалізації результатів розв'язку задач дають можливість інтерпретувати дані в термінах предметної області. Функції адміністрування ресурсів системи дозволяють користувачам системи проводити обчислювальні експерименти незалежно один від одного.

#### **Список використаних джерел**

1. Сергієнко ІВ. Про основні напрями створення інтелектуальних інформаційних технологій // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2002. - № I. - С 39-64.
2. Сергієнко ІВ. Виклики часу в кібернетичному вимірі. - К.: Академперіодика, 2007. - 274 с
3. Гради Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. - Минск: Бином, 1998. - 560 с.
4. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в С++: 4-е изд. - Санкт-Петербург: Питер, 2006. - 922 с.
5. Скукис А.Е. Объектно-ориентированный подход к построению программных систем для решения задач дискретной оптимизации // Компьютерная математика. - 2007. -Вып. 2. - С. 80-85.

УДК 004.896

<sup>1</sup> **О.О. Смотр**

к.т.н, доцент кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій

<sup>2</sup> **Н.С. Бурак**

к.т.н, доцент кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій

<sup>3</sup> **Р.Р. Головатий**

к.т.н, викладач кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій

<sup>4</sup> **І.О. Антоненко**

магістр

<sup>1,2,3,4</sup> *Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів*

## **ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМ В РОБОТУ СЛУЖБ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ**

**Вступ.** В умовах глобалізації та стрімкого перебігу усіх процесів життєдіяльності все більшої актуальності набуває питання швидкого та якісного переміщення з однієї точки в іншу документів, товарів, вантажів тощо. За даними "Inter express", однієї з найбільших кур'єрських служб України, понад 20% від усіх відправлень потребують термінової доставки. Ефективність доставки, час та якість її здійснення на 80 % залежить від ефективності побудови маршруту, по якому будуть пересуватися кур'єри в процесі доставки.

**Мета роботи:** дослідження способів автоматизації контролю доставки товарів з використанням комп'ютерних систем і програмних рішень.

Звісно ж, на сьогодні існує ряд інформаційно-аналітичних систем, що працюють в галузі автоматизації роботи служб доставки. Серед них можна виділити наступні: Система "Аурама", "Yaware.Mobile", "ЯКур'єр", "Махотра", "Zig-Zag" тощо. Однак, як правило, вони є доволі дорогавартісними, або ж не вирішують поставлені задачі у повній мірі, а спеціалізуються на більш вузько направлених задачах. Для прикладу, забезпечують лише комунікацію кур'єра з центром та призначені для обліку доставок та передачі інформації клієнту, щодо місця знаходження його відправлення. Основним недоліком існуючих, доступних для широкого загалу автоматизованих інформаційних систем є відсутність засобів для розподілу доставок між вже активними кур'єрами та оптимізації роботи кур'єрів, шляхом ефективною динамічною перебудови маршрутів.

У невеликих приватних кур'єрських службах, а саме вони займають на сьогодні значну частину ринку з надання послуг перевезення та доставки вантажів, дану задачу, в більшості випадків, все ще розв'язує людина. Маршрути формуються стихійно самими агентами без детального аналізу їхньої доцільності. Очевидно, що підвищити ефективність роботи таких служб можна, впровадивши в їх діяльність використання відповідних комп'ютерних систем і програмних рішень.

Загалом задачу маршрутизації прийнято називати "задачею комівояжера", суть якої полягає у пошуку найкоротшого, тобто оптимального шляху, який проходить через певні пункти по одному разу. На сьогодні, для її розв'язання, як правило, використовують евристичні методи (генетичний алгоритм, мурашиний алгоритм) та точні алгоритми (прямий перебір, алгоритм Літгла тощо). Оскільки, ми говоримо про роботу невеликих приватних кур'єрських служб, в яких, виконуючи завдання, кур'єр відвідує від 10 до 20 точок призначення. То для початкової побудови маршрутів та визначення кур'єрів, яким можна розподілити нові завдання, доцільно застосувати задачу комівояжера та розв'язувати її одним з точних алгоритмів, адже вони дають найкращий результат та при невеликій кількості точок перебору не спричиняють суттєвих часових затрат.

Однак, доволі часто виникають ситуації, коли з'являються нові завдання, щодо доставок, а кур'єри вже виконують доставку і відповідно слідує певному маршруту. В такому випадку більшість існуючих систем для побудови нового маршруту застосовує критерій довжини маршруту кур'єра. Ми пропонуємо при динамічній перебудові маршрутів кур'єрів використовувати два критерії оцінки: перший - відношення довжин старого і перебудованого маршрутів кур'єрів; другий - відношення часових втрат кожного з кур'єрів. З врахуванням таких критеріїв оцінки можна точно визначити, на чий маршрут, з обраних кандидатів, щонайменше вплине додавання нового замовлення.

Спосіб реалізації запропонованих алгоритмів залежить від апаратних засобів обчислювальної техніки, на якій вони виконуються. В свою чергу цей фактор залежить від типу архітектури системи, яка буде застосовуватися. Водночас очевидно, що для побудови комп'ютерної системи, яка б працювала в умовах галузі доставки необхідно, щоб кожен кур'єр мав при собі пристрій, який міг би передавати та обробляти усі необхідні дані а також відображати їх користувачу. Для забезпечення контролю доставки, необхідно мати централізований орган, який мав би у своєму розпорядженні усі дані про усіх учасників системи (кур'єрів), забезпечував автоматизований розподіл завдань та міг би вчасно надавати кур'єрам всю необхідну інформацію в умовах постійного руху. Тобто необхідно мати серверну компоненту. Окрім того, на стороні кур'єра завжди мають бути клієнтські компоненти системи. На даний час найкращим рішенням для цього є використання смартфонів.

**Висновки.** Ефективність роботи кур'єрських служб в значній мірі залежить від використання в їх діяльність автоматизованих інформаційно-аналітичних систем і програмних рішень. Для функціонування такої системи необхідна її організація з застосуванням мережі та використанням клієнт-серверної архітектури.

#### Список використаних джерел

1. Кормен Т. Томас Х и др.. Построение и анализ, 3-е изд. : Пер с англ. –М.: ООО "И.Д.Вильямс", 2013. – 1328 с.
2. Бідок П.І. Проектування компютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень / П.І. Бідок, Л.О. Коршевнюк. Навчальний посіб. — Київ: ННК «ПСА» НТУУ «КПІ», 2010. — 340 с.

УДК 004.056

<sup>1</sup> **В.Г. Фалькевич**

магістр

<sup>2</sup> **Г.Г. Киричек**

канд.техн. наук, доцент, доцент

<sup>1,2</sup> *Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, Україна*

## ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ FRONT END ТЕХНОЛОГІЙ

**Вступ.** З кожним роком все більше розробників створюють складні системи, що існують у веб середовищі та доступні віддалено користувачам. Враховуючи ріст популярності мобільних пристроїв та їх використання для доступу в мережу, розробники приділяють увагу проектуванню веб систем, орієнтованих на мобільні пристрої [1].

**Огляд інструментальних засобів.** Лідером з розробки клієнтських частин в мова програмування JavaScript. Перехід на нову версію JS надав можливість створювати бібліотеки та фреймворки для розробки клієнтських частин та популяризувати мову JavaScript для розробки веб систем. Незважаючи на те, що постійно створюються нові бібліотеки та фреймворки для розробки інтерфейсів користувача, найбільш популярними технологіями для розробки клієнтських інтерфейсів є бібліотека React, фреймворк Angular, бібліотека VueJS [2].

**Оптимізація системи.** Для оптимізації системи, необхідно: забезпечити зменшення часу очікування при виконанні типових задач, які не потребують перезавантаження сторінки; оптимізувати перше завантаження сторінки браузером користувача; забезпечити розділення клієнтської (Front) і серверної (Back End) частин; оптимізувати клієнтську частину, яка використовує DOM дерево; підвищити зручність використання системи клієнтом.

За основу беремо систему, яка розроблена на Laravel, з використанням шаблону проектування MVC. Вона має клієнтську частину, що складається з файлів шаблонізатору BLADE. При переході на сторінки, фреймворк створює запит до сервера і він надає розмітку сторінки, яка повторює попередню завантажену розмітку html. При виконанні дій, знову відбувається запит до сервера, який повторює попередню розмітку. Система використовує бібліотеку JQuery, що працює з DOM деревом та збільшує час очікування роботи системи.

**Висновки.** Оптимізація системи, за допомогою сучасних Front End технологій, не торкнулася її функціональних можливостей самої та цілісності, забезпечила більш зручний інтерфейс та знизила навантаження на сервер.

### Список використаних джерел

1. Киричек Г.Г. Ефективність розробки веб сервісів для забезпечення якості послуг. Науковий вісник Чернівецького національного університету. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти, 2016. Т.7. Вип.1. С. 74-81.
2. Ершов А.В., Гуляев Ю.В., Карпов Н.А., Пахомов А.Ю. Интерактивные системы. М.: ЛИПС, 2014. 596 с.

# **Section 4**

**Applied algebra problems,  
differential and  
probabilistic models**



УДК 512.643.8

**Бортош М.Ю.**

Канд. фіз.-мат. наук, викладач кафедри алгебри

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород

## НЕЗВІДНІ КАНОНІЧНО ЦИКЛІЧНІ МАТРИЦІ НАД КОМУТАТИВНИМ ЛОКАЛЬНИМ КІЛЬЦЕМ

Нехай  $K$  – комутативне кільце з одиницею. Розглядаємо мономіальну матрицю  $M = (m_{ij})$  над кільцем  $K$ , тобто матрицю порядку  $n$  (розміру  $n \times n$ ), в кожному рядку і в кожному стовпці якої стоїть не більше одного ненульового елемента. Такій матриці можна природнім чином зіставити орієнтований граф  $\Gamma(M)$  з вершинами  $1, 2, \dots, n$  і стрілками  $i \rightarrow j$  для всіх  $m_{ij} \neq 0$ .  $\Gamma(M)$  є неперетинним об'єднанням ланцюгів і циклів (кожний з яких має однаковий напрямок стрілок). Якщо цикл лише один, то мономіальну матрицю називаємо циклічною [1].

Будь-яка циклічна матриця порядку переставно подібна матриці вигляду

$$A = M_t(\bar{a}) = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & a_n \\ a_1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & a_{n-1} & 0 \end{pmatrix},$$

де  $\bar{a} = (a_1, \dots, a_{n-1}, a_n)$ . Така матриця називається канонічно циклічною, а послідовність  $\bar{a}$  – її визначальною послідовністю. У випадку, коли всі ненульові елементи  $a_i$  мають вигляд  $t^{s_i}$  ( $s_i \geq 0$ ), де  $t$  – фіксований елемент із  $K$ , матриця  $A$  називається канонічно  $t$ -циклічною. Число  $s_i$  називається вагою елемента  $t^{s_i}$ , а послідовність  $\bar{w} = (s_1, \dots, s_{n-1}, s_n)$  – ваговою послідовністю матриці  $A$  [1].

### Теорема 1.

Нехай  $K$  – комутативне локальне кільце з радикалом  $R \neq 0$  і  $t$  – ненульовий елемент із  $R$  такий, що  $t^2 = 0$ . Канонічно циклічні матриці порядку  $n = 7$  з ваговими послідовностями  $(0, 0, 0, 0, 0, 1, 1)$ ,  $(0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)$ ,  $(0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)$ ,  $(0, 0, 0, 1, 0, 1, 1)$ ,  $(0, 0, 1, 0, 0, 1, 1)$ ,  $(0, 1, 0, 0, 0, 1, 1)$ ,  $(0, 1, 0, 1, 0, 0, 1)$ ,  $(0, 0, 1, 0, 1, 1, 1)$ ,  $(0, 1, 0, 0, 1, 1, 1)$ ,  $(0, 0, 1, 1, 0, 1, 1)$ ,  $(0, 1, 0, 1, 0, 1, 1)$  та  $(0, 1, 0, 1, 1, 1, 1)$  є незвідними над кільцем  $K$ .

### Список використаних джерел

1. Бондаренко В.М., Бортош М.Ю. Достатні умови звідності в категорії мономіальних матриць над комутативним локальним кільцем. Наук. вісник Ужгород. ун-ту. Сер. матем. і інформ., 2017. Вип. 30, №1. С.11–24.



УДК 519.21

<sup>1</sup>М.М. Капустей

Аспірант

<sup>2</sup>М.Ю. Пойда

Студент 4-го курсу

<sup>1,2</sup>Ужгородський університет, м. Ужгород

## ШВИДКІСТЬ ЗБІЖНОСТІ В ЦЕНТРАЛЬНІЙ ГРАНИЧНІЙ ТЕОРЕМІ В ТЕРМІНАХ СЕРЕДНІХ ПСЕВДОМОМЕНТІВ

В роботі наводиться одна оцінка швидкості збіжності в центральній граничній теоремі в термінах середніх псевдомоментів, що доповнює дослідження із [1].

Нехай  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$  - послідовність незалежних випадкових величин з математичним сподіванням  $M\xi_k = 0$ , дисперсією  $D\xi_k = \sigma_k^2$ . Позначимо:  $F_k(x)$  - функція розподілу випадкової величини  $\xi_k$ ,  $f_k(t)$  - характеристична функція  $\xi_k$ ,  $B_n^2 = \sigma_1^2 + \dots + \sigma_n^2$ ,  $S_n = \frac{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n}{B_n}$ ,  $\Phi_n(x)$  - функція розподілу  $S_n$ ,  $\Phi(x)$  - функція розподілу стандартного нормального закону,  $\rho_n = \sup_x |\Phi_n(x) - \Phi(x)|$ .

$\bar{\sigma} = \max\{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ ,  $\underline{\sigma} = \min\{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ ,

$$v_k = \int_{-\infty}^{\infty} |x|^3 |d(F_k(x\sigma_k) - \Phi(x))|, \quad \bar{v}_n = \frac{1}{B_n^2} \bar{\sigma}^{-1} \sum_{k=1}^n v_k \sigma_k^3.$$

**Теорема.** Існує стала  $C$ , що для всіх  $n \geq 1$  справедлива нерівність

$$\rho_n \leq C \frac{1}{B_n} \bar{\sigma} \max \left\{ \bar{v}_n \delta_n; (\bar{v}_n)^{\frac{n}{3n+1}} \right\}, \quad (1)$$

$$\text{де } \delta_n = \max \left\{ \frac{\bar{\sigma}}{B_n} \left( \frac{\bar{\sigma}}{\underline{\sigma}} \right)^5; 1 \right\}.$$

**Наслідок.** Нехай  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$  - послідовність незалежних випадкових величин з математичним сподіванням  $M\xi_k = 0$ , дисперсією  $D\xi_k = \sigma^2$ , функцією розподілу  $F(x)$ . Тоді

$$\rho_n \leq C \frac{1}{\sqrt{n}} \max \left\{ v; v^{\frac{n}{3n+1}} \right\},$$

$$v = \int_{-\infty}^{\infty} |x|^3 |d(F(x\sigma) - \Phi(x))|.$$

### Список використаних джерел

1. Капустей М.М., Слюсарчук П.В. Оцінка швидкості збіжності в центральній граничній теоремі для послідовності серій в термінах середніх псевдомоментів. Теорія ймовірностей та математична статистика. 2018. Вип.2(69). С. 91100.

УДК 517.946

<sup>1</sup> В.В. Маринець

доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри диф. р-нь та мат. фізики

<sup>2</sup> О.М. Гецько

канд. фіз.-мат. наук, викладач

<sup>3</sup> О.І. Когутич

магістр, студент

<sup>1-3</sup> ДВНЗ "УЖНУ", м. Ужгород

## ПРО ОДНУ МОДИФІКАЦІЮ МЕТОДУ ЗЕЙДЕЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДАРБУ-ГУРСА ДЛЯ НЕЛІНІЙНОГО ХВИЛЬОВОГО РІВНЯННЯ

**Вступ.** При математичному описанні різних процесів та проблем механіки, фізики, хімії, електромеханіки, тощо часто приходять до крайових задач в областях із складною структурою краю у випадку нелінійних диференціальних рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу на площині. Дослідження такого роду задач, а саме задачі Дарбу-Гурса, присвячена дана робота, яка є продовженням досліджень, наведених в [1].

Розглянемо в  $R^2$  область  $D = \{(x, y) | x \in [x_0, x_1], y \in [g_1(x), g_2(x)]\}$ , де  $x_0 < x_1$ ,  $y = g_i(x) \Leftrightarrow x = k_i(y)$ ,  $i = 1, 2$  – "вільні" криві, причому  $g'_i(x) > 0$ ,  $g_1(x_{i-1}) = y_{i+1}$ ,  $g_2(x_{i-1}) = y_{i-1}$ ,  $y_0 < y_1 < y_2 < y_3$ .

**Постановка задачі:** в просторі функцій  $C^*(\bar{D}) := C^{(1,1)}(D) \cap C(\bar{D})$  знайти розв'язок диференціального рівняння:

$$u_{xy}(x, y) + a_1(x, y)u_x(x, y) + a_2(x, y)u_y(x, y) = f(x, y, u(x, y)) := f[u(x, y)] \quad (1)$$

який задовольняє крайові умови:

$$u(x, g_1(x)) = \varphi_1(x) \in C^1([x_0, x_1]), u(x_1, y) = \psi(y) \in C^1([y_1, y_3]), \quad (2)$$

$$u(x, g_2(x)) = \varphi_2(x) \in C^1([x_0, x_1]),$$

причому виконуються умови узгодженості:

$$\varphi_1(x) = \psi(y_3), \varphi_2(x) = \psi(y_1). \quad (3)$$

Надалі будемо вважати, що задані функції

$$f[u(x, y)] \in C(B), f: B \rightarrow R, B \subset R^2, a_1(x, y) \in C^{(1,0)}(D), a_2(x, y) \in C^{(0,1)}(D) \text{ і} \\ a_{1x}(x, y) = a_{2y}(x, y).$$

Як показано в роботі [1], крайова задача (1)–(3) еквівалентна системі інтегральних рівнянь

$$u_s(x, y) = \omega_s(x, y) + \varepsilon_s T_{1,s} F[u_{s-1}(\xi, \eta)] + T_s F[u_s(\xi, \eta)], (x, y) \in \bar{D}_s, \quad (4)$$

$$\varepsilon_1 = 0, \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 1, D_1 = \{(x, y) | x \in [x_0, x_1], y \in [y_2, g_1(x)]\},$$

$$D_2 = \{(x, y) | x \in [x_0, x_1], y \in [y_1, y_2]\}, D_3 = \{(x, y) | x \in [x_0, x_1], y \in (g_2(x), y_1)\},$$

$$D = D_1 \cup D_2 \cup D_3.$$

Надалі використовуються позначення роботи [1].

Позначимо:

$$F_{s,p}^p(x, y) := H[\bar{z}_{s,p}(x, y); \bar{v}_{s,p}(x, y)], \quad (x, y) \in \bar{D}_s$$

$$F_{s,0}^p(x, y) := H[\bar{v}_{s,p}(x, y); \bar{z}_{s,p+1}(x, y)],$$

і побудуємо послідовності функцій  $\{z_{s,p}(x, y)\}$ ,  $\{v_{s,p}(x, y)\}$  згідно закону:

$$z_{s,p+1}(x, y) = \omega_s(x, y) + \varepsilon_s T_{1,s} F_{s-1}^p(\xi, \eta) + T_s F_s^p(\xi, \eta),$$

$$v_{s,p+1}(x, y) = \omega_s(x, y) + \varepsilon_s T_{1,s} F_{s-1,p}(\xi, \eta) + T_s F_{s,p}(\xi, \eta),$$
(5)

де за нульове наближення  $z_{s,0}(x, y), v_{s,0}(x, y) \in \bar{B}_1$  вибираємо довільні з простору  $C(\bar{D}_s)$  функції, які задовольняють умови (2), (3) та нерівності

$$w_{s,0}(x, y) \geq 0, \alpha_{s,0}^*(x, y) \geq 0, \beta_{s,0}^*(x, y) \leq 0, (x, y) \in \bar{D}_s, \quad s = 1, 2, 3. \quad (6)$$

За допомогою ітераційного методу (5), (6) встановлюються достатні умови існування, єдиності, регулярності або іррегулярності та знакосталості розв'язку крайової задачі (1)–(3).

Збіжність методу (5),(6) краща за збіжність ітераційного процесу, розглядуваного в роботі [1, с. 76, формули (12), (13)]

#### Список використаних джерел

1. Маринець В.В. Про один конструктивний метод дослідження крайової задачі Дарбу-Гурса. //Науковий вісник Ужгородського університету, 2016, вип. № 2(29). С.72–80.

УДК 510

<sup>1</sup> **І.А. Мич**

Кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>2</sup> **В.В. Ніколенко**

Кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>3</sup> **О.В. Варцаба**

Аспірант кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>1,2,3</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

## ЕКВАЦІОНАЛЬНІ І СИГНАТУРНІ РЕШІТКИ ОДНОГО КЛАСУ АЛГЕБР

Універсальні алгебри  $U_1$  і  $U_2$  із заданими системами операцій  $\Omega_1$  і  $\Omega_2$  називаються однотипними, якщо можна встановити взаємно однозначну відповідність між  $\Omega_1$  і  $\Omega_2$ , причому довільні відповідні операції  $\omega_{i_1} \in \Omega_1$  і  $\omega_{i_2} \in \Omega_2$  мають однакову арність [1].

Алгебри  $U_1 = (A_1, \Omega_1)$  і  $U_2 = (A_2, \Omega_2)$  називаються одноносієвими, якщо  $A_1 = A_2$ . Алгебра  $U_1 = (A, \Omega_1)$  називається сигнатурним розширенням (звуженням) алгебри  $U_2 = (A, \Omega_2)$ , якщо  $\Omega_2 \subset \Omega_1$  ( $\Omega_1 \subset \Omega_2$ ).

Алгебра  $U_3 = (A, \Omega_3)$  є сигнатурним об'єднанням (перетином) алгебр  $U_1 = (A, \Omega_1)$ ,  $U_2 = (A, \Omega_2)$ , якщо  $\Omega_3 = \Omega_1 \cup \Omega_2$  ( $\Omega_3 = \Omega_1 \cap \Omega_2$ ).

Клас алгебр  $N$  називається сигнатурно замкненим, якщо для будь-яких алгебр  $U_1 = (A, \Omega_1)$ ,  $U_2 = (A, \Omega_2)$  існують алгебри  $U_3 = (A, \Omega_3)$ ,  $U_4 = (A, \Omega_4)$  такі, що  $\Omega_3 = \Omega_1 \cup \Omega_2$ ,  $\Omega_4 = \Omega_1 \cap \Omega_2$ .

Розглянемо сигнатурно замкнений клас одноносієвих алгебр  $N_4 = \{U_i = (A_{4 \times 4}, \Omega_i), i = 0, 1, \dots, 7\}$ , де  $A_{4 \times 4}$  – множина бінарних матриць розміром  $4 \times 4$ ,  $\Omega_i = \{\vee, \wedge, T_0, T_1, \dots, T_7\}$  – операції повороту елементів матриці  $A_{4 \times 4}$  на кути кратні  $45^\circ$  [3].  $\Omega$ -максимальною алгеброю ( $\Omega_{\max}$ ) класу алгебр  $N_4$  є алгебра  $U_{\max} = (A_{4 \times 4}, \vee, \wedge, T_0, T_1, \dots, T_7)$ , а  $\Omega$ -мінімальною ( $\Omega_{\min}$ ) – алгебра  $U_{\min} = (A_{4 \times 4}, \wedge, \vee, T_0)$ .

Твердження 1. Алгебри класу  $N_4$  відносно операцій сигнатурного об'єднання і перетину утворюють решітку, яка не перевищує  $2^{|\Omega|}$  – мірний куб.

Кожній алгебрі  $U_i \in N_4$  поставимо у відповідність семимірний вектор

$$T(U_i) = (a_1^i, a_2^i, \dots, a_7^i), \text{ де } a_j^i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } T_j \in \Omega_i, \\ 0, & \text{якщо } T_j \notin \Omega_i, \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, 7.$$

Вектор  $T(U_i)$  називається типом алгебри  $U$ .

Задамо операції над типами алгебр:

$$\begin{aligned} T(U_i) \vee T(U_i) &= T(U_k), \\ T(U_i) \wedge T(U_i) &= T(U_k), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $a_j^k = a_j^i \vee a_j^t$  ( $a_j^k = a_j^i \wedge a_j^t$ ) – операція диз'юнкції (кон'юнкції).

Множина всіх булевих семимірних векторів з операціями (1) утворюють 7-мірний куб. Між алгебрами класу  $N_4$  і множиною всіх бінарних 7-мірних векторів існує взаємно однозначна відповідність.

Множину операцій повороту  $M_k = \{T_{j_1}, T_{j_2}, \dots, T_{j_k}\} \subset \{T_1, T_2, \dots, T_7\}$  будемо називати повною, якщо в результаті суперпозицій цієї множини можемо отримати всі операції повороту  $T_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 7$ .

Множину операцій  $M_k = \{T_{j_1}, T_{j_2}, \dots, T_{j_k}\} \subset \{T_1, T_2, \dots, T_7\}$  будемо називати замкненою, якщо в результаті суперпозиції операцій цієї множини отримаємо тільки операції з  $M_k$ .

Алгебри з  $N_4$  з повними системами операцій повороту називаються повними, а з замкненими системами – замкненими.

Розіб'ємо клас алгебр  $N_4$  на чотири підкласи алгебр: замкнені алгебри, замкнені алгебри повні, незамкнені алгебри повні, незамкнені алгебри неповні.

В роботі [2] доведено, що в класі алгебр  $N_4$  є дев'ять замкнених алгебр, замкнутою повною є одна алгебра, неповними є дев'ятнадцять алгебр, а решта сто сім алгебр є незамкненими повними.

У роботі [3] показано, що в замкненій алгебрі  $N_{\max}$  ДНФ співпадає з ДДНФ. Аналогічно, це можна показати для довільної замкненої алгебри, тобто має місце теорема.

Теорема 1. У замкнених алгебрах класу  $N_4$  ДНФ співпадають з ДДНФ.

#### Список використаних джерел

1. Мальцев А. И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
2. Мич І.А., Ніколенко В.В. Повні системи тотожностей в одному класі алгебр // Наук. вісник Ужгород. ун-ту, сер. Математика і інформатика. – 2017. – Вип. 1 (30). – С. 79-86.
3. Мич І.А., Ніколенко В.В. Досконалі диз'юнктивні нормальні форми в одному класі алгебр // Наук. вісник Ужгород. ун-ту, сер. Математика і інформатика. – 2017. – Вип. 2 (31). – С. 123-128.
4. Мич І.А., Ніколенко В.В., Варцаба О. В. Досконалі диз'юнктивні нормальні форми алгебри  $U_2$  // Наук. вісник Ужгород. ун-ту, сер. Математика і інформатика. – 2018. – Вип. 1 (32). – С. 124-129.

УДК 519.21

<sup>1</sup> Ю.Ю. Млавець

Кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>2</sup> О.О. Синявська

Кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри теорії ймовірностей і математичного аналізу

<sup>1,2</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород

## ІНТЕРВАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРА КОВАРІАЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ НЕГАУССОВОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ У МОДЕЛІ З ПОХИБКОЮ

**Означення 1.** [1] Кажуть, що двовимірний випадковий вектор  $(\xi, \eta) \in L_4(\Omega) \times L_4(\Omega)$  має властивість  $K$ , якщо

$$1) E\xi = E\eta = 0;$$

$$2) E\xi^4 \leq 3(E\xi^2)^2, E\eta^4 \leq 3(E\eta^2)^2;$$

$$3) E(\xi + \eta)^4 \leq 3(E(\xi + \eta)^2)^2, E(\xi - \eta)^4 \leq 3(E(\xi - \eta)^2)^2.$$

Сім'ю всіх двовимірних векторів із властивістю  $K$  позначимо літерою  $K$ . Через  $K_1$  позначимо множину всіх тих векторів сім'ї  $K$ , для яких у вимогах 2), 3) означення 1 справджуються рівності. Сім'я двовимірних випадкових векторів  $K_1$  є підсім'єю сім'ї  $K$ .

**Означення 2.** [1] Випадковий процес  $X(t), t \in [0, 1]$  називається випадковим процесом класу  $K$ , якщо для довільних  $0 \leq s \leq t \leq u \leq v \leq 1$ , випадковий вектор  $(\xi, \eta)$ , де  $\xi = X(t) - X(s)$ ,  $\eta = X(v) - X(u)$ , належить сім'ї  $K$ . Якщо випадковий вектор  $(\xi, \eta)$  належить сім'ї  $K_1$ , то випадковий процес  $X(t)$  називається процесом класу  $K_1$ .

Наприклад, гауссовий випадковий процес з нульовим середнім є прикладом випадкового процесу класу  $K_1$ .

Розглянемо випадковий процес  $\{B(t), t \in \mathbb{R}\}$  з нульовим середнім значенням, коваріаційною функцією:

$$EB(t)B(s) = \frac{1}{2} \left( |t|^{2H} + |s|^{2H} - |t-s|^{2H} \right), t, s \in [0, 1], H \in (0, 1)$$

і приростами класу  $K_1$ .

Припустимо, що спостерігаються значення величин  $Y(0), Y\left(\frac{1}{n}\right), \dots, Y(1)$ , які відрізняються від справжніх значень випадкового процесу  $\{B(t), t \in [0, 1]\}$  в точках

$$\left\{ \frac{k}{n} \mid 0 \leq k \leq n, n \geq 1 \right\}$$

на величину похибки вимірювання  $\{\delta_{k,n} \mid 0 \leq k \leq n\}$ , причому

$$Y\left(\frac{k}{n}\right) = B\left(\frac{k}{n}\right) + \delta_{k,n},$$

де  $\delta_{k,n}$  – незалежні випадкові величини з нульовим середнім та скінченними моментами 4-го порядку для яких,  $E\delta_{k,n}^2 = \sigma^2$ ,  $\sigma^2$  – відоме, та  $E\delta_{k,n}^4 = 3(E\delta_{k,n}^2)^2$ . Також, припустимо, що параметр  $H$  такий, що  $H \leq H^* < 1$ , де величина  $H^*$  – відома.

Розглянемо послідовність бакстерівських сум [2]:

$$S_n = \sum_{k=0}^{n-1} \left( Y\left(\frac{k+1}{n}\right) - Y\left(\frac{k}{n}\right) \right)^2 - 2n\sigma^2, \quad n \geq 1.$$

**Теорема.** Нехай  $H \in (0, H^*]$ , де  $H^* \in (0, 1)$  – фіксовано. Тоді інтервал  $(I_l(n), I_r(n)) \cap (0, 1)$ , є довірчим інтервалом для параметра  $H$  з рівнем довіри  $1 - p \in (0, 1)$ , де

$$I_l(n) = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\ln(1 - \varepsilon) - \ln S_n}{\ln n} \right), \quad I_r(n) = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\ln(1 + \varepsilon) - \ln S_n}{\ln n} \right),$$

$$\varepsilon \geq \sqrt{\frac{D(H^*, n)}{p}}, \quad D(H^*, n) = \frac{10}{n} + 8n^{2H^*-1}\sigma^2 + 8n^{4H^*-1} \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \sigma^4 +$$

$$+ \begin{cases} \frac{2}{n} \zeta(4 - 4H^*), & H^* \in \left( 0, \frac{3}{4} \right); \\ \frac{2}{n} (1 + \ln n), & H^* = \frac{3}{4}; \\ \frac{2}{n} \left( 1 + \frac{n^{4H^*-3}}{4H^*-3} \right), & H^* \in \left( \frac{3}{4}, 1 \right), \end{cases}$$

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} n^{-s}, \quad s > 1 \text{ – дзета-функція Рімана.}$$

#### Список використаних джерел

1. Kozachenko Yu. V., Kurchenko O. O. Levy-Baxter theorems for one class of non-Gaussian stochastic processes. Random Oper. Stoch. Equ. 2011. Vol. 19, no 4. P. 313–326.
2. Козаченко Ю. В., Курченко О. О., Снявська О. О. Теорема Леві-Бакстера для випадкових полів та їх застосування: Монографія. Ужгород: «Шарк», 2018. 228 с.

УДК 517.9

<sup>1</sup> Т.В. Пасічник

к.ф.-м.н., доцент

<sup>2</sup> В.В. Жировецький

асистент

<sup>1,2</sup> Львівський національний університет ім. Ів. Франка, Львів

## УМОВИ ПЕРІОДИЧНОСТІ РОЗВ'ЯЗКІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ЛЬЕНАРА

**Вступ.** Встановлення умов існування періодичних розв'язків систем диференціальних рівнянь, зокрема, для диференціального рівняння Льєнара є актуальними, оскільки мають широке застосування в механіці, медицині, математичній економіці, теорії керування тощо [3].

Незважаючи на значну кількість праць, присвячених різним питанням теорії диференціальних рівнянь яким властиві коливання, значне коло питань якісної теорії таких систем залишається ще не з'ясованим [1,2]. Пропонуються умови існування періодичних розв'язків для коливних систем, що описуються рівнянням Льєнара.

**Виклад основного матеріалу.** Диференціальне рівняння Льєнара має вигляд автономного рівняння

$$x'' + f(x)x' + g(x) = 0, \quad (1)$$

яке еквівалентне системі

$$x' = y, \quad y' = -g(x) - f(x)y, \quad (2)$$

або

$$x' = -F(x) + v, \quad v' = -G(x),$$

де

$$F(x) = \int_0^x f(s)ds, \quad G(x) = \int_0^x g(s)ds.$$

Надалі вважатимемо, що для всіх значень функції  $f(x)$  і  $g(x)$  неперервні й забезпечують згідно із заданими початковими значеннями єдиний розв'язок, що неперервно залежить від початкових умов. Крім того, допустимо, що

$$xg(x) > 0, \quad \text{коли } x \neq 0. \quad (3)$$

Умова (3) означає, що сила, яка повертає матеріальну точку в положення рівноваги  $x=0$ , скерована до положення рівноваги. Тоді фазова картина на  $x$ -площині має особливу точку – початок координат  $O(0,0)$ .

Щоб знайти достатньо загальні умови існування многовиду періодичних розв'язків рівняння (1), вважатимемо, що  $f(x) \neq 0$  в околі точки  $x=0$ . Крім того, запропонуємо, щоб функції  $f(x)$  і  $g(x)$  були непарними:

$$f(-x) = -f(x), \quad g(-x) = -g(x). \quad (4)$$

Завдяки цьому фазова картина на площині  $xu$  є симетричною відносно вертикальної осі. Зауважимо, що ця властивість симетрії потрібна тільки в околі нульової точки, тобто саме там, де ми хочемо виявити сім'ю циклів.



Визначаючи фазову діаграму, що описується системою (2), слід обмежитись дослідженням лише правої площини, що впливає з умови симетрії. Вище і нижче горизонтальної осі  $y=0$  система (2) включенням  $t$  зводиться до одного рівняння першого порядку

$$\frac{dy}{dx} = -f(x) - \frac{g(x)}{y}.$$

Це означає, що рівняння дуг інтегральних кривих ззовні осі абсцис можна записати як  $y=y(x)$ , причому в кінцевих точках цих дуг дотична вертикальна.

Мають місце наступні твердження, доведення яких є наслідком аналізу відповідних інтегральних ланцюгових дробів [4].

**Теорема 1.** Якщо за умов  $0 \leq x \leq x_1$  і довільного  $\varepsilon > 0$  виконується нерівність

$$\int_0^x \frac{g(s)}{|F(s)|} ds \geq \left( \frac{1}{4} + \varepsilon \right) |F(x)|, \quad (5)$$

де

$$F(x) = \int_0^x f(s) ds,$$

то всі розв'язки диференціального рівняння Льєнара (1) за умов (3) і (4) за достатньо малих абсолютних величин початкових значень – періодичні.

Невиконання умови (5) дає достатні умови неперіодичних розв'язків.

**Теорема 2.** За умови

$$\int_0^x \frac{g(s)}{|F(s)|} ds \leq \frac{1}{4} |F(x)|, \quad 0 \leq x \leq x_1,$$

диференціальне рівняння Льєнара (1), (3), (4) має неперіодичні розв'язки із як завгодно малими за абсолютною величиною початковими значеннями. Якщо можна покласти  $x_1=0$ , то рівняння (1) не має періодичних розв'язків.

**Висновки.** На основі теорії інтегральних ланцюгових дробів побудовані умови існування періодичних розв'язків для коливних систем, що описуються рівнянням Льєнара.

#### Список використаних джерел

1. Перестюк М. О., Клевчук І. І. Застосування асимптотичних методів до регулярно і сингулярно збурених диференціально-різницевих рівнянь. Нелінійні коливання. К., 2013. Т. 16, № 1. С. 94-104.
2. Самойленко А. М., Петришин Р.І. Математичні аспекти теорії нелінійних коливань. Ін-т математики НАН України. — К.: Наук. думка, 2004. — 474 с.
3. Самойленко В. Г., Собчук В. В. Періодичні розв'язки рівняння Льєнара з імпульсною дією. Нелінійні коливання. К., 2000. Т. 3, № 2 – С. 256 – 265.
4. Сявавко М.С., Пасечник Т.В., Рыбцкая О.М. Псевдообратный оператор и рациональные алгоритмы нормального решения интегрального уравнения Фредгольма первого рода. Электронное моделирование, т.17, №1, 1995. С.10-16.

УДК 519.21

<sup>1</sup> Г.І. Сливка-Тилищак

доцент, доктор фіз.-мат. наук

<sup>2</sup> М.М. Михасюк

аспірант

<sup>1</sup>Пряшівський університет в Пряшеві, м. Пряшів<sup>2</sup>Ужгородський національний університет, м. Ужгород

## ЗАДАЧА КОШІ ДЛЯ РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ НА ПЛОЩИНІ З ВИПАДКОВИМИ ФАКТОРАМИ З ПРОСТОРУ ОРЛІЧА

Розглянемо задачу Коші для рівняння теплопровідності на площині з сталими коефіцієнтами

$$\frac{\partial u(x, y, t)}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial y^2} \right) + \xi(x, y, t) \quad (1)$$

$$-\infty < x < +\infty, \quad -\infty < y < +\infty, \quad t > 0,$$

з початковою умовою

$$u(x, y, 0) = 0, \quad -\infty < x < +\infty, \quad -\infty < y < +\infty. \quad (2)$$

Нехай  $\xi(x, y, t) = \{\xi(x, y, t), (x, y) \in \mathbb{R}^2, t > 0\}$  – вибірково неперервне з імовірністю одиниця випадкове поле з простору Орліча, таке що  $E\xi(x, y, t) = 0$ ,  $E(\xi(x, y, t))^2 < +\infty$ ,  $B(x, y, t, u, v, s) = E\xi(x, y, t)\xi(u, v, s)$  – коваріаційна функція випадкового процесу  $\xi(x, y, t)$ . Нехай  $B(x, y, t, u, v, s)$  неперервна функція.

**Теорема.** Нехай існують інтеграли:

$$G(u, v, t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t e^{-a^2(u^2+v^2)(t-\tau)} \tilde{\xi}(u, v, \tau) d\tau,$$

$$\tilde{\xi}(u, v, \tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \cos xu \cos yv \xi(x, y, \tau) dx dy,$$

$$u(x, y, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \cos xu \cos yv G(u, v, t) dudv.$$

Якщо існують наступні інтеграли

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} u \sin xu \cos yv G(u, v, t) dudv,$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} v \cos xu \sin yv G(u, v, t) dudv,$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} u^2 \cos xu \cos yv G(u, v, t) dudv,$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} v^2 \cos xu \cos yv G(u, v, t) dudv$$

і послідовності  $a_n$ ,  $a_n \rightarrow \infty$ ,  $b_n$ ,  $b_n \rightarrow \infty$  при  $n \rightarrow \infty$ , такі, що для довільних  $A > 0$ ,  $B > 0$  і  $T > 0$  послідовності інтегралів

$$\int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} \int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} \cos xu \cos yv G(u, v, t) dudv,$$

$$\int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} \int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} u \sin xu \cos yv G(u, v, t) dudv,$$

$$\int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} \int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} v \cos xu \sin yv G(u, v, t) dudv,$$

$$\int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} \int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} u^2 \cos xu \cos yv G(u, v, t) dudv,$$

$$\int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} \int_{-a_n - b_n}^{+a_n + b_n} v^2 \cos xu \cos yv G(u, v, t) dudv$$

збігаються рівномірно за ймовірністю для  $|x| \leq A$ ,  $|y| \leq B$ ,  $0 \leq t \leq T$ , тоді функція  $u(x, y, t)$  буде класичним розв'язком задачі (1) – (2).

В роботі досліджено властивості розв'язку даної задачі.

#### Список використаних джерел

1. Kozachenko Yu. V. On the increase rete 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.
2. Slyvka-Tylyshchak A. I. Justification of the Fourier method for equations of homogeneous string vibration with random initial conditions / A. I. Slyvka Tylyshchak // Annales Univ. Sci. Budapest., Sect. Comp. – 2012. – 38. – P.211–231.
3. Маркович Б.М. Рівняння математичної фізики. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 384 с.

# **Section 5**

**Tasks of computational  
mathematics, applied  
mechanics and  
optimization of  
computations**



UDC 519.6

**L.L. Hart**

Doctor of Physics and Mathematics, Senior Research Associate, Professor at the Department of Computational Mathematics and Mathematical Cybernetics

**N.V. Baleyko**

1st Category Engineer at the Research Laboratory for Complex Systems Optimization, Department of Computational Mathematics and Mathematical Cybernetics

**S.S. Temchenko**

Student at the Faculty of Applied Mathematics  
*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro*

### About efficiency of high-accuracy quadrature formulas

**Introduction.** In many scientific and technical tasks, the integration of functions is an important part of the mathematical modeling of areas and volumes, the values of the work done by some forces and many other tasks. Universal approach for computation of the simplest definite integral

$$I = \int_a^b f(x) dx,$$

when  $f(x)$  cannot be integrated by Newton-Leibniz formula (antiderivative cannot be written in elementary functions or values of  $f(x)$  are in table form), is application of numerical integration methods based on approximation of integrand function with interpolation polynomials of different degrees.

Each concrete quadrature formula

$$\int_a^b f(x) dx = \sum_{i=0}^n A_i f(x_i) + R_n(f)$$

is considered to be defined, if selection methods of quadrature nodes  $x_i$  ( $i = \overline{0, n}$ ) on  $[a, b]$ , weights  $A_i$  ( $i = \overline{0, n}$ ) and also error estimation method  $R_n(f)$  are set for concrete classes of functions.

**High-accuracy quadrature formulas.** In most quadrature formulas' implementations, a uniform grid of arbitrarily selected interpolation nodes is used, which determines the different degrees of interpolation polynomials used. In order not to deal with polynomials of high degrees, the integration interval is usually divided into separate sections, the simplest quadrature formulas of low order are used at each site and then the calculation results and the estimated errors are summed up.

The field of practical application of the simplest quadrature formulas, despite the small amount of computation, is limited to only small intervals, since with increasing of the intervals the error becomes significant [1], which necessitates the use of so-called compound quadrature formulas. However, statement that increasing the accuracy of calculation of integral directly related to decreasing the step  $h$  also is not

true. From practice it is known that beginning from some  $n = N$ , the computation error starts to increase again because of rounding of small numbers, that is why for elimination of excess computations, it is needed to split up interval  $[a, b]$  at partial intervals of variable lengths, which are defined by  $f(x)$  and given accuracy [2]. This leads to the problem of applying the simplest quadrature formulas with variable integration step on  $[a, b]$ , choosing a step  $h$ , ensuring the accuracy  $\varepsilon > 0$ . Known methodologies is choice of a step by theoretical estimates of errors or by indirect schemes (empirical estimates) such as double recalculation, Aitken scheme, Runge rule, etc. [1].

For integration of function  $f(x)$  with low degree of smoothness, quadrature formulas like Rectangle, Trapezoidal and Simpson are convenient in application (both simple and compound), but in practice for the class of functions of high degree of smoothness ( $f(x) \in C^k[a, b]$ ,  $k > 2$ ) the accuracy of these quadrature formulas does not increase with increasing  $k$ , i.e. there is the so-called saturation of the numerical method. For this class of functions, other quadrature formulas of the above type have been developed by structurally reforming them by fitting them  $(2n + 3)$  parameters:  $(n + 1)$  nodes  $x_i$ ,  $(n + 1)$  coefficients  $A_i$  and number  $n$ .

In this paper, high-accuracy quadrature formulas are investigated, such as the Gauss – Legendre [1], Gauss – Kronrod [3], Chebyshev [4], Clenshaw – Curtis [5], Double Exponential [6]. The software product was developed and tested on model examples.

**Conclusions.** The quadrature formulas from above was analyzed according to the degree of accuracy, laboriousness, speed of the corresponding computational algorithms, as well as the possibility of parallelizing the calculations.

### References

1. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, third ed.: 2007. 1262 p.
2. Задирака В.К. О некоторых способах повышения точности вычисления интегралов от быстроосциллирующих функций. Banach Center Publications, 1990. 24(1). P. 39-50.
3. Laurie D. Calculation of Gauss-Kronrod quadrature rules. Mathematics of Computation of the American Mathematical Society. 1997. 66 (219). P. 1133–1145.
4. Геронимус Я. Л. О квадратурной формуле Чебышева. Изв. АН СССР. Сер. матем. 1969. Т. 33. Вып. 5. С. 1182–1207.
5. Waldvogel J. Fast construction of the Fejér and Clenshaw-Curtis quadrature rules. BIT Numerical Mathematics. 2006. 46 (1). P. 195-202.
6. Mori M., Sugihara M. The double-exponential transformation in numerical analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics. 2001. № 127. P. 287–296.

УДК 519.6

<sup>1</sup> М.І. Глебена

К.ф.м.н., доцент, доцент кафедри системного аналізу і теорії оптимізації

<sup>2</sup> Г.Г. Цегелик

Д.ф.м.н., професор, професор кафедри математичного моделювання соціально-економічних процесів

<sup>1</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород<sup>2</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів

## МЕТОД МАЖОРАНТНОГО ТИПУ ВІДШУКАННЯ НУЛІВ БУДЬ-ЯКОЇ ФУНКЦІЇ НА ЗАДАНОМУ ПРОМІЖКУ

**Вступ.** В [1] побудовано апарат некласичних мажорант і діаграм Ньютона функцій однієї дійсної змінної, заданих таблично, який знайшов широке застосування для побудови нових чисельних методів розв'язування окремих класів задач алгебри, математичного аналізу та диференціальних рівнянь. Зокрема, його використано для розробки чисельних методів оптимізації як гладких, так і негладких функцій однієї та багатьох дійсних змінних (типу покоординатного підйому) [2,3].

У роботі розглянуто використання властивостей апарату некласичних мажорант і діаграм Ньютона функцій, для побудови чисельного методу відшукування нулів будь-якої неперервно диференційованої функції однієї змінної, на заданому проміжку.

Нехай на проміжку  $[a, b]$  треба відшукати всі нулі будь-якої функції  $f(x) \in C^1[a, b]$ . Оскільки нулі функції  $f(x)$  є нулями функції  $|f(x)|$  або  $-\ln(1+|f(x)|)$ , то для відшукування нулів функції  $f(x)$  будемо шукати нулі функції

$$y = -\ln(1+|f(x)|).$$

Виберемо систему точок  $x_k = x_0 + kh$ , де  $k = 0, 1, \dots, n$ ,  $x_0 = a$ ,  $h = \frac{(b-a)}{n}$ , і в площині точок  $xOy$  побудуємо точки зображення [1].

$$P_k(x_k, -\ln(1+|f(x_k)|)), \quad k = 0, 1, \dots, n.$$

Позначимо  $a_k = 1 + |f(x_k)|$ ,  $k = 0, 1, \dots, n$ . Величину  $r_k = \left(\frac{a_{k-1}}{a_k}\right)^{\frac{1}{h}}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , назвемо числовим нахилом функції  $y = -\ln(1+|f(x)|)$  у точці  $x_k$  [1].

**Алгоритм методу.** Алгоритм методу полягає в наступній послідовності кроків. Спочатку перевіряємо, чи точки  $x = a$  і  $x = b$  є нулями функції  $f(x)$ .



Після цього будемо послідовність числових нахилів  $r_1, r_2, \dots, r_n$ . Якщо для деякого індекса  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, n-1$ ):

1.  $r_k = 1$  і  $\left|f\left(\frac{1}{2}(x_{k-1} + x_k)\right)\right| < h$ , то точка  $\theta = \frac{1}{2}(x_{k-1} + x_k) \in [x_{k-1}, x_k]$  з точністю  $h$  є нулем функції  $f(x)$ .

2.  $r_k > 1$ ,  $r_{k+1} < 1$  і  $\left|f\left(\frac{1}{2}(x_{k-1} + x_{k+1})\right)\right| < h$ , то точка  $\theta = \frac{1}{2}(x_{k-1} + x_{k+1}) \in [x_{k-1}, x_{k+1}]$  з точністю  $h$  є нулем функції  $f(x)$ .

Нехай знайдено проміжок, на якому з точністю  $h$  лежить нуль функції  $f(x)$ . Тоді для відшукування цього нуля з більшою точністю поступаємо таким чином. Позначимо знайдений проміжок через  $[\alpha, \beta]$ , де  $[\alpha, \beta] = [x_{k-1}, x_k]$  у випадку  $r_k = 1$  і  $[\alpha, \beta] = [x_{k-1}, x_{k+1}]$  при  $r_k > 1$ ,  $r_{k+1} < 1$ . Виберемо на цьому проміжку чотири точки  $\alpha$ ,  $\alpha + \frac{h}{3}$ ,  $\alpha + \frac{2h}{3}$ ,  $\beta$  та  $\alpha$ ,  $\alpha + \frac{2h}{3}$ ,  $\alpha + \frac{4h}{3}$ ,  $\beta$  відповідно, перепозначимо їх через  $\tilde{x}_0$ ,  $\tilde{x}_1$ ,  $\tilde{x}_2$ ,  $\tilde{x}_3$ . Знайдемо  $\tilde{a}_k = 1 + |f(\tilde{x}_k)|$ ,

$k = 0, 1, 2, 3$ , і  $\tilde{r}_k = \left(\frac{\tilde{a}_{k-1}}{\tilde{a}_k}\right)^{\frac{1}{3}}$ ,  $k = 1, 2, 3$ . Тоді можливі такі два випадки:

1.  $\tilde{r}_2 = 1$  і  $\left|f\left(\frac{1}{2}(\tilde{x}_1 + \tilde{x}_2)\right)\right| < \frac{h}{3}$ , то точка  $\theta = \frac{1}{2}(\tilde{x}_1 + \tilde{x}_2) \in [\tilde{x}_1, \tilde{x}_2]$  з точністю  $\frac{h}{3}$  є нулем функції  $f(x)$ .

2.  $r_k > 1$ ,  $r_{k+1} < 1$  для  $k = 1$  або 2. Точка  $\theta = \frac{1}{2}(\tilde{x}_{k-1} + \tilde{x}_{k+1}) \in [\tilde{x}_{k-1}, \tilde{x}_{k+1}]$  з точністю  $\frac{h}{3}$  є нулем функції  $f(x)$ .

Аналогічно можна шукати нулі з точністю  $\frac{h}{9}$ ,  $\frac{h}{27}$ ...

**Висновки.** У роботі побудовано чисельний метод відшукування нулів будь-якої неперервно диференційованої функції однієї змінної, на заданому проміжку, який використовує властивості апарату неklasичних мажорант і діаграм Ньютона функцій, заданих таблично.

#### Список використаних джерел

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.
3. Глебена М.І. Математичні моделі та числові методи мажорантного типу для аналізу дискретних оптимізаційних процесів: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. фіз.-мат. наук спец. 01.05.02 „Математичне моделювання та обчислювальні методи” / М.І Глебена. – Івано-Франківськ, 2012. – 23с.

УДК 519+378

<sup>1</sup> А.М. Гупал

Д.ф.-м.н., чл.-к., професор, зав. відділом

<sup>2</sup> О.В. Островський

К.ф.-м.н., н.с.

<sup>3</sup> В.Б. Распопов

К.ф.-м.н., доцент, директор

<sup>1,2</sup> Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ<sup>3</sup> Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України, Київ

## ПРАКТИЧНЕ ОПАНУВАННЯ МЕТОДАМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ В НАВЧАЛЬНОМУ КУРСІ «БІОІНФОРМАТИКА»

**Вступ.** Біоінформатика досліджує комп'ютерними і математичними методами великі емпіричні масиви інформації (Big Data: Code of DNA, Code of Protein). Очікується, що результати досліджень з біоінформатики матимуть неабі як *теоретичне значення* для розуміння природи еволюції життя на Землі, а також *використовуватимуться на практиці* в генній інженерії рослин і тварин, в медицині - для лікування генетичних хвороб людини тощо.

**Навчальна програма**, за якою в Науково-навчальному центрі прикладної інформатики НАН України (<http://www.nucpi.nas.gov.ua>) навчатимуться магістри і аспіранти КАУ, підвищуватимуть кваліфікацію науковці установ і організацій Національної академії наук України, представлена в табл. 1.

Таблиця 1 – Навчально-тематичний план занять з курсу «Біоінформатика»

№ п/п	Тема заняття	Кількість годин	
		Лекція	Практика
1	Оглядова лекція «Моделі і методи комп'ютерної математики» в сучасній біоінформатиці.	4	-
2	Мова програмування Python – зручний інструмент для комп'ютерного аналізу коду ДНК і білків. Синтаксис і симантика мови програмування Python.	2	4
3	Сайт <a href="http://rosalind.info/">http://rosalind.info/</a> – навчальна інтернет-платформа для тестування і підготовки юних дослідників-програмістів з біоінформатики.	4	8
4	Алгоритми на рядках у біоінформатиці. Поняття мотивів. Приклади розв'язання типових задач.	2	4
5	Алгоритми на графах у біоінформатиці. Задача секвенування геному. Приклади розв'язання типових задач з сайту Rosalind на мові Python.	2	4
6	Метод динамічного програмування у біоінформатиці. Вирівнювання послідовностей. Приклади розв'язання типових задач з сайту Rosalind на мові Python.	2	4

7	Обчислювальна філогенетика. Приклади розв'язання типових задач з сайту Rosalind на мові Python.	2	4
8	Загальнодоступні геномні БД ДНК та Бібліотеки методів їх аналізу. Приклад завантаження з інтернет коду ДНК та програмних методів для його аналізу.	2	4
9	Загальнодоступні геномні БД білків та Бібліотеки методів їх аналізу. Приклад завантаження з інтернет коду білка та програмних методів для його аналізу.	2	4
10	Приховані марковські моделі в задачах пошуку і встановлення структури кодону. Алгоритм Вітербі.	6	-
11	Програмний комплекс для структурного розпізнавання у біоінформації.	2	4
12	Огляд англomовних навчальних джерел для подальшої самоосвіти юних ( <a href="https://bioinf.me/en/contest">https://bioinf.me/en/contest</a> та інше).	2	-
Всього – 72 год., в тому числі:		32	40

Особливість цього навчального курсу полягає в тому, що його зміст максимально наближений до сучасного рівня наукових досліджень, спирається на нещодавно опубліковані наукові монографії і наукові статті з комп'ютерної математики. Три основні джерела і три складові частини навчального курсу: (1) наукова монографія [1] - в ній йдеться про застосування в біоінформації статистичних методів, по суті, методів індуктивної математики; (2) популярний англomовний навчальний сайт олімпіадних задач з прикладного програмування в біоінформації <http://rosalind.info> [2], корисний студентам дослідницьких вишів; (3) завершене дисертаційне дослідження [3] - як приклад з застосування комп'ютерної математики, марківських моделей для пошуку генів в ДНК.

**Висновки.** Програма навчального курсу [4] дозволить юним, студентам і аспірантам дослідницьких вишів, *Київського академічного університету* (<http://kau.org.ua>) швидко заглибитись в актуальну наукову проблематику, щоб долучитися до сучасного рівня наукових досліджень з біоінформації.

#### Список використаних джерел

1. Гупал А.М., Сергиенко И.В. Симметрия в ДНК. Методы распознавания дискретных последовательностей. – Киев: Наукова думка, 2016. – 227 с.
2. Rosalind, a platform for learning bioinformatics through problem solving. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rosalind.info/about/>
3. Островський О.В. Методи розпізнавання на основі моделей Маркова з прихованими змінними: Автореферат дисертації. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.calameo.com/read/003168372732fe42fc183>
4. Гупал А.М., Островський О.В., Распопов В.Б. Навчальний курс для магістрів, аспірантів і науковців «Біоінформатика». – 3б.: «Розробка моделей та методів аналізу складних систем засобами комп'ютерної математики» / Під ред. доцента Распопова В.Б. // Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. – Київ: НУЦПІ НАНУ, 2016.– 122 с. – С.: 15-21. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.calameo.com/read/003168372fc8fe652df02>

УДК 378.14

**Н.А. Доценко**

канд.техн.наук, доцент, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін,  
Миколаївський національний аграрний університет, м.Миколаїв

## ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНІХ АГРОІНЖЕНЕРІВ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Професійна діяльність відкриває широкі можливості для творчого пошуку агроінженерів, розвитку їх творчих здібностей. Така діяльність є співробітництвом викладача і здобувача вищої освіти у здобуванні знань і засвоєнні способів діяльності, формуванні продуктів власної професійної діяльності та апробації їх. Професійна готовність знаходиться у єдності з направленістю на професійну діяльність та стійкими установками на працю. Формування особистісної готовності потребує спеціально розробленої програми з застосуванням практичних вправ, націлених на вдосконалення готовності майбутнього спеціаліста. Академічний тлумачний словник української мови визначає критерій як «підставу для оцінки, визначення або класифікації чогось; мірило» [1]. Головний критерій набуття професійних знань – системність знань і системність мислення, які проявляються в тому, що здобувач вищої освіти здатний самостійно відновлювати відсутні ланки в системі знань за допомогою логічних міркувань [2]. Під критерієм готовності майбутнього агроінженера до професійної діяльності будемо розуміти відповідність знань, умінь, навичок майбутніх агроінженерів та здатність виконувати професійну діяльність. Розглянемо детальніше кожен з критеріїв.

*Планово-мотиваційний критерій* пов'язаний із формуванням позитивних навчальних мотивів і особистих якостей майбутнього агроінженера до здійснення професійної діяльності [3].

*Когнітивно-конструктивний критерій* відноситься до пізнання та відтворення знань у професійній діяльності, удосконалення змісту освіти, поєднання навчання в умовах інформаційно-освітнього середовища з практичним інженерним досвідом. В процесі професійної діяльності майбутнім агроінженерам потрібно не лише передавати знання, а й формувати вміння і навички їх застосування. Формування готовності майбутніх агроінженерів до професійної діяльності має на меті сформувати таку систему знань і забезпечити їх застосування в заздалегідь передбачених межах, тобто в межах майбутньої професійної діяльності.

Операційна готовність майбутнього агроінженера до професійної діяльності проявляється через *рефлексивно-оцінювальний критерій*, який забезпечує уміння визначати найбільш ефективні прийоми і способи впровадження інновацій, майстерне володіння впроваджуваними технологіями, методиками тощо.

*Дослідницько-творчий критерій* передбачає застосування спеціальних прийомів, методів стимуляції, активізації творчої діяльності слід вважати

перспективним для досягнення цієї мети, що є достатньо розповсюдженими в організації творчості науковців, винахідників, раціоналізаторів.

Критерії готовності пояснюють набір знань, вмінь, навичок, якими володіє майбутній агроінженер в процесі професійної діяльності. Готовність майбутнього агроінженера до професійної діяльності зумовлена індивідуальними особливостями, потребами майбутнього агроінженера, що сприяє більш високій продуктивності його професійної діяльності, дозволяє використовувати в процесі професійної діяльності нестандартні шляхи та методи, створювати в результаті порівняно новий продукт розумової діяльності.

#### **Список використаних джерел**

1. Тлумачний словник української мови [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.classes.ru/all-ukrainian/dictionary-ukrainian-explanatory-term-94407.html>
2. Акимов С.С. Готовность бакалавров технологического образования к научно-исследовательской деятельности / С. С. Акимов // Информационные технологии в образовании : VIII открытая научно-практическая конференция студентов и аспирантов. – Москва : Издательство СПбГУИТМО, 2005. – С. 85.
3. Бацуровська І. В. Сутність показників, критеріїв та рівнів готовності магістрів до освітньо-наукової діяльності в умовах масових відкритих дистанційних курсів / І. В. Бацуровська // Актуальні проблеми державного управління, педагогіки та психології: збірник наукових праць Херсонського національного технічного університету. – Вип. 1 (12). – Херсон : Грін Д. С., 2015. – Т. 2. – С. 11–15.

УДК 004.85

<sup>1</sup> **В. М. Коцовський**

к. т. н., доцент

<sup>2</sup> **І. І. Микоряк**

аспірант

<sup>3</sup> **М. В. Юрченко**

аспірант

<sup>1-3</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород

## СПЕКТРАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ НАВЧАННЯ ПОЛІНОМІАЛЬНИХ ПОРОГОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

**Вступ.** Нейромережі на базі поліноміальних нейронних елементів (ПНЕ) використовуються для розв'язування задач класифікації об'єктів, розпізнавання образів, стиску інформації, наближення функцій, прогнозування та прийняття рішень [1]. Одним із основних напрямків досліджень у межах конекціоністського підходу до штучного інтелекту є розробка та аналіз алгоритмів навчання нейромереж.

Нехай  $E_2 = \{-1, 1\}$ ,  $E_2^n = E_2 \times \dots \times E_2$ . Функції вигляду  $f: E_2^n \rightarrow E_2$  будемо називати булевими функціями (БФ) у біполярному алфавіті  $E_2$ . Визначимо мономи  $P_j: E_2^n \rightarrow E_2$  наступним чином:  $P_j(\mathbf{a}) = a_1^{j_1} \cdot \dots \cdot a_n^{j_n}$ , де  $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n) \in E_2^n$ ,  $j = j_1 \cdot 2^{n-1} + j_2 \cdot 2^{n-2} + \dots + j_{n-1} \cdot 2^1 + j_n$  ( $j_i \in \{0, 1\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ).

Нехай  $\Pi = \{P_1, \dots, P_m\}$  — деяка система поліномів, побудованих із змінних  $x_1, \dots, x_n$ ,  $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_m) \in \mathbb{R}^m$ . Якщо для БФ  $f: E_2^n \rightarrow E_2$  виконується умова

$$\text{для всіх } \mathbf{a} \in E_2^n \quad f(\mathbf{a}) = \operatorname{sgn} \sum_{j=1}^m w_j P_j(\mathbf{a}), \quad (1)$$

то кажуть, що відносно системи поліномів  $\Pi$  функція  $f(\mathbf{x})$  реалізується на ПНЕ з ваговим вектором  $\mathbf{w}$ . Без втрати загальності міркувань надалі будемо вважати, що усі поліноми системи  $\Pi$  є мономами. Якщо для  $f(\mathbf{x})$  знайдеться ваговий вектор  $\mathbf{w}$ , для якого виконується умова (1), то функцію  $f(\mathbf{x})$  назвемо  $\Pi$ -пороговою БФ. При цьому для вагового вектора  $\mathbf{w}$  має виконуватися умова: для всіх  $\mathbf{a} \in E_2^n$  скалярний добуток  $(\mathbf{w}, P(\mathbf{a}))$  відмінний від нуля, де  $(\mathbf{w}, P(\mathbf{a})) = w_1 P_1(\mathbf{a}) + \dots + w_m P_m(\mathbf{a})$ . Такі вагові вектори будемо називати  $\Pi$ -допустимими.

Під навчанням ПНЕ реалізовувати  $\Pi$ -порогову булеву функцію  $f(\mathbf{x})$  будемо розуміти процес побудови скінченної послідовності  $\Pi$ -допустимих вагових векторів

$$\mathbf{w}^0, \mathbf{w}^1, \dots, \mathbf{w}^t, \quad (2)$$

такої, що функція  $f(\mathbf{x})$  реалізується на ПНЕ з ваговим вектором  $\mathbf{w}^t$ .

Визначимо характеристичний (спектральний) вектор  $\mathbf{s}_\Pi(f) = (s_1, \dots, s_m)$  функції  $f(\mathbf{x})$  відносно системи  $\Pi$  наступним чином [2]:

$$s_j = \sum_{\mathbf{a} \in E_2^m} P_j(\mathbf{a}) f(\mathbf{a}), \quad j = \overline{1, m}.$$

У процесі навчання ми будемо використовувати правило вигляду

$$\mathbf{w}^{k+1} = \mathbf{w}^k + t_k \frac{(\mathbf{w}^k, \mathbf{s}_\Pi(f^k)) - \mathbf{s}_\Pi(f)}{\|\mathbf{s}_\Pi(f) - \mathbf{s}_\Pi(f^k)\|^2} (\mathbf{s}_\Pi(f) - \mathbf{s}_\Pi(f^k)), \quad (3)$$

де  $t_k$  — нормуючий множник приросту.

**Твердження 1.** Якщо БФ  $f$  —  $\Pi$ -порогова, послідовність (2)  $\Pi$ -допустимих вагових векторів  $\{\mathbf{w}^k\}$  будується з використанням корекцій вигляду (3) і нормуючий множник приросту має вигляд

$$t_k = \sigma_k + \frac{\tau_k}{(\mathbf{w}^k, \mathbf{s}_\Pi(f^k)) - \mathbf{s}_\Pi(f)},$$

де  $0 \leq \sigma_k \leq 2$  і  $0 < C \leq \sigma_k \leq D$  для деяких сталих  $C$  та  $D$ , ( $k = 0, 1, \dots$ ), то навчання успішно завершується після скінченної кількості кроків.

Схема доведення, результати комп'ютерного моделювання алгоритму навчання та їх аналіз наведені в [2].

**Висновки.** У роботі розглянуто алгоритм offline навчання ПНЕ, заснований на використанні спектральних коефіцієнтів булевих функцій. Наведено умови, дотримання яких гарантує скінченність та результативність процесу навчання. Тим самим підтверджено припущення роботи [3] про покращення ефективності алгоритму навчання за рахунок використання більш широкого діапазону значень нормуючих множників приростів.

#### Список використаних джерел

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. — М.: Вильямс-Телеком, 2006. — 1104 с.
2. Kotsovsky V., Geche F., Batyuk A. Finite Generalization of the Offline Spectral Learning. Proceedings of the 2018 IEEE 2<sup>nd</sup> International Conference on Data Stream Mining & Processing, DSMP 2018. — 21-25 August 2018, Lviv, Ukraine. — pp. 356-360.
3. Hampson S., Kibler D. Minimum Generalization via Reflection: A Fast Linear Threshold Learner. Machine Learning. — 1999. — 37(1). — P. 51-73.

УДК 519.6

<sup>1</sup> А.П. Олійник

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики Івано-Франківського національного технічного університету нафти й газу

<sup>2</sup> Б.С. Незамай

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики Івано-Франківського національного технічного університету й газу

<sup>1,2</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

## ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

### Вступ.

При прогнозуванні розвитку взаємопов'язаних економік виникає питання – чи можуть економіки з відносно невисоким рівнем розвитку не зазнавати значних економічних втрат в період, коли передові економіки світу зазнають втрат в наслідок економічної кризи. Іншим цікавим аспектом аналізу є взаємозв'язок кількості економічно активного населення та вплив його діяльності на стан довкілля, в тому числі і при настанні позаштатних ситуацій.

### Основна частина

Задача зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь виду:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = A_1 x_1 (A_2 - x_1) - A_3 x_1 x_2 + A_4 x_1 x_3 \\ \frac{dx_2}{dt} = A_5 x_2 (A_6 - x_2) - A_7 x_1 x_2 + A_8 x_1 x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = A_9 x_3 (A_{10} - x_3) + A_{11} x_1 x_3 + A_4 x_1 x_2 \end{cases}, \quad (1)$$

де  $x_1$  та  $x_2$  – економічно сильні країни,  $x_3$  – країна з низьким рівнем економіки з відповідними початковими умовами  $x_1(0) = x_{10}$ ;  $x_2(0) = x_{20}$ ;  $x_3(0) = x_{30}$ . Коефіцієнти  $A_i$  можуть бути функціями часу  $A_i = A_i(t)$ .

Інша модель пов'язана з системою, що описується трьома диференціальними рівняннями відносно функцій:  $x(t)$  - кількість населення в регіоні;  $y(t)$  - рівень забруднення та інших нешкідливих впливів на довкілля, обумовлених діяльністю населення;  $z(t)$  - рівень стану флори регіону (дерева, с/г продукція, ліси, сади, тощо.), при цьому система рівнянь набуває вигляду:



$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax - By + Cz \\ \frac{dy}{dt} = Dx - Ez \\ \frac{dz}{dt} = Hx - Gy + Fz \end{cases} \quad (2)$$

Для коректної постановки задачі моделювання необхідно задати початкові умови:

$$\begin{cases} X(0) = X_0 \\ Y(0) = Y_0 \\ Z(0) = Z_0 \end{cases} \quad (3)$$

Наступна модель описує ситуацію, для опису якої введено функції  $x(t)$ ;  $y(t)$ ;  $z(t)$ , які мають зміст:  $x(t)$  – затрати на впровадження нових стандартів технічної діагностики та контролю;  $y(t)$  – затрати на ліквідацію наслідків аварійних ситуацій;  $z(t)$  – ефективність роботи елемента газотранспортної системи. При побудові математичної моделі записується система диференціальних рівнянь, яка описує яким чином змінюються відповідні змінні за одиницю часу в допущенні про характер взаємозв'язку між величинами. В результаті одержується система звичайних диференціальних рівнянь, що зв'язує змінні  $x(t)$ ;  $y(t)$ ;  $z(t)$ :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = K_1x(A-x) - K_2y + K_3z \\ \frac{dy}{dt} = K_4x(A-x) + K_5(B-y)y + K_6z \\ \frac{dz}{dt} = K_7x - K_8y \end{cases} \quad (4)$$

з відповідними початковими умовами.

### Висновки.

Системи типу (1) – (4) є певним розширенням відомої моделі типу “хижак – жертва”, запропонованої Лотткою та Вольтерра в 1925 році [1, 2]. Введення нелінійних складових в системи (1) та (4) дозволяє одержати розв'язки, які точніше відображають суть модельованих явищ та процесів. При реалізації вказаних моделей використовувався наступний підхід: на першому кроці всі вказані моделі вибирались лінійними, проводились відповідні розрахунки та аналіз одержаних результатів. При отриманні модельних розв'язків, які відповідають певним економічним вимогам та екологічним стандартам формулюються рекомендації стосовно оптимізації досліджуваних систем за необхідними критеріями, які відповідають за стійку роботу відповідних систем із виконанням покладених на них функцій.

### Список використаних джерел

1. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 288с.

УДК 004.338

<sup>1</sup>**М.М. Повідайчик**

к.е.н., доцент, декан математичного факультету

<sup>2</sup>**Д.С. Олашин**

аспірант кафедри кібернетики і прикладної математики

<sup>1,2</sup>*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород*

## ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ЗАКЛАДАМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН

**Вступ.** Сучасні цифрові технології набувають широкого використання навіть у галузях, які є дотичними до «рідних» сфер їхнього застосування. Прикладом такої технології є блокчейн (англ. Block chain) – розподілена база даних, що зберігає впорядкований ланцюжок записів. Основні концепції системи блокчейн були описані в 2008 р. для створення відомої криптовалюти Bitcoin. Зважаючи на певні переваги додатків, які базуються на технології блокчейн (безпечне збереження даних, децентралізація), вивчаються можливості її застосування в економіці, юриспруденції та ін.

**Викладення основного матеріалу.** Розглянемо можливості використання технології блокчейн у освітньому та науковому процесі. Одним із таких підходів є використання блокчейн як недорогого і надійного децентралізованого реєстру для зберігання результатів навчання студента. Проте цим технологія блокчейн не вичерпується, її можна розглядати як основу нової педагогіки, при якій навчання налаштовується під окремого студента, враховуючи його можливості та особливості.

У [1] розглядаються можливості створення смарт-контрактів на основі технології блокчейн. Тобто, диплом, який є достовірним підтвердженням здібностей студента, є смарт-контрактом, що виконується автоматично при виконанні необхідних умов. Цілі, досягнуті в процесі навчання, подаються у вигляді надійного і повного звіту про діяльність студента, яким можна в будь-який момент поділитися, що дозволяє роботодавцям легко знаходити співробітників і партнерів з необхідними навичками. При цьому викладачі можуть отримувати грошові нарахування за розробку навчальних матеріалів.

У Массачусетському технологічному інституті було випущено програму Blockcerts з відкритим кодом, яка реалізує можливості обліку та видачі сертифікатів, які надаються роботодавцям. Це дозволяє захистити та підтвердити дійсність сертифікату, а також підтвердити репутацію освітнього закладу.

**Висновки.** Впровадження технології блокчейн у вітчизняну систему освіти дозволить ЗВО впроваджувати нові педагогічні технології, студентам підтверджувати свої знання, а роботодавцям знаходити висококваліфікованих фахівців.

### Список використаних джерел

1. Blair B. Use Cases for Blockchain for Higher Ed [Електронний ресурс]. – URL: [https://medium.com/@benblair\\_34530/4-use-cases-for-blockchain-for-higher-ed-afeee2fc9b49](https://medium.com/@benblair_34530/4-use-cases-for-blockchain-for-higher-ed-afeee2fc9b49)

УДК 519.7

**О.Д. Поліщук**

канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр.

*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача  
НАН України, м. Львів*

## **ПРО ЗБІЖНІСТЬ ПРОЕКЦІЙНИХ МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ФРЕДГОЛЬМА ПЕРШОГО РОДУ У ВИПАДКУ РОЗІМКНЕНИХ ГРАНИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ**

**Вступ.** Чимало фізичних процесів (дифузія, тепловий потік, електростатичне поле, течія ідеальної рідини, пружні рухи твердого тіла, течія ґрунтових вод тощо) моделюються граничними задачами для рівняння Лапласа [1]. Методи теорії потенціалу є потужним інструментом розв'язання таких задач, особливо у випадку розіmkнених граничних поверхонь або поверхонь складної форми [2]. Ці методи є зручним засобом розрахунку шуканого розв'язку у невеликих областях. У низці випадків застосування методів теорії потенціалу призводить до необхідності розв'язання інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду [3]. Чимало систем інтегральних рівнянь для потенціалів простого та подвійного шару, еквівалентних змішаним граничним задачам для рівняння Лапласа, також містять інтегральні рівняння першого роду [4].

**Збіжність проекційних методів розв'язання інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду.** Загалом дослідження збіжності проекційних методів розв'язання інтегральних рівнянь зосереджені на рівняннях другого роду [5]. Визначення умов коректної розв'язності інтегральних рівнянь першого роду, еквівалентних граничним задачам для рівняння Лапласа, у гільбертових просторах дозволяють використовувати для чисельного розв'язання таких рівнянь проекційні методи, уникаючи застосування ресурсовитратних регуляризаційних процедур [6]. У праці [7] було визначено умови збіжності низки проекційних методів розв'язання інтегрального рівняння Фредгольма першого роду для потенціалу простого шару, еквівалентного тривимірній задачі Діріхле для рівняння Лапласа, при апроксимації шуканої густини потенціалу повними системами ортонормованих функцій. Однак, якщо гранична поверхня має складну форму або є розіmkненою, використання цих апроксимацій викликає значні труднощі під час практичної реалізації числових методів. У цьому випадку для апроксимації шуканих густин потенціалів доцільно використовувати кінцеві елементи різних типів [8]. Такі апроксимації дозволяють, окрім того, будувати ефективні алгоритми виділення особливостей у ядрах та шуканих густинах інтегральних рівнянь [9].

У праці [10] були визначені умови збіжності проекційних методів наближеного розв'язання інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду на прикладі інтегрального рівняння для потенціалу простого шару, еквівалентного задачі Діріхле для рівняння Лапласа, при апроксимаціях шуканої густини потенціалу системами кінцевих елементів різних типів та порядків у випадку замкнених

граничних поверхонь. У цій роботі ми визначаємо умови та оцінки збіжності методів Гальоркіна та колокації розв'язання таких рівнянь у випадку розімкненої граничної поверхні у тривимірному просторі. Для апроксимації густини потенціалу використовуються В-сплайни та лагранжеві кінцеві елементи різних порядків на прямокутних сітках, побудованих у області визначення шуканої функції. Також отримані оцінки похибки наближеного розв'язку задачі Діріхле для рівняння Лапласа, еквівалентної інтегральному рівнянню Фредгольма першого роду для потенціалу простого шару.

**Висновки.** Запропонований підхід може бути використаний для визначення збіжності інших проекційних методів розв'язання інтегральних рівнянь теорії потенціалу, еквівалентних граничним задачам для рівнянь математичної фізики (найменших квадратів, найменшої нев'язки тощо) та інших типів кінцевих елементів різних порядків, побудованих як на прямокутних, так і на трикутних сітках у області визначення шуканої густини потенціалу.

#### Список використаних джерел

1. Hromadka II T. V., Lay C. The complex variable boundary elements method in engineering analysis. – Berlin: Springer-Verlag, 1987.
2. Hsiao G. C., Wendland W. L. Boundary integral equations. – Berlin: Springer, 2008.
3. Nedelec J. C., Planchard J. Une methode variationnelle d'elements finis pour la resolution numerique d'un probleme exterieur dans  $R^3$  // R.A.I.R.O. –1973. – Vol. R3 (7). – P. 105-129.
4. Li Z. C., Huang J., Huang H. T. Stability analysis of method of fundamental solutions for mixed boundary value problems of Laplace's equation // Computing. – 2010. – Vol. 88. – P. 1-29.
5. Hackbusch W. (Ed.). Integral equations: theory and numerical treatment (Vol. 120). – Berlin: Birkhäuser, 2012.
6. Nair M. T., Pereverzev S. V. Regularized collocation method for Fredholm integral equations of the first kind // Journal of Complexity. – 2007. – Vol. 23 (4). – P. 454-467.
7. Polishchuk A. D. About convergence the methods of projections for solution potential theory integral equation // Preprint, Computer centre of Siberian Division of AS of the USSR. – 1988. – No. 776.
8. Maleknejad K., Derili H. Numerical solution of integral equations by using combination of Spline-collocation method and Lagrange interpolation // Applied Mathematics and Computation. – 2006. – Vol. 175 (2). – P. 1235-1244.
9. Polishchuk O. Numerical solution of boundary value problems for the Laplacian in  $R^3$  in case of complex boundary surface // Computational and Applied Mathematics Journal. – 2015. – Vol. 1 (2). – P. 29-35.
10. Polishchuk O. Finite element approximations in projection methods for solution of some Fredholm integral equation of the first kind // Mathematical modeling and computing. – 2018. – Vol. 5 (1). – P. 74-87.

УДК 519.1

**М.Ф. Семенюта**

к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедри фізико-математичних дисциплін  
 Льотна академія Національного авіаційного університету, м. Кропивницький

## НЕПОВНІ ВРІВНОВАЖЕНІ СИСТЕМИ, МЕТОДИ ПОБУДОВИ

Перші типи розміток графів з'явилися в 60-х роках минулого століття. Поняття розмітки є більш широким ніж розфарбування і має дві важливі відмінності. По-перше при розмітці використовується ін'єктивна (або бієктивна) функція, яка ставить у відповідність різним елементам графа різні числа, а звичайні обмеження кольору замінюються співвідношеннями між мітками. Це призводить до другої відмінності, яка полягає в тому, що обмеження включають арифметичні обчислення з чисельними значеннями міток. Докладний огляд публікацій з теорії розміток можна знайти в [1].

Нехай  $G=(V, E)$  – звичайний граф порядку  $n$ . Вагою вершини  $u \in V$  при вершинній розмітці  $f$  вважають число  $w(u) = \sum_{v \in N(u)} f(v)$ , де  $N(u) \subset V$  – відкрита множина суміжності вершини  $u$ . Всі вершини з  $N(u)$  назвемо опонентами  $u$ .  $G$  називають  $d$ -гандикап графом, якщо існує бієкція  $f: V \rightarrow \{1, 2, \dots, n\}$ , для якої  $f(u_i) = i$ , де  $u_i \in V, i = 1, 2, \dots, n$  і послідовність ваг  $w(u_1), w(u_2), \dots, w(u_n)$  утворює зростаючу арифметичну прогресію з різницею  $d$ , де  $d \geq 0$  [2]. Функція  $f$  є врівноваженою (гандикап) дистанційною  $d$ -антимагічною розміткою графа  $G$ . Розглянемо  $n$ -елементну систему  $\Omega$ , математичною моделлю якої є повний граф  $K_n$ . Між елементами  $\Omega$ , а отже вершинами графа  $K_n$ , та множиною  $\{1, 2, \dots, n\}$  існує взаємно однозначна відповідність. Під силою вершини  $u$  вважатимемо число  $w(u)$ , а в якості загальної сили її опонентів приймемо число  $S_{n,n-1}(u) = n(n+1)/2 - w(u)$ . Таку систему  $\Omega$  назвемо повною. Треба побудувати  $d$ -врівноважену неповну  $n$ -елементну систему  $\Phi$ , якій відповідає  $r$ -регулярний  $d$ -гандикап граф  $G$ . Крім того, система  $\Phi$  повинна задовольняти наступним властивостям: кожен елемент  $\Phi$  має  $r$  опонентів; допускається ранжування елементів в діапазоні від 1 до  $n$ , складність системи  $\Phi$  визначається тим, що вона моделює певну поведінку повної системи; існує розбиття елементів системи  $\Phi$  (вершин графа  $G$ ) на  $r$  підмножин  $F_k$  таким чином, що  $F_k \in 1$ -фактом, а  $\bigcup_{k=1}^r F_k$  – 1-факторизацію графа  $G$ . В даній роботі запропоновано новий алгоритм побудови неповної  $d$ -врівноваженої  $n$ -елементної системи для випадку, коли  $n \equiv 0 \pmod{8}$ ,  $r \equiv 1, 3 \pmod{4}$  і  $3 \leq r \leq n-5$ .

### Список використаних джерел

- Gallian J. A. A dynamic survey of graph labeling. The Electronic Journal of Combinatorics, 2017. DS6: Dec 22. 432 p.
- Froncek D. Handicap distance antimagic graphs and incomplete tournaments. AKCE International Journal of Graphs and Combinatorics, 2013. Vol. 10, No2. P. 119-127.

УДК 519.85

<sup>1</sup> В.О. Стовба

Аспірант

<sup>2</sup> О.О. Жмуд

Аспірант

<sup>1,2</sup> Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ

## СУБГРАДІЄНТНИЙ МЕТОД ПОЛЯКА У ПЕРЕТВОРЕНОМУ ПРОСТОРІ ЗМІННИХ

**Вступ.** У роботі розглядається субградієнтний метод Поляка в перетвореному просторі змінних [1,2], який можна використати для знаходження точки  $x_\varepsilon^* \in R^n$  такої, що  $f(x_\varepsilon^*) \leq f^* + \varepsilon$ , де  $f(x), x \in R^n$  – опукла функція,  $f^* = f(x^*)$ ,  $g_f(x)$  – її субградієнт, який задовольняє умову  $(x - x^*, g_f(x)) \geq m(f(x) - f^*)$ ,  $\forall x \in R^n$ , де  $m \geq 1$  – скалярний параметр, який дозволяє взяти до уваги спеціальні класи опуклих функцій; наприклад, для кусково-лінійних негладких функцій  $m = 1$ , для квадратичних гладких –  $m = 2$ .

**Алгоритм знаходження**  $x_\varepsilon^*$  має такий вигляд.

*Ініціалізація.* Маємо  $f^*$  та  $m \geq 1$ . Виберемо початкову точку  $x_0 \in R^n$ , невідроджену  $n \times n$ -матрицю  $B$  та величину  $\varepsilon > 0$ . Перейдемо до наступної ітерації з величиною  $x_0$ .

Нехай точка  $x_k \in R^n$  була знайдена на  $k$ -й ітерації. Щоб перейти до наступної,  $k + 1$ -ї ітерації, виконаємо такі дії.

A1. Обчислимо  $f(x_k)$  та  $g_f(x_k)$ . Якщо  $f(x_k) - f^* \leq \varepsilon$ , тоді STOP ( $k^* = k, x_\varepsilon^* = x_k$ ).

A2. Обчислимо наступну точку

$$x_{k+1} = x_k - h_k \frac{B^T g_f(x_k)}{\|B^T g_f(x_k)\|}, \quad h_k = \frac{m(f(x_k) - f^*)}{\|B^T g_f(x_k)\|}. \quad (1)$$

A3. Перейдемо до  $k + 1$ -ї ітерації з величиною  $x_{k+1}$ .

Тут  $h_k$  є кроком Поляка (Агмона-Моцкіна-Шонберга) в перетвореному просторі змінних  $y = Ax, A = B^{-1}$ .

**Теорема.** Послідовність  $\{x_k\}_{k=0}^{k^*-1}$ , породжена алгоритмом (1), задовольняє такі нерівності

$$\|A(x_{k+1} - x^*)\|^2 \leq \|A(x_k - x^*)\|^2 - \frac{m^2(f(x_k) - f^*)^2}{\|B^T g_f(x_k)\|^2}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Теорема гарантує, що в субградієнтному методі з кроком Поляка в перетвореному просторі змінних відстань до точки мінімуму зменшується монотонно в перетвореному просторі. Крім того, задовольняються нерівності

$$(x^* - x_{k+1}, -g_{\varphi}(x_k)) \geq 0, \quad k = 0, 1, \dots \quad (3)$$

які означають, що для опуклої функції  $\varphi(x)$ , яка задовольняє умову  $(y - y^*, g_{\varphi}(y)) \geq m(\varphi(y) - \varphi^*)$ ,  $\forall y \in R^n$ , крок  $h_k$  визначає величину максимального переміщення в напрямку нормалізованого антисубградієнту. Цим гарантується, що кут між антисубградієнтом і напрямком від точки  $y_{k+1}$  до точки мінімуму  $y^*$  не буде тупим у перетвореному просторі змінних.

У випадку, коли матриця  $B = I$ , де  $I$  – одинична матриця, описаний метод збігається з субградієнтним методом Поляка [3], який має такий вигляд:

$$x_{k+1} = x_k - h_k \frac{g_f(x_k)}{\|g_f(x_k)\|}, \quad h_k = \frac{m(f(x_k) - f^*)}{\|g_f(x_k)\|}. \quad (4)$$

**Таблиця 1 – Кількість ітерацій субградієнтного методу Поляка у перетвореному просторі змінних для мінімізації функції  $f(x_1, x_2) =$**

$$= \max\{x_1^2 + (2x_2 - 2)^2 - 3, x_1^2 + (x_2 + 1)^2\}, \quad m = 1, \quad f^* = 1, \quad x_0 = (1, 1)^T, \quad B = \text{diag}(1; 1/\alpha)$$

$\varepsilon_f$	$\alpha = 1$	$\alpha = 1.5$	$\alpha = 2$	$\alpha = 3$	$\alpha = 4$	$\alpha = 5$
1.0e-01	16	4	4	5	7	8
1.0e-02	162	37	4	6	7	9
1.0e-03	1604	679	5	6	8	9
1.0e-04	16004	7079	5	6	9	46
1.0e-05	–	71079	6	8	8061	6206
1.0e-06	–	–	6	–	98061	63806

З таблиці бачимо, що вже при значенні коефіцієнту розтягу простору  $\alpha = 2$  методу необхідно виконати суттєво меншу кількість ітерацій для досягнення тієї ж точності, ніж у випадку  $\alpha = 1$ , при якому метод збігається з субградієнтним методом Поляка у вихідному просторі змінних.

**Висновки.** Субградієнтний метод з кроком Поляка в перетвореному просторі змінних можна значно прискорити у порівнянні з цим же методом у вихідному просторі змінних за допомогою використання операції розтягу простору так, щоб зменшити ступінь яружності функції, що мінімізується.

#### Список використаних джерел

1. Стецюк П.И. Ускорение субградиентного метода Поляка. Теория оптимальных решений. Ин-т кибернетики імені В.М. Глушкова НАН України. 2012. №11. С. 151 – 60.
2. Stetsyuk P., Stovba V., Chernousova Z. Subgradient Method with Polyak's Step in Transformed Space. Optimization and Applications. OPTIMA 2018. Communications in Computer and Information Science. 2019. Vol. 974. Springer. P. 49-63.
3. Поляк Б.Т. Минимизация негладких функционалов. Журнал вычислительной математики и математической физики. 1969. 9, № 3. С. 509–521.

УДК 519.681.5

**М.С. Яджак**

Доктор фіз.-мат. наук, старший наук. співробітник, завідувач лабораторією  
*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача*  
*НАН України, Львів*

*Львівський національний університет ім. І. Франка, Львів*

## ПАРАЛЕЛЬНИЙ МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ НА КЛАСТЕРАХ

**Вступ.** Для опису багатьох складних систем досить важко або й неможливо побудувати адекватні математичні моделі. Зазвичай у цьому випадку використовують набори характеристик [1], які визначають особливості елементів системи, її підсистем або самої системи. Прикладами таких складних систем є транспортні системи, системи газо-, водо- і енергозабезпечення міста або регіону, системи зв'язку, торгівельні мережі тощо. Оцінювання стану та якості функціонування [2] згаданих систем передбачає використання великих масивів вхідних даних [3] різних типів: числових, текстових, звукових, графічних, відеоданих тощо. Унаслідок використання новітніх засобів відбору та комунікаційних технологій ці дані поступають з високою швидкістю. Однак, вони можуть бути неточними, пошкодженими або спотвореними. Тому перед застосуванням у процесі оцінювання системи їх потрібно попередньо опрацювати (відфільтрувати). Зазвичай таке опрацювання необхідно здійснювати в режимі реального часу, використовуючи сучасні широкодоступні апаратні та програмні засоби [4, 5] реалізації паралельних обчислень. У зв'язку з цим актуальною є проблема розробки та дослідження паралельних методів і алгоритмів розв'язання задач цифрової фільтрації (ЗЦФ) різної вимірності на кластерах.

**Формулювання задачі фільтрації.** Нами розглядається ЗЦФ, що загалом полягає у виконанні  $S$  переобчислень згладжування масиву значень  $N$  змінних через рухоме вікно розміром  $M$  [6]. Зазвичай під час практичних застосувань стосовно наведених параметрів задачі виконуються такі нерівності:  $N \gg S$ ,  $N \gg M$ . Сам процес згладжування ґрунтується на використанні у межах рухомого вікна однієї з двох наступних процедур: зваженого лінійного сумування або відшукування медіани. Зауважимо, що наведені вище нерівності суттєво впливають на забезпечення ефективності запропонованого паралельного методу розв'язання ЗЦФ різної вимірності.

**Основні результати.** Запропоновано метод розв'язання задач фільтрації, згідно з яким обчислення результуючого значення кожної змінної виконується в окремій паралельній гілці, яка до того ж є автономною. Отже, всі значення, необхідні для обчислення результуючого значення деякої змінної, переобчислюються в одній гілці. При цьому запропонований метод дозволяє покращувати процес згладжування шляхом використання (в межах гілки) на  $t$ -му кроці переобчислення частини значень змінних, вже одержаних на цьому ж кроці. Зазна-



чимо, що у даному випадку забезпечення автономності паралельних гілок призводить до дублювання в них деякої кількості ітерацій. Тут на кожній ітерації обчислюється значення відповідної змінної за заданою процедурою згладжування.

На підставі запропонованого паралельного методу організації обчислень побудовано та досліджено паралельні алгоритми для розв'язання одно-, дво- та тривимірної ЗЦФ [7, 8]. Також на основі цих алгоритмів розроблено відповідні алгоритми фільтрації з обмеженим паралелізмом. Наведено оцінки складності та прискорення, що підтверджують високу ефективність побудованих паралельних алгоритмів і самого методу організації обчислень. Зауважимо, що оцінки прискорення одержано на основі сформульованих та доведених тверджень про еквівалентність за інформаційним графом алгоритмів, які порівнюються за швидкодією.

**Висновки.** У роботі запропоновано паралельний метод організації обчислень для розв'язання задач фільтрації різної вимірності на кластерах. На підставі цього методу побудовано ефективні паралельні алгоритми з автономними гілками.

Одержані результати загалом можуть бути використані для опрацювання в режимі реального часу сигналів, плоских і просторових зображень та великих масивів експериментальних даних у різних предметних областях з використанням сучасних та перспективних апаратних і програмних засобів реалізації паралельних обчислень.

#### Список використаних джерел

1. Поліщук Д.О., Поліщук О.Д., Яджак М.С. Комплексне детерміноване оцінювання складних ієрархічно-мережевих систем. Частина II. Локальне та прогностичне оцінювання. Системні дослідження та інформаційні технології. Київ, 2015. № 2. С. 26–38.
2. Поліщук Д.О., Поліщук О.Д., Яджак М.С. Комплексне детерміноване оцінювання складних ієрархічно-мережевих систем. Частина I. Опис методики. Системні дослідження та інформаційні технології. Київ, 2015. № 1. С. 21–31.
3. Polishchuk O., Polishchuk D., Tyutyunnyk M., Yadzhaik M. Big Data Processing in Complex Hierarchical Network Systems II: Computer Environments and Parallelization. AASCIT Communications. Wilmington, New Castle, 2016. 3, №3. P. 119–124.
4. Top 500. The List. [Electronic resource]. Available: <https://www.top500.org>.
5. Український національний грид. Базовий координаційний центр. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.ung.in.ua](http://www.ung.in.ua).
6. Анисимов А.В., Яджак М.С. Построение оптимальных алгоритмов массовых вычислений в задачах цифровой фильтрации. Кибернетика и системный анализ. Киев, 2008. № 4. С. 3–14.
7. Яджак М.С. Паралельні алгоритми з автономними гілками для цифрової фільтрації даних. Праці VIII міжнар. школи-семінару «Теорія прийняття рішень». Ужгород, 26.09–01.10.2016 р. С. 273.
8. Яджак М.С. Паралельні алгоритми розв'язання просторової задачі цифрової фільтрації даних. Інформатика та математичні методи в моделюванні. Одеса, 2017. 7, № 3. С. 234–239.

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- Baleyko N.V. 213  
 Biloshchytska S. 137  
 Biloshchytskyi A. 137  
 Dunaievskyi M.S. 49  
 Ermoliev Y.M. 51  
 Ermolieva T.Y. 51  
 Gorbachuk V.M. 51  
 Hart L.L. 213  
 Hnatiienko H.M. 35, 53  
 Hnatiienko V.H. 53  
 Hoglund L. 51  
 Kelemen M. 144  
 Knopov P.S. 51  
 Korobova M.V. 55  
 Kovalyov Yu. 57  
 Kuchansky A. 137  
 Kulian V.R. 55  
 Kulishova N.Ye. 61  
 Kuznetsov V.I. 139  
 Mikhal'ov A.I. 139  
 Naderan M. 142  
 Polishchuk V. 144  
 Shmelova T. 57  
 Temchenko S.S. 213  
 Vialkova V.I. 35  
 Winiwarter W. 51  
 Yevtushenko H.L. 139  
 Yunkova O.O. 55  
 Zaychenko Yu. 142  
 Аджубей Л.Т. 87  
 Андрашко Ю.В. 99  
 Антоненко І.О. 194  
 Антонюк А.О. 63  
 Антонюк Н.Г. 63  
 Бабич А.О. 170  
 Бакурова А.В. 65  
 Баран О.І. 109  
 Барановська Г.Г. 67  
 Барановська Л.В. 67  
 Бебко І.С. 68  
 Бельх Т.В. 70  
 Бегун В.В. 151  
 Бовді В.А. 146  
 Бойко Н.В. 72  
 Борзов Ю.О. 174  
 Бортош М.Ю. 199  
 Боярчук Д.О. 113  
 Брила А.Ю. 74  
 Броварець О.О. 147  
 Бурак Н.Є. 194  
 Бычков И.В. 75  
 Ваврик П.Р. 87  
 Вараница-Городовская Ж.И. 85  
 Варцаба О.В. 203  
 Винник А.С. 190  
 Винокурова О. 180  
 Возняк А.Т. 151  
 Волошин О.Ф. 37  
 Гецко О.М. 201  
 Глебена М.І. 215  
 Головатий Р.Р. 194  
 Головач Й.І. 154  
 Гомзов Є.П. 77, 78  
 Горбачук В.М. 15  
 Гринченко В.О. 89  
 Гриша О.В. 97  
 Губий Е.В. 70  
 Гуляницький Л.Ф. 17  
 Гупал А.М. 217  
 Двірна О.А. 79  
 Доценко Н.А. 219  
 Доценко С.И. 72  
 Дунаєвський М.С. 15  
 Єгорова О.В. 45, 127  
 Жировецький В.В. 207  
 Жмуд О.О. 229  
 Журбенко Н.Г. 81  
 Заболотній С.В. 83  
 Заїка Т.С. 77  
 Злепко С.М. 156  
 Зоркальцев В.И. 72, 75  
 Иванов Я.М. 85  
 Івлічев А.В. 119  
 Івохін Є.В. 87  
 Капустей М.М. 200  
 Карбівничий В.О. 127  
 Киричек Г.Г. 196  
 Кісельова О.М. 89  
 Коваль В.П. 95  
 Когутич О.І. 201  
 Козін І.В. 91  
 Колечкіна Л.М. 93  
 Кондрук Н.Е. 158  
 Коробова М.В. 37  
 Корольов В.Ю. 160  
 Коряшкіна Л.С.. 125  
 Коцовський В.М. 221  
 Кошель А.В. 164  
 Кравченко О.В. 162  
 Криворучко І.О. 156  
 Кудін В.І. 68, 164  
 Кузеванова Е.Н. 75  
 Кулик А.В. 166  
 Кулик В.В. 37  
 Лавер В.О. 146  
 Лапко О.В. 39  
 Лебедєва Т.Т. 22  
 Литвиненко Ф.А. 95  
 Литвинов В.В. 168  
 Ломага М.М. 116  
 Лукьянов И.О. 95  
 Любченко Г.О. 97  
 Лялецький О.В. 170  
 Максим В.В. 99  
 Максимів О. 180  
 Максимов А.Є. 172  
 Малець І.О. 174  
 Маляр М.М. 101, 176  
 Маринець В.В. 201  
 Марко М.Я. 103  
 Мезерна М.В. 78  
 Микоряк І.І. 221  
 Михалик Д.М. 109  
 Михасюк М.М. 209  
 Мич І.А. 203  
 Міца О.В. 154  
 Млавець Ю.Ю. 205  
 Могілей С.О. 83  
 Мокрий І.В. 77  
 Мулеса О.Ю. 105  
 Нагірна А.М. 107  
 Наритник Т.М. 186  
 Незамай Б.С. 223  
 Ніколенко В.В. 203

- Новікова В.В. 188  
 Огурцов М.І. 160  
 Олашин Д.С. 225  
 Олійник А.П. 223  
 Онищенко А.М. 68  
 Оскерко С. 180  
 Островський О.В. 217  
 Паламарчук М.І. 156  
 Пасічник М.С. 178  
 Пасічник Т.В. 207  
 Пелешко Д. 180  
 Петрик М.Р. 109  
 Петрик О.Ю. 109  
 Петрова С.А. 85  
 Петрович Г.Л. 170  
 Петюшка М.Р. 105  
 Повідайчик М.М. 225  
 Пойда М.Ю. 200  
 Поліщук А.В. 176  
 Поліщук О.Д. 226  
 Придатко О.В. 174  
 Присяжнюк О.В. 111  
 Притоманова О.М. 89  
 Провотар Т.М. 39  
 Прокопчук Ю.О. 41  
 Распопов В.Б. 217  
 Ропало Г.М. 184  
 Ростомян Е.С. 68  
 Рошин В.О. 113  
 Рясна І.І. 114  
 Саввакін В.Д. 39  
 Савицький В.В. 31  
 Сайко В.Г. 186  
 Самойлов С.П. 41  
 Самохвалов Ю.Я. 26  
 Сатир Л.М. 188  
 Селіванова А.В. 190  
 Семенов В.В. 116  
 Семенова Н.В. 22, 116  
 Семеновта М.Ф. 228  
 Сергєєв О.С. 89  
 Сергієнко І.В. 118  
 Сергієнко Т.І. 22  
 Синявська О.О. 205  
 Сирку А.А. 15  
 Скітер І.С. 168  
 Скіцько В.І. 43  
 Скукіс О.Є. 192  
 Сливка-Тилищак Г.І. 209  
 Смор О.О. 174, 194  
 Снитюк В.Є. 45  
 Станіна О.Д. 125  
 Стецюк П.І. 31, 119  
 Стовба В.О. 229  
 Стоянов Н. 168  
 Сулейманов С.Б. 17  
 Терендій О.В. 121  
 Терешко Я.В. 91  
 Терещенко Е.В. 65  
 Тимофієва Н.К. 123  
 Тимченко А.А. 45  
 Тимчик С.В. 156  
 Триус Ю.В. 172  
 Трунова О.В. 168  
 Уманець І.С. 162  
 Ус С.А. 125  
 Фалькевич В.Г. 196  
 Фернос Н.В. 127  
 Ховбень С.В. 93  
 Ходзінський О.М. 160  
 Цегелик Г.Г. 103, 215  
 Чупов С.В. 131  
 Шарифов Ф.А. 129  
 Шаркаді М.М. 101  
 Шило В.П. 118  
 Шило В.П. 113, 131  
 Юрченко М.В. 221  
 Яджак М.С. 231  
 Яковлев С.В. 133



Підписано до друку  
05.04.2019. Формат 60x84/16 Гарн.тип Таймс.  
Папір офсетний № 1. Ум.-друк. Арк 10,8.  
Обл.- вид. арк 10,9.Наклад 120 прим. Замовл. № 72.  
Віддруковано з готового оригінал макету

Приватне підприємство „Інвазор”  
Свідоцтво серія А00 № 385608  
88000, м. Ужгород, вул. Мукачівська, 20  
тел.: 050 68 38 783