

**YURIY FEDKOVYCH CHERNIVTSI NATIONAL UNIVERSITY**  
in cooperation with  
National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of Cybernetics NAS Ukraine  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**Proceedings of the Thirteenth International Conference on**

**«INFORMATICS AND COMPUTER  
TECHNICS PROBLEMS»**

**(PICT – 2024)**

**01 – 03 November, 2024, Chernivtsi, UKRAINE**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**«ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИКИ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ»  
(ПІКТ – 2024)  
Праці XIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції**

**ЧЕРНІВЦІ  
01 – 03 Листопада, 2024**

**Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки:** праці XIII Міжнародної науково-практичної конференції (ПШКТ – 2024), м. Чернівці, 01–03 лист. 2024. Чернівці: Черн. нац. ун-т, 2024. - 136 с.

**Програмний комітет:**

**Співголови**

Сергієнко І.В., проф. (Україна, Київ)

**Члени комітету**

Ангельський О.В., проф. (Україна, Чернівці)  
Анісімов А.В., проф. (Україна, Київ)  
Азаров О.Д., проф. (Україна, Вінниця)  
Байер Г., проф. (Німеччина, Цвікау)  
Абабій В., проф. (Молдова, Кишинів)  
Виклюк Я.І., проф. (Україна, Чернівці)  
Гаращенко Ф.Г., проф. (Україна, Київ)  
Граур А., проф., (Румунія, Сучава)  
Гребеннік І.В., проф. (Україна, Харків)  
Григорків В.С., проф. (Україна, Чернівці)  
Дейбук В.Г., проф. (Україна, Чернівці)  
Дивак М.П., проф. (Україна, Тернопіль)  
Добровольський Ю.Г., проф. (Україна, Чернівці)  
Крістіа Д., проф., (Румунія, Ясси)  
Малик І.В., проф. (Україна, Чернівці)  
Мельник А.О., проф. (Україна, Львів)  
Мельничук С.В., проф. (Україна, Чернівці)  
Наконечний О.Г., проф. (Україна, Київ)  
Остапов С.Е., проф. (Україна, Чернівці)  
Пікієвич П., проф., (Польща, Д. Гурніча)  
Поморова О.В., проф. (Україна, Хмельницький)  
Сопронюк Ф.О., проф. (Україна, Чернівці)  
Ситніков В.С., проф. (Україна, Одеса)  
Станушек М., проф., (Польща, Краків)  
Тарасенко В.П., проф. (Україна, Київ)  
Угрин Д.І., проф. (Україна, Чернівці)  
Федасюк Д.В., проф. (Україна, Львів)  
Хаас В., проф., (Чехія, Прага)  
Хіромото Р., (США, Айдахо)  
Чикрій А.О., проф. (Україна, Київ)  
Шрайнер В., проф., (Австрія, Лінц)  
Ясній П.В., проф. (Україна, Тернопіль)  
Якоб Ф., проф., (Словакія, Кошіце)

**Організаційний комітет:**

**Голова**

Сопронюк Ф.О., проф.

**Заступники голови**

Остапов С.Е., проф.,  
Дейбук В.Г., проф.,  
Дрінь Я.М., проф.

**Члени оргкомітету**

Руснак М.А. – вчений секретар,  
Воробець Г.І., Баловсяк С.В., Яковлєва  
І.Д., Танасюк Ю.В., Антонюк С.В.,  
Кириченко О.Л., Кириченко О.О., Коцур  
М.П., Лазорик В.В., Літвінчук Ю.А.,  
Стецько Ю.П., Тимофієва Є.М., Філіпчук  
О.І., Фратавчан В.Г.

## **ЗМІСТ**

### **ПЛЕНАРНІ ЗАСІДАННЯ**

ВОРОБЕЦЬ Г.І.	
<i>ЦИФРОВИЙ УНІВЕРСИТЕТ DIGIUNI – ВІДКРИТА УКРАЇНСЬКА ІНІЦІАТИВА: ВИКЛИКИ І ПЕРСПЕКТИВИ</i> .....	7
ЛУКАШІВ Т.О., МАЛИК І.В., КИРИЧЕНКО Є.О.	
<i>ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ДЛЯ СТОХАСТИЧНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ З НАПІВМАРКОВСЬКИМИ ЗБУРЕННЯМИ</i>	
ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ Ю.Г., КОМІСАРЧУК В.В., ПРОХОРОВ Г.В., ТРЕМБАЧ Д.В.	
<i>НОВІ ПІДХОДИ ДО ГЕНЕРАЦІЇ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ</i> .....	12
<b>СЕКЦІЯ 1</b>	
<b>МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ, ОПТИМІЗАЦІЇ, ТЕОРІЇ ІГОР, ПРАКТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ЧУТЛИВОСТІ</b> .....	14
БОЙЧУК М.В., ЛАЗОРИК В.В.	
<i>ПОБУДОВА РОЗВ'ЯЗКУ ОДНОГО КЛАСУ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ</i> .....	14
ГОРБАЧУК В.М., СПІВАК Ю.В.	
<i>АНАЛОГИ ТЕОРЕМИ ДЖЕКсона ТА НЕРІВНОСТІ БЕРНШТЕЙНА ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-ОПЕРАТОРНИХ РІВНЯНЬ</i> .....	15
DRIN I., DRIN S., DRIN Y., LUTSKIV M.	
<i>FIRST BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE FRACTIONAL DIFFUSION EQUATION</i> .....	16
RUSNAK M.A.	
<i>OPTIMIZATION OF THE ESTIMATION ERROR OF LINEAR FUNCTIONALS ON THE SOLUTIONS OF HYPERBOLIC EQUATIONS</i> .....	17
РЯСНА І. І., СЕНЬКО О.Є.	
<i>ДО ПОБУДОВИ ІНВАНІАНТНОЇ НЕЧІТКОЇ ПСЕВДОМЕТРИКИ НА НЕЧІТКИХ МНОЖИНАХ</i> .....	20
ТИМОФІЄВА Н.К.	
<i>ОРГАНІЗАЦІЯ САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАДАЧ В РОЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНАТОРИКИ</i> .....	22
ХОМЕНКО М. П., ВИВРОТ Т. М.	
<i>МЕТОД ЛОКАЛІЗОВАНИХ ПЕРЕМІЖНИХ ЛАНЦЮГІВ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ВСІХ ПРОСТИХ СКІНЧЕННИХ ГРАФІВ</i> .....	24
<b>СЕКЦІЯ 2</b>	
<b>СТОХАСТИЧНІ ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ</b> .....	26
КУШНІРЧУК В.В., МАЛИК І.В.	
<i>МОДЕЛЮВАННЯ ДРОБОВОГО БРОУНІВСЬКОГО РУХУ</i> .....	26
<b>СЕКЦІЯ 3</b>	
<b>ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ І ТЕОРІЯ ПРОГРАМУВАННЯ</b> .....	29
ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ Ю.Г., ВЕРЖАК Д.І., ПРОХОРОВ Г.В.	
<i>ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАХИСТУ ВЕБ ДОДАТКІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ KEYSLOAK</i> .....	29
ВОРОНЮК В.С., ОСТАПОВ С.Е.	
<i>ЕЛЕКТРОННИЙ ЦИФРОВИЙ ПІДПИС НА ОСНОВІ СИМЕТРИЧНОЇ КРИПТОСИСТЕМИ</i> .....	31
HOLOVATA K.S., ANISIMOV A.V.	
<i>FINDING THE SHORTEST PATH BETWEEN CONCEPT-WORDS IN A SEMANTIC NETWORK</i> .....	33
БАЛОВСЯК С.В., ГРИНИК Н.М.	
<i>МАСКУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ МЕТОДУ ФОТОГРАММЕТРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ YOLO</i> .....	34
ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ Ю.Г., ПРОХОРОВ Г.В., ЯНУШЕВСЬКИЙ С.В., ПРОХОРОВ П.А., ДЯЧУК Р.Л., ТРЕМБАЧ Д. В.	
<i>ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ТОЧКИ ЗОРУ ЙОГО ДОВГОВІЧНОСТІ</i> .....	36
ДЯКОНЕНКО Б.В., ОСТАПОВ С.Е.	
<i>ПОБУДОВА КРИПТОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ БЛОКОВИХ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ</i> .....	37

КАРП О.В., ТИМОФІЄВА С.М.	
<i>РОЗРОБКА OPEN-SOURCE БОТА ДЛЯ СТІМІНГОВОЇ ПЛАТФОРМИ TWITCH З ІНТЕГРАЦІЄЮ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ</i> .....	39
КИРИЧЕНКО С.О., МАЛИК І.В.	
<i>ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ AWS ELASTIC MAPREDUCE ТА EC2 ДЛЯ РОЗГОРТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ</i> .....	40
КИРИЧЕНКО О.О., КИРИЧЕНКО О.Л., ОСТАПОВ С.Е.	
<i>АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ AWS SQS В УМОВАХ ВИСОКИХ НАВАНТАЖЕНЬ</i> .....	42
КОСТАЦУК С. В.	
<i>ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ БЕЗПЕКИ ДАНИХ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ</i> .....	44
МАЗУРЕЦЬ А. В., ПРОХОРОВ Г.В., ТРЕМБАЧ Д.В.	
<i>ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРИЛАДУ ПРИ АПАРАТНІЙ ГЕНЕРАЦІЇ ВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ</i> .....	45
НАГРОДСЬКИЙ М.М., ДРІНЬ Я.М.	
<i>РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КРЕДИТНОГО СКОРИНГУ</i> .....	46
ПРОХОРОВ П.А., МАКАРУК О.Р., ПАВЛЮЧЕНКО О.С.	
<i>ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЦЕПТИВНОГО ТА КРИПТОГРАФІЧНИХ АЛГОРИТМІВ ХЕШУВАННЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНТРОПІЇ З МНОЖИНИ ПОСЛІДОВНИХ ЗОБРАЖЕНЬ</i> .....	47
БАЛОВСЯК С.В., СТЕЦЬ С.Ю.	
<i>ДЕТЕКТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПІШХОДНИХ ПЕРЕХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ YOLO</i> .....	49
ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ Ю.Г., ТРЕМБАЧ Д.В.	
<i>ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИ ГЕНЕРАЦІЇ ВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ</i> .....	51
БАЛОВСЯК С.В., ЯКОВЛЄВ С.В.	
<i>БІЛАТЕРАЛЬНА ФІЛЬТРАЦІЯ ЦИФРОВИХ X-ПРОМЕНЕВИХ КРИВИХ</i> .....	53
<b>СЕКЦІЯ 4</b>	
КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ І КОМПОНЕНТИ .....	55
СИТНИКОВ Т.В., ЖЕРЕБКІН С.С., ЧМЕЛЕВСЬКИЙ А.М., СИТНИКОВ В.С.	
<i>ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗОВИХ КОРЕКТОРІВ У АВТОНОМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ПЛАТФОРМАХ ДЛЯ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ДАТЧИКІВ</i> .....	55
КУПРІЯНОВ О.М., СИТНИКОВ В.С.	
<i>МОДЕЛІ РЕПЛІКАЦІЇ ДАНИХ ДЛЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ</i> .....	57
ФІЛІПЧУК М.П., ФІЛІПЧУК О.І.	
<i>ПРО ОБЧИСЛЕННЯ ФУНКЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЦІЛОЧИСЕЛЬНИМ ДІЛЕННЯМ, НА МАШИНИ З НЕОБМЕЖЕНИМИ РЕГІСТРАМИ</i> .....	59
<b>СЕКЦІЯ 5</b>	
УПРАВЛІННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ В СОЦІАЛЬНИХ І ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ .....	61
ДОВГУНЬ А.Я.	
<i>ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ В LOOK-ALIKE ТАРГЕТИНГУ</i> .....	61
ІВАТО У., ПУТО А., МАЛЕРЬК М., БУН Р.	
<i>SPATIAL MODELING OF METHANE EMISSION PROCESSES FROM COAL MINING IN UKRAINE</i> .....	62
КРИВИНЧУК В., ГАЗДЮК К.	
<i>ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ЛОГІСТИКА: ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ</i> .....	64
МАЛЕРЬК М., ІВАТО У., ПУТО А., БУН Р.	
<i>MODELING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM POWER GENERATION BY THERMAL POWER PLANTS IN UKRAINE</i> .....	66
ПУТО А., МАЛЕРЬК М., ІВАТО У., БУН Р.	
<i>SPATIAL MODELING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RAILWAY TRANSPORT IN UKRAINE</i> .....	68
КУШНІРЧУК В.В., КУШНІРЧУК В.Й.	
<i>ПРО ОДИН МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПОРТФЕЛЯ АКТИВІВ</i> .....	70

ТИМОФІЄВА Є.М., ШАЙКО-ШАЙКОВСЬКИЙ О.Г.

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ШЛЯХІВ ЛІКУВАННЯ ТРАВМАТОЛОГІЧНИХ ХВОРИХ..... 71

## СЕКЦІЯ 6

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.....	73
БЕЗБОРОДЬКО І.Р., СТЕЦЬКО Ю.П.	
РОЗРОБКА ВЕБ-ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ВИВЧЕННЯ ДИСКРЕТНОЇ МАТЕМАТИКИ.....	73
ТРЕТЯКОВ Є.Д., СТЕЦЕНКО І.В., ВЕРГУНОВА І.М.	
МІКРОСЕРВІСНЕ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ АГРЕГАЦІЇ, ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ІНТЕРНЕТ-ТРАФІКУ .....	74
ВОЙТОЛОВСЬКИЙ В. І., ФІЛІПЧУК О. І.	
ПРО ОДИН ФРЕЙМВОРК ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ РОЗРОБКИ РІШЕНЬ ІЗ КОМП'ЮТЕРНИМ ЗОРОМ .....	76
HASLO V.S.	
IMAGE COMPRESSION ALGORITHM USING AGGLOMERATIVE CLUSTERING.....	78
HOLOVANOVA V., BUN R.	
QUANTIFYING LANDCOVER CHANGE DUE TO KAKHOVSKA HPP DESTRUCTION: USING SATELLITE IMAGES AND EARTH ENGINE CLOUD PLATFORM.....	80
HRYGORCHUK R.V., DRIN Y.M.	
USING BOX PLOTS FOR GROUP COMPARISON.....	82
ДРІНЬ Б.М.	
“ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА” В 9 КЛАСІ .....	83
DRIN Y.M., LENCHUK. Y.O.	
RESEARCH ON VIOLIN PLOTS IN R LANGUAGE.....	86
ІВАНЕШКІН О.І.	
ЩОДО ПРИЗНАЧЕННЯ ВЕРШИНАМ НЕОРІЄНТОВАНИХ ГРАФІВ ВИДУ «ЗМІШАНОГО ЛІСУ» $MF(T_i; S_j)$ НОВИХ ВЛАСНИХ НОМЕРІВ.....	87
КАЛАНЧА А.Д., УГРИН Д.І., УШЕНКО Ю.О.	
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ З ВИКОРИСТАННЯМ NLP .....	89
КИРИЧЕК Г.Г., ТЯГУНОВА М.Ю., ДУДНИК А.В.	
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ТА ПРОЦЕСАМИ .....	91
KRASNOKUTSKYI O.S., KRASNOKUTSKA I.V., CHEREVKO I. M.	
USAGE OF AI GENERATIVE TOOLS TO VISUALIZE MODELS OF APPLIED MATHEMATICS .....	93
ЛЮБІНЕЦЬКИЙ В.І., КИРИЧЕНКО О.Л.	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ М. ЧЕРНІВЦІ ЗАСОБАМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ .....	95
МУКУТІУК А.К., ДЕМЧЕНКО В. М., DRIN Y.M.	
PIE CHARTS IN THE R PROGRAMMING LANGUAGE.....	97
РОМАН МОВЧЕНЮК, КАТЕРИНА ГАЗДЮК	
АВТОМАТИЧНЕ КЛАСИФІКУВАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗНІМКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЛИБОКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ: ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ .....	98
МУСКА Н.В.	
ПОБУДОВА АДАПТИВНОЇ МОДЕЛІ РУХУ 2D ОБ'ЄКТІВ БАЗУЮЧИСЬ НА ЙОГО СЕМАНТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ .....	100
НЕСТЕРЕНКО В.В., МАЛИК І.В.	
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ВИКЛЮЧЕННЯ СЛІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ МОДЕЛЕЙ ТРАНСФОРМЕРІВ .....	101
OVERSHT V. V, DRIN Y. M.	
NUCLEAR ESTIMATION DIAGRAMS OF THE DENSITY FUNCTION.....	103
РОМАНЮК Р. П., ДРІНЬ Я. М.	
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТРАНСКРИПЦІЇ БАГАТОГОЛОСНОЇ ФОРТЕПІАННОЇ МУЗИКИ.....	105

SCRIPKA D. A., DRIN Y.M. <i>USING BOX PLOTS FOR GROUP COMPARISONS IN THE R PROGRAMMING LANGUAGE</i> .....	106
SOLOVYOV D.D., DRIN Y.M. <i>VIOLIN PLOTS AND DOT PLOTS</i> .....	108
HRYHORCHUK R.V., SOPRONIUK A.E., DRIN Y. M. <i>SCATTER PLOTS IN THE R PROGRAMMING LANGUAGE</i> .....	110
СРІБНИЙ О., ГАЗДЮК К. <i>СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПОШИРЕННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ</i> .....	111
УГРИН Д.І., ТЕРЛЕЦЬКИЙ Т.В., ЗАХАРОВ М.М. <i>АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАПИТІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗАХ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ПІДКРІПЛЮВАЛЬНОГО НАВЧАННЯ</i> .....	113
СHERVINSKA A.O., DRIN Y.M. <i>FLAT TREE DIAGRAMS IN R LANGUAGE</i> .....	115
ШАВРОНСЬКИЙ Д.М., ЛІТВІНЧУК Ю.А. <i>АНАЛІЗ ТА ПОШУК ВАКАНСІЙ ДЛЯ РОЗРОБНИКІВ</i> .....	117
ШУМИЛЯК Л.М., ДМИТРАЦУК К.М. <i>ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО РОЗУМІЮТЬ І ІМІТУЮТЬ ЕМОЦІЇ</i> .....	118
<b>СЕКЦІЯ 8</b>	
<b>КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ</b> .....	119
КАСІЯНЧУК М.В., МІТЧЕНОК О.В., АНТОНЮК С.В. , РУСНАК М. А. <i>ПАРАДИГМА КОН'ЮКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВУХНАЛІВ ДЕНТАЛЬНИХ, ЯК ЗАСОБУ НІВЕЛЮВАННЯ КЛІНІКИ БЕЗЗУБОЇ СТАРОСТІ</i> .....	119
ВОЛОЩУК О.І., МОСІН І.В., П'ЯСЕЦЬКА А.В., ДУБОВИК О.Ю. ПШЕНИЧНИЙ О.О., ХАЛАВКА Ю.Б., ВОРОБЕЦЬ Г.І. <i>ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ НАНОЧАСТИНОК</i> .....	122
<b>СЕКЦІЯ 9</b>	
<b>КІБЕРБЕЗПЕКА</b> .....	124
TUDOSI A.D, POSTOLACHE I.C. <i>CYBERBULLYING AND ONLINE PSYCHOLOGICAL SAFETY: THE ROLE OF CYBER SECURITY SOLUTIONS IN PREVENTING AND MITIGATING ABUSIVE BEHAVIORS</i> .....	124
ОЛАР О.Я., АНТРОПОВ С.О. <i>АВТОМАТИЗАЦІЯ СТВОРЕННЯ ЗАХИЩЕНИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ</i> .....	126
Д'ЯЧЕНКО Л. І., ТАНАЦІШЕНА І. Є. <i>СТРИМУВАННЯ ЗАГРОЗ У БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ AIR MARSHAL</i> .....	128
МЕЛЬНИЧУК Р.Т., ТИМОФІЄВА Є.М. <i>ПЛАТФОРМА ДЛЯ ЗАХИЩЕНОГО ОБМІНУ ФАЙЛАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНОГО ШИФРУВАННЯ</i> .....	130
ВОРОБЕЦЬ Г.І., ВОРОПАСВА С.Л., ГІМЧИНСЬКА С.Ю., ДВІРНИЧУК К.В. <i>ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ: ДОСВІД УНІВЕРСИТЕТІВ ЄВРОПИ</i> .....	131
КИРИЛЮК С.П., МЕЛЬНИЧУК С.В. <i>ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ І ПЕРЕВАГИ СМАРТ-КОНТРАКТІВ У БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДАНИХ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ</i> .....	132
АСТАХОВА К.А., АСТАХОВ О.В., ВОРОБЕЦЬ Г.І. КУЗЬ М.О., ПШЕНИЧНИЙ О.О., ЮР'ЄВ В.Г. <i>МОДЕРНІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ДОСЛІДНИЦЬКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ КСВУ-6</i> .....	134
ВОРОБЕЦЬ Г.І., ВОРОБЕЦЬ О.І. <i>ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРОДІЛУ ТА ОБЛІКУ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ</i> .....	135

Definition 2. The fractional derivative of  $\psi(t)$  in the Caputo sense is defined as

$$D_t^\alpha \psi(t) = \frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \int_0^t (t-y)^{m-\alpha-1} \frac{d^m}{dy^m} \psi(y) dy$$

for  $m-1 < \alpha \leq m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $t > 0$ ,  $\psi \in C_{-1}^m$  [6], [7].

Let  $\varphi(x): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $\mu_1, \mu_2: [0, T] \rightarrow \mathbb{R}$  be continuous and bounded functions,  $u(x, t) \in C_x^2 \times C_{-1}^m(\mathbb{R} \times [0, T])$ .

Consider the problem

$$\begin{aligned} D_t^\alpha u(x, t) &= a^2 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} + f(x, t), \quad t > 0, \quad 0 < x < l, \\ u(x, 0) &= \varphi(x), \quad 0 \leq x \leq l, \\ u(0, t) &= \mu_1(t), \quad t \geq 0, \\ u(l, t) &= \mu_2(t), \quad t \geq 0, \quad 0 < \alpha \leq 1, \end{aligned}$$

then  $f, \varphi, \mu_1, \mu_2$  are known functions, continuous and bounded in their domains of definition.

We seek the solution of this problem in the form

$$u(x, t) = v(x, t) + U(x, t), \quad t > 0, \quad 0 < x < l,$$

where  $U(x, t) = \mu_1(t) + \frac{x}{l} [\mu_2(t) - \mu_1(t)]$  is chosen such that the boundary conditions for  $v(x, t)$  are zero.

For the function  $v(x, t)$ , the main auxiliary boundary problem is solved, where  $f \equiv 0$ , and there are no initial conditions:

$$\begin{aligned} D_t^\alpha v(x, t) &= a^2 v_{xx}(x, t), \quad t > 0, \quad 0 < x < l, \\ v(0, t) &= v(l, t) = 0, \quad t > 0. \end{aligned}$$

Separating the variables  $v(x, t) = X(x)T(t)$  we apply the fractional integral of order  $\alpha$ , where  $0 < \alpha \leq 1$ , to the equation with respect to  $T(t)$ . Now we apply the homotopy perturbation method. The obtained functions  $X(x)$  and  $T(t)$  are used to solve the original problem, which is being solved in this formulation for the first time.

#### REFERENCES

1. Drin Iryna, Drin Svitlana, Drin Yaroslav, Lutskiv Mykhailo. Non-classical boundary value problem for the heat conduction equation. XXXIX International Conference "Problems of decision making under uncertainties" (PDMU-2024). September 9-10, 2024, Brno, Czech Republic, Kyiv, p. 52, 2024.
2. Drin Iryna, Drin Svitlana, Drin Yaroslav, Lutskiv Mykhailo. Study of numerical and analytical solutions of generalized boundary value problem for the heat conduction equation. XXXIX International Conference "Problems of decision making under uncertainties" (PDMU-2024). September 9-10, 2024, Brno, Czech Republic, Kyiv, pp. 53-54, 2024.
3. Drin I., Drin S., Drin Y., Lutskiv M.. Analysis of Non-Classical Heat Conduction Models. International Conference on Electronics, Communications and Computing (ECCO 2024). October 17-18, 2024, Chisinau, Republic of Moldova.
4. Zaid Odibat, Shaher Momani. Numerical methods for nonlinear partial differential equations of fractional order. Applied Mathematical Modeling 32(2008), 28-39. [www.elsevier.com/locate/apm](http://www.elsevier.com/locate/apm)
5. K.B.Oldham, J.Spanier. The Fractional Calculus. Academic Press, New York, 1974.
6. Y. Luchko, R. Gorneflo, The initial value problem for some fractional differential equations with the Caputo derivative, Preprint series A08-98, Fachbereich Mathematik und Informatik, Freie Universitat Berlin, 1998.
7. Podlubny, I. Fractional Differential Equations; Academic Press: San Diego, CA, USA, 1999.

**UDC 519.17.04**

**RUSNAK M.A.**

Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovych (Ukraine)

#### **OPTIMIZATION OF THE ESTIMATION ERROR OF LINEAR FUNCTIONALS ON THE SOLUTIONS OF HYPERBOLIC EQUATIONS**



**Abstract.** In this paper we are continue (e.g. [2]) to study the problems of minimax estimation linear functional under solutions systems of equations with partial derivations. New systems and new observe operators are considerate. New results are obtained in case unknown functions belong to Hilbert spaces with special metrics. **Keywords:** minimax estimation, minimax estimation error, functional minimization.

Let  $\Omega$ - is an open bounded set (domain) in  $R^n$  with regular bound  $S$ ,  $Q = \Omega \times [t_0, t_1]$ ,  $[t_0, t_1] \in R^1$ ,  $\Sigma = S \times [t_0, t_1]$ . Let also functions  $a_{ij}(t, x)$  are defined on  $Q$ , such that  $a_{ij} \in L_\infty$ ,  $\sum_{i,j=1}^n a_{ij}(t, x) \xi_i \xi_j \geq \alpha \sum_{i=1}^n \xi_i^2$ ,  $\alpha > 0$ ,  $\forall \xi_i \in R^1$  on the domain  $Q$ .

Let  $W_2^1(\Omega)$ - is Sobolev's space with corresponding norm and  $W_2^0(\Omega)$  its clothing. For any elements  $\varphi, \phi \in W_2^1(\Omega)$  we are consider the bilinear form

$$a(t, \varphi, \phi) = \sum_{i,j=1}^n \int_{\Omega} a_{ij}(t, x) \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} dx,$$

$a(t, \varphi, \phi) = a(t, \phi, \varphi)$  and can be find an number  $\lambda$  such that

$$a(t, \varphi, \varphi) + \lambda \|\varphi\|_+^2 \geq \alpha \|\varphi\|_+^2, \alpha > 0, \forall \varphi \in H_+ = W_2^1(Q), \forall t \in [t_0, t_1].$$

The corresponding linear operator may be written in the form

$$A(t)\varphi = - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} (a_{ij}(t, x) \frac{\partial \varphi}{\partial x_j}).$$

Let the state system of control was described the next equation

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + A(t)\varphi &= f, f \in L_2(Q), \\ \varphi(t_0, x) &= f_0, \frac{\partial \varphi(t_0)}{\partial t} = f_1, f_0, f_1 \in L_2(\Omega). \end{aligned}$$

We can observe the element of Hilbert space  $H$  like this

$$y = C(v)\varphi + f_2, f_2 \in L_2(Q),$$

where  $C(v) \in \mathfrak{L}(L_2(t_0, t_1; H_0), H)$ . Under this assumptions the state equation have unique solution  $\varphi(t)$  in the Hilbert space  $L_2(t_0, t_1; H_+)$  and  $\frac{\partial \varphi}{\partial t} \in L_2(t_0, t_1; H_0)$ .

We are assumed, that functions  $a_{ij}(t, x)$  are well known, elements  $f, f_0, f_1, f_2$  - are not defined, but must be satisfied inequality

$$(Qf, f) + (Q_0 f_0, f_0) + (Q_1 f_1, f_1) + (Q_2 f, f) \leq 1,$$

де  $Q(t, x), Q_0(x), Q_1(x), Q_2(t, x)$ , well-known, symmetric, positive definite operators that have bounded inverse operators [3].

In this assumptions the minimax estimation of linear functional

$$l(\varphi) = \int_{t_0}^{t_1} (l_1(t), \varphi(t))_0 dt + \int_{t_0}^{t_1} (l_2(t), \frac{\partial \varphi}{\partial t})_0 dt$$

we will to look in the form

$$\hat{l}(\varphi) = (u, y) + c,$$

where  $(\circ, \circ)$  - is the corresponding dual operation in the H space, under condition

$$\inf_u \sup_{f_0, f_1, f} |l(\varphi) - \hat{l}(\varphi)| = \sigma^2.$$

Let  $E = \{(u, c) : \sup |l(\varphi) - \hat{l}(\varphi)| < \infty\}$  is not empty set and  $D = \arg \inf \sup |l(\varphi) - \hat{l}(\varphi)|$  is

closed convex not empty set too. Under this assumptions we can found the elements  $\hat{u}$  and  $\hat{c}$  in the set  $D$ . The quantity  $\sigma$ , that we will named minimax estimation error, and the element  $\hat{u}$ , that we will named minimax estimation, may be found using the solutions of the following system of equation

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + A(t)z = l(t) - C^* \Lambda \hat{u}, & z(t_1) = 0, z(t_0) = 0, \\ \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + A(t)p = Q^{-1}z + Q_2^{-1} \hat{u}, & p(t_0) = z'(t_0), \\ p'(t_0) = z(t_0), \\ \frac{\partial^2 \hat{p}}{\partial t^2} + A(t)\hat{p} = C^* Q_2^{-1}y - C^* \hat{u}, \\ \hat{p}(t_1) = 0, \hat{p}'(t_1) = 0, \\ \frac{\partial^2 \hat{\varphi}}{\partial t^2} + A(t)\hat{\varphi} = Q^{-1} \hat{p} + C^* \Lambda \hat{u}, & \hat{\varphi}(t_0) = \hat{p}'(t_0) + \hat{p}(t_0), \\ \hat{\varphi}'(t_0) = \hat{p}(t_0) - \hat{p}'(t_0), \\ \hat{u} = Q_2^{-1}(Cp - z), \end{cases}$$

in the form

$$\sigma = \left[ \int_{t_0}^{t_1} (l(t), p(t))_0 dt \right]^{1/2}.$$

Note, that this system of equations are the partial case of the general system which may be found in [3].

Introduce now the functional

$$I(v) = \sigma^2(v)$$

defined on the subset  $K \subset X$  and examine the problem of it's minimum finding, using parameter  $v$  as control parameter.

**Theorem 1**[3]. The minimax estimation of the linear functional  $l(\varphi)$  may be found in the form

$$l(\hat{\varphi}) = (u, \hat{\varphi}) = \int_{t_0}^{t_1} (l(t), \varphi(t)) dt$$

and the corresponding error estimation is

$$\sigma = \left[ \int_{t_0}^{t_1} (l(t), p(t)) dt \right]^{1/2}.$$

**Theorem 2.**[2] Let  $K \subset X$  is compact set from Hilbert space  $X$  and all the next conditions are satisfied :

1. Operator  $C(v) \in \mathfrak{L}(L_2(t_0, t_1; H_0), H)$  is linear and embedding  $H_+ \subset H_0$  is compact;
2.  $\sup \|C(v)\| \leq \text{const}$ ;
3. Sequence  $\{C(v_n)\phi\}$  converges strictly to the element  $C(v_0)\phi$  if the sequence  $\{v_n\}$  converges weakly to the  $v_0$  in  $X$ .

Then the set  $\arg \inf I(v)$  is not empty.

Under constructions of this theorems we are obtained an necessary conditions for the elements from the set  $\arg \inf I(v)$ .

Let an operator  $B(\circ)$  is defined by the rule

$$(C(v)\varphi, \phi)_H = (B(\varphi)v, \phi), \forall \varphi, \phi \in H, v \in X.$$

**Theorem 3.** Let  $v_0 \in \arg \inf I(v)$  and  $K \subset X$  is compact set from Hilbert space  $X$ . Then following inequalities are satisfied

$$(B^*(p(v_0)) \wedge Q_2 C(v_0) p(v_0), v - v_0) \leq 0, \forall v \in K,$$

where  $p(v_0)$  is obtained from the solutions of system corresponding equations with  $v = v_0$ .

Like [1], we can solve many interesting problems using these theorems. For example, consider now the observation vector in the form  $y = v(t)\varphi(t, x) + f_2(t, x)$ , where  $\varphi(t)$  is the solution of equation

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + A(t)\varphi = f_1, \varphi(t_0, x) = 0, \varphi'(t_0, x) = 0.$$

In this case, statement of theorem 3 may be written in the form

$$\sup_{k \in K} \langle \widehat{u}(t, x, v), kp(t, x, v_0) \rangle = \langle \widehat{u}(t, x, v_0), v_0 p(t, x, v_0) \rangle \text{ a.e. in } Q.$$

In additional assumption that  $l(t, x) \geq 0$  in  $Q$ ,  $|v(t)| \leq 1$  we obtained that  $\max_{k \in K} kv_0(t) = v_0^2(t)$  a.e. in  $[t_0, t_1]$  or  $v_0(t) = \pm 1$  a.e. in  $[t_0, t_1]$ .

#### REFERENCES

1. Коцур, М. П., Вихор, Л. М., Руснак, М. А., Наконечный, О. Г. Оптимізація функціоналів від розв'язків крайових задач із застосуванням в термоелектриці. (2022).
2. Rusnak, Mykola. "Minimax Estimation Error and its Optimization in Hilbert Spaces." (2010).
3. Наконечный, А.Г. Минимаксное оценивание функционалов от решений вариационных уравнений в гильбертовых пространствах. (1985).

УДК 519.8

**РЯСНА І. І., СЕНЬКО О.Є.**

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України (Україна)

### ДО ПОБУДОВИ ІНВАРІАНТНОЇ НЕЧІТКОЇ ПСЕВДОМЕТРИКИ НА НЕЧІТКИХ МНОЖИНАХ

*За наявності нечіткого вербального подання даних та проведення вимірювань у шкалах, визначених за класифікацією С. Стівенса, на основі поняття коефіцієнту лінгвістичної кореляції побудовано інваріантну псевдометрику на гомогенних та гетерогенних нечітких множинах з урахуванням основних положень репрезентативної теорії вимірювань.*

Згідно з репрезентативною теорією вимірювань [1] при побудові формальних моделей емпіричних систем відношення між емпіричними елементами (об'єктами) визначаються на основі вимірювань їхніх властивостей. Якщо при формалізації використовуються результати вимірювань нечітких якісних та кількісних властивостей, то для отримання адекватної математичної моделі емпіричної системи з відношеннями необхідно забезпечувати інваріантність відношень за допустимих перетворень результатів вимірювань (в шкалах порядку, відношень або інтервалів) нечітких якісних та кількісних властивостей емпіричних елементів.

Зокрема, для нечітких задач кластерного аналізу багатовимірних даних за наявності нечіткого вербального подання даних необхідно визначити інваріантну нечітку метрику або псевдометрику з метою побудови нечітких алгоритмів, які забезпечуватимуть прозору інтерпретацію отриманих результатів кластеризації [2, 3]. У даній роботі запропоновано загальний підхід до побудови інваріантної нечіткої псевдометрики на гомогенних та гетерогенних нечітких множинах.