

Нечіткі Множини та Нечітка Логіка як Інструмент Формалізації Вимог

Ольга Ашурова
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
olha.ashurova@nure.ua

Ігор Шубін
професор, кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

Fuzzy Sets and Fuzzy Logic as a Tool for Formalizing

Olga Ashurova
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
olha.ashurova@nure.ua

Igor Shubin
PhD, professor
Department of Software Engineering Kharkiv National
University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

Анотація—Зроблено аналіз методик моделювання нечітких вимог до вибору об'єктів й оцінки сукупної по параметрах відповідності типів альтернативного набору об'єктів пропонованим вимогам на основі експертизи характеристичних параметрів в термінах нечітких виразів. Розроблено алгоритм обчислення агрегованої відповідності об'єктів по сукупності локальних відповідей характеристичних і цільових параметрів з використанням багатомірних функцій приналежності.

Abstract—The analysis of methods for modeling fuzzy requirements for the choice of objects and assessing the aggregate parameters of the conformity of the types of an alternative set of objects to the requirements on the basis of the examination of characteristic parameters in terms of fuzzy expressions. An algorithm has been developed for calculating the aggregated correspondence of objects by a set of local correspondences of characteristic and target parameters using multidimensional membership functions.

Ключові слова—багатокритеріальна оптимізація, нечіткі вимоги, адаптивні нечіткі нейронні мережі.

Keywords— multi-criteria optimization, fuzzy requirements, adaptive fuzzy neural network.

I. ВСТУП

Актуальним завданням синтезу технічної системи є вибір такого складу системних елементів, який забезпечить можливість досягнення максимальної функціональної ефективності. Зокрема, це завдання виникає при синтезі виробничої системи, представленою сукупністю взаємодіючих елементів устаткування.

Необхідно вибрати таке устаткування, яке буде найбільше адекватно виробничим умовам Підхід, заснований на нечіткості вимог, забезпечує взаємозамінність альтернатив і можливість їх оптимального вибору [1]. Число характеристичних параметрів складного устаткування може перевищувати кілька десятків, а їх значення в альтернативних видах устаткування найчастіше суперечать пропонованим вимогам. Тому вибір устаткування, здатного забезпечити досягнення найкращих показників ефективності, вимагає застосування інформаційної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень (СППР).

II. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Для аналізу особливостей обробки інформації в СППР розглянуто основні процедури прийняття рішень, які можна відобразити у вигляді схеми, показаної на рис. 1.



Рис. 1. Схема основних процедур прийняття рішень

Рисунок 1 показує, що система підтримки прийняття рішень вимагає великої кількості специфічної інформації й інформаційних технологій для її обробки. Більше того,



більша розмірність вектора вимог і суперечливість компонентів відповідного вектора характеристикних параметрів альтернативних типів устаткування викликає необхідність агрегування локальних відповідей кожного вектора. Схема реалізації блоку аналізу показано на рис. 2.

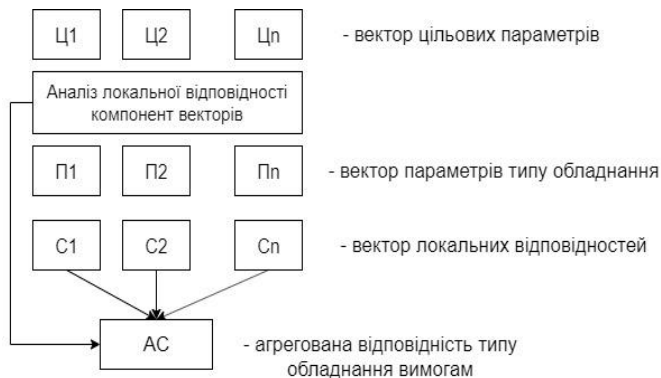


Рис. 2. Схема реалізації блоку параметричного аналізу відповідності устаткування вимогам

Необхідно відзначити, що агрегування здійснюється окремо по технічних і комерційних вимогах. Агрегування самих вимог не відбувається, тому що воно спричинить неминучу втрату інформації. Проведений аналіз особливостей інформаційного забезпечення СППР для вибору устаткування дозволяє сформулювати проведення додаткових аналітичних досліджень, які повинні забезпечити вибір найбільш раціональних підходів до синтезу математичних моделей і методів СППР.

Однією з актуальних завдань дослідження є встановлення локальної відповідності параметрів альтернативних видів однорідного устаткування пропонованим вимогам, а також розрахунок агрегованої відповідності для кожного типу альтернативного устаткування. Необхідно провести аналіз можливості використання для рішення цього завдання математичного апарату нечітких множин і нечіткого логічного висновку.

Нечіткі моделі можна розглядати як ефективний інструмент аналізу й прийняття рішень у наступних специфічних ситуаціях [2]:

- недостатність і невизначеність інформації про стан досліджуваної системи. Чіткі класичні моделі не можуть бути отримані або є занадто складними для практичного використання;

- значна частина інформації представлена експертними оцінками або вербальними описами процесів, що відбуваються; відсутні чіткі границі досліджуваних процесів і явищ;

- дані отримані в результаті вимірів характеризуються високою погрішністю й можливою зміщеності щодо дійсних значень;

- традиційні методи не тільки не дозволяють адекватно обробляти такі дані, але також не дозволяють урахувати властиву їм невизначеність.

Інформація, що описує характеристики устаткування й визначає його вибір, багато в чому відповідає зазначеним особливостям. Отже, нечіткі множини й нечітка логіка є ефективним підходом до рішення даної проблеми.

Використання нечітких логічних виразів для формулювання локальних нечітких вимог до вибору устаткування може припускати продовження застосування нечіткої логіки як для агрегування локальних вимог, так і для вибору устаткування, що максимально відповідає агрегованим вимогам. Досліджуємо таку можливість, для чого розглянемо основні процедури нечіткого логічного висновку. Нечіткий логічний висновок припускає, що для оцінки активізованої функції приналежності повинна використовуватися сукупність правил. Така сукупність у нечіткому логічному висновку називається базою правил або базою знань про деяку предметну область. Використання сукупності правил забезпечує більш повне покриття простору посилки й одночасно дозволяє підвищити вірогідність виведеного висновку [3].

На основі сукупності правил будується система нечіткого логічного висновку, що показана на рис. 3.

Стосовно до вибору устаткування, змінні на рис. 3 можна інтерпретувати в такий спосіб: у якості вхідних сигналів x виступають значення параметрів конкретного устаткування, у якості нечітких висловлень A – нечіткі вимоги до вибору, вихідні сигнали v і нечіткі вирази Y – ступінь відповідності й нечітка відповідність відповідно.

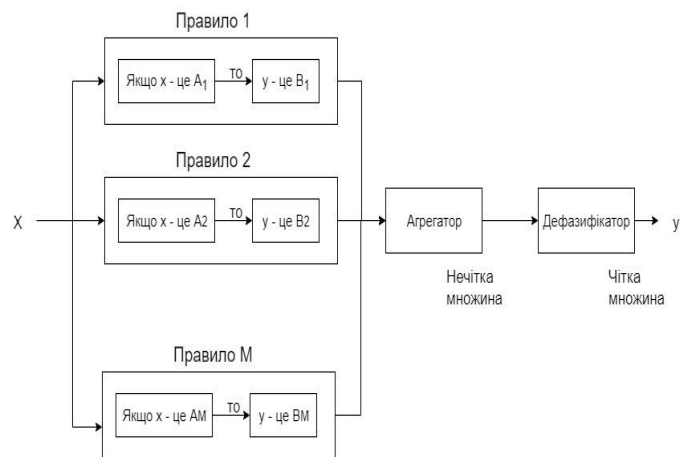


Рис. 3. Система нечіткого логічного висновку

У системі нечіткого логічного висновку для кожного i -го правила обчислюється своя функція приналежності $\mu_{v_i}(y_i)$ відповідно до одного з правил нечіткої композиції.

III. ОПИС ПРОЕКТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ

Вимоги до вибору виробничого устаткування з деякої однорідної сукупності його альтернативних видів задаються у вигляді сукупності інтервальних або якісних значень параметрів гіпотетичного, «ідеального» виду. Вибиратися буде такий альтернативний вид устаткування, який найкраще відповідає заданому «ідеалу» по всій сукупності параметрів. Завдання формалізованого опису «ідеалу» і визначення ступені відповідності чітких



значень параметрів альтернативних видів однорідного устаткування пропонувані нечітким вимогам доцільно вирішувати з використанням теорії нечітких множин і нечітких логіки. Згідно із цією теорією, експертним шляхом визначається перелік усіх характеристичних параметрів устаткування, цільові значення яких задаються в нечіткому виді [4].

Ці параметри надалі розглядаються як лінгвістичні змінні. Експерт задає необхідні компоненти лінгвістичних змінних, певним кортежем.

Для рішення завдань СППР актуальними компонентами є: ім'я лінгвістичної змінної; перелік термів, тобто імен прийнятих лінгвістичної змінної (тобто нечітких змінних); числова шкала, на якій задаються значення й функції приналежності кожного нечіткого значення:

$$(P; \{T_i\}; U; \{P_i\}); \quad i = 1, \dots, n \quad (1.1)$$

де P – ім'я лінгвістичної змінної; T_i – значення i -ої нечіткої змінної; U – універсальна числова шкала; P_i – функція приналежності i -ої нечіткої змінної.

Терми T_i задаються якісними (багато, високо, не більше й т.п.) або інтервальними (x_{min} д x д x_{max}) значеннями. В окремому випадку терм може мати цілком визначене, чітке значення. У теорії нечітких множин важливим є питання про кількість термів кожної лінгвістичної змінної посилки або висновку. Кількість якісних градацій деякої величини, яке й визначає число термів, бажане обмежувати числом 9, що переконливо показано в роботі [5].

На практиці зазвичай використовується не більш 5-6 термів. Однак при завданні нечітких вимог до устаткування експерт – проектувальник завжди задає єдине нечітке значення, виходячи з інженерної теорії й досвіду, а не шляхом вибору з певного набору нечітких значень, заданих в безперервному або дискретному виді.

Для розглянутої предметної області необхідно розробити методіку формальної вистави нечітких вимог до вибору, індивідуальних для кожного конкретного виробництва, його особливості, що враховують, і характеристики. В основі такої методіки повинні лежати положення побудови й агрегування нечітких логічних виразів.

Вибір значень конструктивних параметрів устаткування, відповідних до технічних вимог, відповідальне завдання, особливо для потенційно небезпечних виробничих процесів, до яких ставляться процеси нафтогазового виробництва. Відповідальними за рішення такого завдання є проектувальники, які виступають у ролі експертів.

Крім технічних вимог, необхідно враховувати комерційні вимоги, обумовлені характеристиками ринку устаткування. Таким чином, треба розглядати два класи вимог: технічні і комерційні вимоги [6].

Технічні вимоги являють собою сукупність цільових значень технічних характеристичних параметрів, відповідних до виробничих умов що склалися на тому або іншому родовищі. Цільові значення задаються експертами – проектувальниками технологічного процесу. Цільові значення задаються у формі лінгвістичних змінних з іменами P_i^{mex} , $i=1, \dots, n$; n – кількість технічних характеристичних параметрів устаткування. Терми лінгвістичних змінних розглядаються як нечіткі цільові значення з відповідними функціями приналежності.

Комерційні характеристики формуються за аналогією з технічними з тим відмінністю, що експертами тут виступають інші фахівці компанії. Комерційні характеристики P_i^{kom} , $i=1, \dots, n$, також необхідно враховувати при виборі устаткування.

Технічні й комерційні вимоги можуть вступати в протиріччя. Наприклад, більш підходяще з технічної точки зору устаткування може виявитися дорожче інших припустимих альтернатив. Така ситуація змушує розглядати технічні й комерційні вимоги на етапі вибору окремо. Однак на етапі опису локальних вимог, тобто цільових характеристик, у термінах нечіткої логіки їх розгляд можна об'єднати.

Схема інформаційних компонентів i -го цільового параметру (як технічного, так і комерційного) показано на рис. 4.

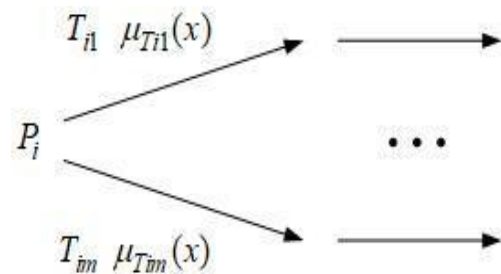


Рис. 4. Схема завдання нечітких вимог для i -го цільового параметру

При формулюванні вимоги експерт призначає з можливих значень T_{ij} – одне бажане значення $T_{i,j_{сел}}$ для кожного параметра i .

Кон'юнктивна форма складеного нечіткого висловлення A інтегрує бажані значення всіх цільових параметрів:

$$A = \langle P_1 \in T_{1,j_{сел}} P_2 \in T_{2,j_{сел}} \dots P_n \in T_{n,j_{сел}} \rangle. \quad (1.2)$$

У виразі (1.2) кожний цільовий терм, $T_{i,j_{сел}}$ інтерпретується своєю функцією приналежності – $P_{T_i}(x)$, що задається експертом. Функція приналежності будується над універсальною множиною, яка визначається всіма припустимими значеннями відповідного параметра, що характеризує устаткування.

Нехай, наприклад, бажане значення деякого характеристичного параметра визначене експертом на проміжку довжини x [100; 150] U як «велике».



Тоді функцію приналежності логічно представити, наприклад, у вигляді, показаному на рис. 5.

Дійсно, як показує рис. 5, більшим значенням довжини відповідають більші значення функції приналежності. Значення довжини рівне 150 має найкраща відповідність ($P_T(150) = 1$) поняттю «більша». Функція приналежності має вигляд лінійної залежності: $P_T(x) = 0,02x - 2$, де x – значення шкали універсальної множини, у розглянутому випадку – шкали довжини.

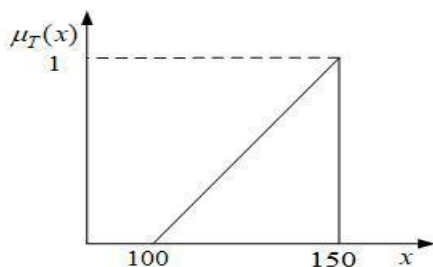


Рис. 5. Функція приналежності терма «більша» довжина

Нехай тепер кілька видів однорідного устаткування мають чіткі значення характеристичного параметра із припустимого діапазону [100;150]. Наприклад, значення характеристичного параметра виду 1 становить 120 див., а виду 2 – 140 див. Тоді відповідність цільовій (бажаній) вимозі «більша довжина» обчислюється в такий спосіб:

- першого виду устаткування $P_T(120) = 0,02 \cdot 120 - 2 = 0,4$;
- другого виду устаткування $P_T(140) = 0,02 \cdot 140 - 2 = 0,8$;

Вочевидь, що другий вид устаткування по зазначеному характеристичному параметру більше відповідає зазначеним нечітким вимогам.

Відповідність вимогам по одному характеристичному параметру устаткування будемо називати локальною відповідністю.

Визначення сукупного ступеня відповідності конкретного виду устаткування нечітким вимогам по сукупності локальних цільових характеристичних параметрів може здійснюватися різним образом.

Насамперед, можна спробувати скористатися відомими методами нечіткого логічного висновку. У цьому випадку експерт повинен побудувати систему нечітких продукційних правил, що встановлюють залежність між вектором нечітких відповідностей локальним вимогам і відповідністю устаткування в цілому по всій сукупності локальних вимог. Наприклад, у випадку двох параметрів ці правила можуть виглядати в такий спосіб:

- ЯКЩО $P_1 \in \langle \text{«велике»} \rangle$ ТА $P_2 \in \langle \text{«велике»} \rangle$, ТО $Y \in \langle \text{«висока»} \rangle$,
- ЯКЩО $P_1 \in \langle \text{«велике»} \rangle$ ТА $P_2 \in \langle \text{«мале»} \rangle$, ТО $Y \in \langle \text{«середня»} \rangle$,
- ЯКЩО $P_1 \in \langle \text{«мале»} \rangle$ ТА $P_2 \in \langle \text{«велике»} \rangle$, ТО $Y \in \langle \text{«середня»} \rangle$,
- ЯКЩО $P_1 \in \langle \text{«мале»} \rangle$ ТА $P_2 \in \langle \text{«мале»} \rangle$, ТО $Y \in \langle \text{«низька»} \rangle$,

де Y – лінгвістична змінна «ступінь відповідності устаткування сукупності вимог».

Наведені в прикладі правила експерт у стані сформулювати, система правил може забезпечити повне покриття простору посилки й адекватний висновок про відповідність.

У завданні вибору важливо вибрати таку групу однорідного устаткування, параметри якої забезпечують досягнення максимальної сукупної відповідності як по технічним, так і по комерційним вимогам. Інакше кажучи, вибір повинен бути оптимальним за критерієм відповідності. Такі завдання в рамках нечіткої логіки поки не мають рішення.

У цьому зв'язку пропонується інший шлях, який дозволить обчислювати агреговану відповідність на основі обчислень локальних відповідностей. Обчислення агрегованої відповідності можна звести до побудови багатозначної функції приналежності й обчисленню її значень. Багатозначна функція повинна відповідати ряду обов'язкових умов, які визначаються природними властивостями вибору устаткування:

- повна локальна невідповідність ($P_{лок} = 0$) хоча б по одному параметру тягне повну агреговану невідповідність;
- повна агрегована відповідність ($P_{сов} = 1$) може досягатися тільки при повній локальній відповідності ($P_{лок} = 1$) по всім характеристичним параметрам;
- ступінь агрегованої відповідності не може бути більше мінімуму ступенів локальних відповідностей, $P_{сов} \leq \min\{P_{лок}^j\}$.

Наведеним умовам відповідають бінарні операції реалізації кон'юнкції нечітких змінних

Графічна ілюстрація функцій відповідності «важливих» і «не важливих» параметрів показана на рис. 6.

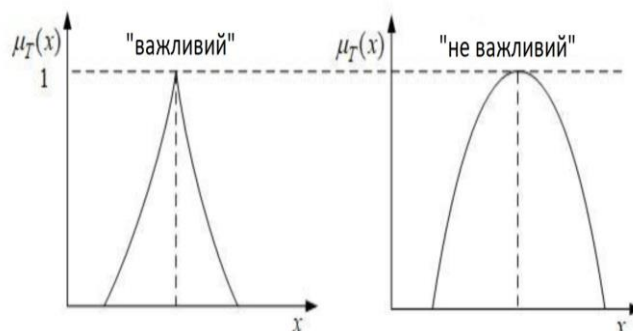


Рис. 6. Функції приналежності адекватні поняттям «важливий» параметр і «не важливий» параметр

Такі нелінійні функції можуть викликати утруднення при експертній побудові, з ними складніше виконувати різні обчислення. Тому пропонується апроксимувати ці функції більш простими – лінійними, зберігши при цьому відмінності в інтерпретації.

Пропонується для «важливих» параметрів зберегти звичайну стандартну трикутну форму функції приналежності, як показано на рис. 7 а). Для «не



важливих» параметрів функція приналежності приймає форму, що представлена на рис. 7 б).

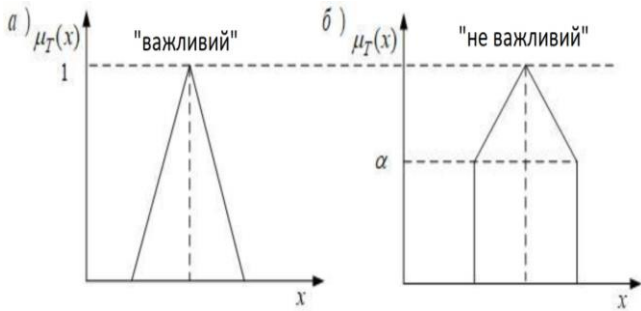


Рис. 7. Апроксимовані функції приналежності адекватні поняттям «важливий» параметр і «не важливий» параметр

Схема алгоритму обчислення локальних і агрегованих відповідностей типів альтернативного устаткування пропонуваним нечітким вимогам показано на рис. 8.

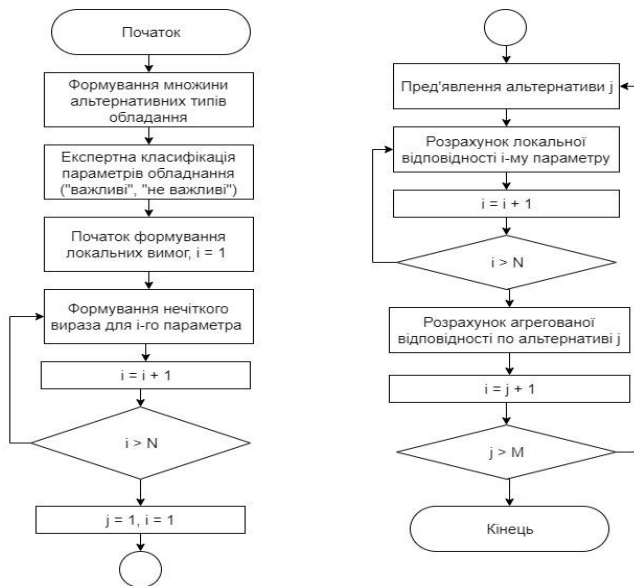


Рис. 8. Схема алгоритму обчислення локальних і агрегованих відповідностей альтернативних типів пропонуваним вимогам

Розрахунок агрегованої відповідності буде проводитися за правилом, структурно ідентичному моделі Сугено [6], але з нелінійною функцією приналежності висновку.

IV. ВИСНОВКИ

Результати дослідження показали, що ефективність виробничої технічної системи може бути підвищена за рахунок більш обґрунтованого вибору устаткування по технічних і комерційних вимогах. Такий вибір забезпечується СППР на основі побудови математичних моделей і алгоритмів порівняльного аналізу альтернативних типів устаткування й оптимізації процедур вибору. Обґрунтована можливість використання нечітких логічних виразів і операцій нечіткої логіки для формалізованого опису експертних вимог до вибору устаткування виробничих технічних систем, що

забезпечило одержання чисельних оцінок локальних відповідностей параметрів альтернативних типів устаткування заданим вимогам.

Розроблена методика математичної формалізації нечітких вимог до вибору устаткування у формі сукупності нечітких логічних виразів про цільові параметри устаткування з наступною агрегацією локальних відповідностей у кон'юнктивний складений вираз, що дозволяє проводити аналіз альтернативних типів устаткування на відповідність вимогам.

Запропонований алгоритм розрахунку агрегованої по параметрах відповідності типів альтернативного устаткування, заснований на обчисленні значень модифікованих трикутних функцій приналежності, що запобігає невиправдане заниження оцінок відповідності устаткування вимогам.

Розроблена модель модифікованого багатоцільового транспортного завдання для вибору устаткування з максимальною відповідністю технічним і комерційним вимогам, яка на відміну від класичної моделі забезпечує одночасно оптимальний розподіл закупівель устаткування по постачальниках і розподіл устаткування по виробничих структурах.

Розроблена модель оцінки за критеріями, що характеризують ризики альтернатив проекту впровадження устаткування з урахуванням питомих ваг кожного ризику по проекту, як у групі (ризик на стадії планування й ризик на стадії реалізації), так і по всій сукупності проектних ризиків, де проявляється синергетичний ефект як додатковий фактор невизначеності із застосуванням нечітких множин, що дає більш адекватну агреговану оцінку ризиків проекту.

Запропонована процедура структурування альтернатив, заснована на адаптованому під нечіткі множини моделі, що суттєво розширює його можливості й дозволяє одержати підсумкову оцінку кожної альтернативи з обліком як показників економічної ефективності, так і ризику по проекту, завдяки чому керівництво може прийняти обґрунтоване рішення про впровадженні конкретного проекту.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Chetverikov G., Puzik O., Vechirska I. Multiple-valued structures of intellectual systems//Proceedings of the with Internations Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2016, 7589907. -pp. 204-207.
- [2] Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 1.-М.: Мир, 1974. - 369с.
- [3] Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. - М.: Наука, 1983. - 416с.
- [4] Chetverikov G.G., Vechirska I.D., Leshchinsky V.A. Mathematical modeling and design of multiple-valued logic elements of digital telecommunications networks // International Conference Proceedings Crimean Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo).- 2014, 6959429. - pp. 354-355.
- [5] Бывшев В.А., Бабешко Л.О. Алгоритм прогнозирования финансовых индексов в рамках стационарной модели Колмогорова-Винера. - М.: Статистика, 2002. - 406с.
- [6] Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. - М.: Наука, 1974. - 587с.



Інформаційні системи та технології ICT-2020

Секція 2.

Математичне та комп'ютерне моделювання у інформаційних системах.