

Козелкова К. С., Степанов М. М., Торощанко Я. І. Державний університет телекомунікацій
Уварова Т. В. Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського

АЛГОРИТМ РОЗРОБЛЕННЯ НЕЧІТКО-ЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Розглянуто шляхи побудови алгоритмів перетворення вхідних збурень складних систем у понятійні співвідношення для автоматизації процесу управління та підтримки прийняття рішення. Використовується співвідношення апарату нечіткої логіки для формалізації, обробки та прийняття рішення щодо застосування сигналів управління системою при реагуванні на зовнішні збурення.

Ключові слова: лінгвістичні моделі, нечіткі множини, теорія управління, вхідні збурення системи, управляючі сигнали.

Kozelkova K. S., Stepanov M. M., Toroshanko Ya. I. State University of Telecommunications
Uvarova T. V. The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy

DEVELOPMENT ALGORITHM-FUZZY LOGIC MODELS MANAGEMENT AND DECISION MAKING

In reality, when a problem arises formal description of the management process quite difficult, you need to consider several external factors (parameters) and their value, potentially tend to infinity. In this case, the reaction system is not limited to one administrator action. To automate the process of compiling all possible combinations of linguistic descriptions of variables during conditional statements and fuzzy decision-making on the use of control actions in developing management models and decision-making is proposed to use fuzzy logic models. Uncertainty assignment of certain parameters in the calculations practically not taken into account or, subject to certain assumptions and assumptions, inaccurate parameters are replaced by expert estimates or averages (weighted average) values. Such a situation may occur due to a lack of knowledge of objects, and from participation in the management of a person or group of persons. The peculiarity of these systems is that much of the information needed for their mathematical description, is in the form of ideas or wishes experts.

The article proposed solving the problem by automating the design process, fuzzy logic models and management decisions that have been resolved through the development and formulation of the basic principles of fuzzy logic control various processes, systems and facilities, as well as structural-functional model of automated development fuzzy logic models, decision, formalization of the design process, fuzzy logic models of management and decision making. The ways of constructing algorithms convert input disturbances complex systems in the conceptual relationship to automate the management and decision support. Value fuzzy logic system is used for formalization, processing and decision-making on the use of system control signals in response to external perturbation

Keywords: linguistic model, fuzzy sets, control theory, input perturbation system, control signals.

Козелкова Е. С., Степанов М. Н., Торощанко Я. И.

Государственный университет телекоммуникаций

Уварова Т. В. *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского*

АЛГОРИТМ РАЗРАБОТКИ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЕ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Рассмотрены пути построения алгоритмов преобразования входных возмущений сложных систем в понятийные соотношения для автоматизации процесса управления и поддержки принятия решения.

Используется соотношение аппарата нечеткой логики для формализации, обработки и принятия решения по применению сигналов управления системой при реагировании на внешние возмущения.

Ключевые слова: лингвистические модели, нечеткие множества, теория управления, входные возмущения системы, управляющие сигналы.

Вступ. Постановка задачі дослідження

Проблеми прийняття рішень в інформаційних системах у складних умовах зовнішньої обстановки є завжди складною та актуальною задачею, для рішення якої необхідно створити математичну модель процесу в системі. Математичні методи широко застосовуються для опису і аналізу складних технічних, економічних, соціальних та інших систем. Теорія оптимізації створила сукупність методів, що допомагають під час використання машинної обробки ефективно приймати рішення за відомих і фіксованих параметрів. Ці методи добре працюють у тому випадку, коли параметри – випадкові величини з відомими законами розподілу.

Однак основні складнощі виникають, коли параметри обстановки прийняття рішення виявляються невизначеними (і невідповідними), до того ж вони значно впливають на результати прийняття рішення [1].

У процесі управління складними системами різного призначення, фахівці часто стикаються з наявністю в описі системи нечітко заданих параметрів або неточною технологічною інформацією. Звідси виникають порушення рівноваги системи керування наприклад, балансових співвідношень що призводить до необхідності варіювати деякими параметрами для точного задоволення заданих рівнянь та отримання прийняттого результату.

Через те, що під час побудови формальних моделей найчастіше користуються детермінованими методами, вноситься визначеність у ті ситуації, де її насправді не існує. Неточність завдання тих чи інших параметрів у процесі розрахунків практично не береться до уваги або, з урахуванням певних припущень, неточні параметри замінюються експертними оцінками або середніми (середньозваженими) значеннями.

Такого роду ситуації можуть виникати як наслідок недостатньої вивченості об'єктів, так і через участь в управлінні людини або групи осіб. Особливість подібних систем полягає в тому, що значна частина інформації, необхідної для їх математичного опису, існує у формі уявлень або побажань експертів. Проте в мові традиційної математики немає об'єктів, за допомогою яких можна було б досить точно відобразити нечіткість уявлень експертів.

Тому **актуальним** завданням є розроблення математичних моделей опису процесів в системі із застосуванням нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень [1-3].

Формування множини нечітких інструкцій (висловлювань)

У загальному випадку значення лінгвістичної змінної є складений терм $t = t_1 t_2 \dots t_n$, який являє собою поєднання елементарних термів $t_1 t_2 \dots t_n$. Ці елементарні терми можна розбити на кілька категорій:

- первинні терми, які є символами нечітких підмножин області міркування (наприклад, високий, низький);
- заперечення «ні» і сполучники «і», «або»;
- лінгвістичні невизначеності типу «дуже», «багато», «слабо», «більш-менш» тощо, які дають можливість модифікувати значення елементарних і складених термів і служать для збільшення області значень лінгвістичної змінної;
- маркери, такі як дужки, вставні слова.

Основна проблема, яка виникає у зв'язку з використанням лінгвістичних змінних, полягає в наступному:

- нехай дано значення кожного елементарного терму в складеному термі

$$t = t_1 t_2 \dots t_n;$$

- потрібно обчислити значення t , тобто знайти нечітку множину в підмножині X , символом якої є терм t .

Для складання всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних (на етапі складання нечітких умовних тверджень) та поєднання з механізмом прийняття рішення про застосування керуючих впливів у системі потрібно розробити нечітко-логічну модель управління та прийняття рішення. Пріоритет використання нечітко-логічних моделей в управлінні складними процесами очевидний [4, 5].

Нечітка логіка, дає змогу формалізувати прості логічні зв'язки нечітких змінних за допомогою нечітких висловлювань (інструкцій).

Зазвичай ці інструкції, визначаються заздалегідь досвідченою людиною – оператором, а змінні, що описують керований процес, представляються дискретним набором значень. У реальних умовах, коли стоїть завдання формального опису процесу управління досить складним процесом, необхідно враховувати відразу кілька зовнішніх чинників (параметрів) і їх значень, які потенційно прямують до нескінченності. Але реакція системи теж не обмежується тільки одним керуючим впливом.

Таким чином, на етапі складання множини нечітких інструкцій (висловлювань) представляє інтерес формалізація таких процесів:

- визначення всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних;
- прийняття рішення про застосування керуючих впливів залежно від зовнішніх факторів.

Під час формалізації процесу визначення всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних необхідно скласти нечіткі інструкції (правила) управління системою чи об'єктом для нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень. Для цього треба формалізувати процес визначення всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних.

Розглянемо найпростіший випадок; коли є три лінгвістичні змінні і сім термів.

Нехай якісні оцінки значень (лінгвістичні значення) параметрів (факторів) A чи терми відповідних лінгвістичних змінних, що описують стан процесу, формалізовані відповідними нечіткими підмножинами множини параметрів U , тобто множиною лінгвістичних змінних $U = \{U^1, U^2, U^3\}$, де кожен елемент цієї множини є множиною термів відповідної лінгвістичної змінної

$$U^1 = \{A_1^1, A_2^1, A_3^1\}, \quad U^2 = \{A_1^2, A_2^2, A_3^2\}, \quad U^3 = \{A_1^3, A_2^3, A_3^3\},$$

де верхній індекс, визначає приналежність терму до відповідної змінної.

Елементи множин U^1, U^2, U^3 , утворюють множину термів

$$T = \{A_1^1, A_2^1, A_3^1, A_1^2, A_2^2, A_3^2, A_1^3, A_2^3, A_3^3\}.$$

Тоді можливі поєднання якісних оцінок параметрів (лінгвістичних значень), в рамках теорії нечітких множин, будуть представлені у вигляді таких логічних виразів:

Якщо $U^1 = A_1^1$ та $U^2 = A_2^2$ та $U^3 = A_3^3$, тоді (керуючий вплив 1) АБО;

Якщо $U^1 = A_1^1$ та $U^2 = A_2^2$ та $U^3 = A_2^3$, тоді (керуючий вплив 2) АБО;

Якщо $U^1 = A_1^1$ та $U^2 = A_2^2$ та $U^3 = A_1^3$, тоді (керуючий вплив 3) АБО;

Якщо $U^1 = A_2^1$ та $U^2 = A_2^2$ та $U^3 = A_1^3$, тоді (керуючий вплив 4) АБО.

...

В загальному випадку:

Якщо $U^1 = A_i^1$ та $U^2 = A_j^2$ та $U^3 = A_k^3$, тоді (керуючий вплив n) АБО,

де $i = \overline{1,2,3}$; $j = \overline{1,2,3}$; $k = \overline{1,2,3}$.

Очевидно, що при великій кількості лінгвістичних змінних і їх термів, кількість яких потенційно прагне до нескінченності, "ручний" опис усіх можливих поєднань є трудомістким, а в деяких випадках і навіть не здійсненним завданням. Тому, очевидна необхідність формалізації цього процесу для комп'ютерних інформаційних систем [6-9].

Аналіз наведених виразів показав, що кожне таке умовне твердження задає відношення між лінгвістичними змінними U^1, U^2, U^3 , яке описується декартовим множенням їх термів (якісних значень лінгвістичних змінних) або нечіткими підмножинами множини параметрів U :

$$R_i = A_i^1 \times A_j^2 \times A_k^3. \quad (1)$$

Для зручності подання в інформаційних керуючих системах вираз (1) доцільно використовувати такий вираз:

$$\sum_{i=1}^3 A_i^1 \cdot \sum_j^3 A_j^2 \cdot \sum_k^3 A_k^3 \quad (2).$$

Отримаємо всі можливі поєднання термів відповідних лінгвістичних змінних, тобто якісних значень факторів у формі нечітких висловлювань. Або в загальному випадку:

$$\sum_{i=1}^k A_i^1 \cdot \dots \cdot \sum_j^l A_j^n \quad (3)$$

де k, l – число термів відповідних лінгвістичних змінних.

Розробка нечітко-логічної моделі управління та прийняття рішень

Для автоматизації процесу розроблення нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень, необхідно формалізувати механізм прийняття рішення про застосування керуючих впливів, залежно від зовнішніх факторів.

Наведемо ідеальний випадок, при якому досягається розв'язання вихідної задачі. Припустимо, що ідеальним варіантом розв'язання задачі буде деяка множина керуючих впливів

$$E_i \in E,$$

де $E_i = \{V_1^i \dots V_n^i\}$, E – множина впливів (варіантів розв'язання).

Тоді множині E_i відповідатиме деяка множина факторів із множиною зовнішніх чинників $U_i = \{A_i^1 \dots A_n^i\}$. Кожному зовнішньому чиннику поставимо у відповідність керуючий вплив, наприклад, поправку на відповідний фактор. Тоді алгоритм управління будуватиметься з правил такого вигляду:

Якщо $U_1 \dots U_i$, тоді $E_1 \dots E_i$ або Якщо A_i^1 , та ... та A_k^n , тоді V_m^1 , та ... та V_p^n .

Для ідеального випадку вважатимемо, що значення термів множин факторів і управляючих дій мають нульові значення. Тобто фактори і відповідні їм керуючі дії мають нульові значення [9-11].

Тепер визначимо принцип управління системою, згідно з яким вибиратиметься відповідна ступінь зміни вихідних впливів.

Виділимо контрольні значення відхилення деяких факторів від ідеального випадку і поставимо у відповідність можливий ступінь їх зміни в лінгвістичній формі, використовуючи нечіткі, погано визначенні поняття природньої мови, табл. 1.

Таблиця 1.

Відхилення фактора	Ступінь зміни
велике позитивне	швидко
середнє позитивне	середньо
мале позитивне	повільно
нульове	зупинка
мале негативне	повільно
середнє негативне	середньо
велике негативне	швидко

Згідно з табл. 1 введемо вхідні і вихідні лінгвістичні змінні, які будуть множинами якісних оцінок значень факторів і керуючих параметрів відповідно.

У цьому випадку це змінні *РЕГУЛЮВАННЯ* і *ВІДХИЛЕННЯ*, які міститимуть відповідно терми «швидко», «середньо», «повільно», «зупинка».

Таким чином позначимо: *PB* – «велике позитивне», *PM* – «середнє позитивне», *PS* – «мале позитивне», *NO* – «нульове», *NS* – «мале негативне», *NM* – «середнє негативне», *NB* – «велике негативне».

Найменування і числові значення термів задаються експертом залежно від конкретного випадку.

Наступним кроком в алгоритмі необхідно вибрати відповідний керуючий вплив системи, який здійснюватиметься залежно від приналежності даних оперативного контролю (отриманих з датчиків, сенсорів тощо) до термів вхідних лінгвістичних змінних.

Тобто, визначивши терм вхідної змінної (якісну оцінку значення фактору), за керуючий вплив вибирається відповідний йому терм вихідної змінної (наприклад, табл. 1).

Наприклад, визначається ступінь приналежності числових значень фактора до термів змінної

$$ВІДХИЛЕННЯ = \{PB, PM, PS, NO, NS, NM, NB\}.$$

Нехай змінна *ВІДХИЛЕННЯ* може приймати будь-яке значення з діапазону від нуля до нескінченості.

Згідно з положеннями теорії нечітких множин, у такому випадку кожному значенню відхилення фактора із зазначеного діапазону може бути поставлено у відповідність деяке число від нуля до одиниці, яке визначає ступінь приналежності даного числового значення фактора до того чи іншого терму лінгвістичної змінної *ВІДХИЛЕННЯ*. Ступінь приналежності визначається так званою функцією приналежності

$$M(A_k^n),$$

де A_k^n – якісне значення n -го фактору.

Далі будуються відповідні функції приналежності і застосовується композиційне правило виводу Заде. Таким чином, використовуючи описані формальні моделі визначення усіх можливих поєднань чинників і механізму прийняття рішень про застосування керуючих впливів, вирішується питання автоматизації проектування нечітко-логічних моделей управління різними процесами [10-12].

Слід зазначити, що формалізований механізм прийняття рішення про застосування відповідних керуючих впливів, дає змогу визначати керуючі дії на підставі даних, безпосередньо, одержуваних у результаті експерименту. Вказане робить процес завдання термів і їх числових значень вхідних лінгвістичних змінних не обов'язковим. Ця обставина, може бути використана при розробленні та дослідженні відповідної системи.

Таким чином, системи управління, розроблені на основі створених за цим принципом моделей, функціонуватимуть відповідно до наведеної схеми нечіткого регулятора за таким принципом: показання вимірювальних приладів фаззифікуються (переводяться в нечіткий формат), обробляються відповідно до наведеної моделі прийняття рішень, дефаззифікуються і у вигляді звичних сигналів подаються на виконавчі пристрої [13-15].

Алгоритм розроблення нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень наведено на рис. 1.

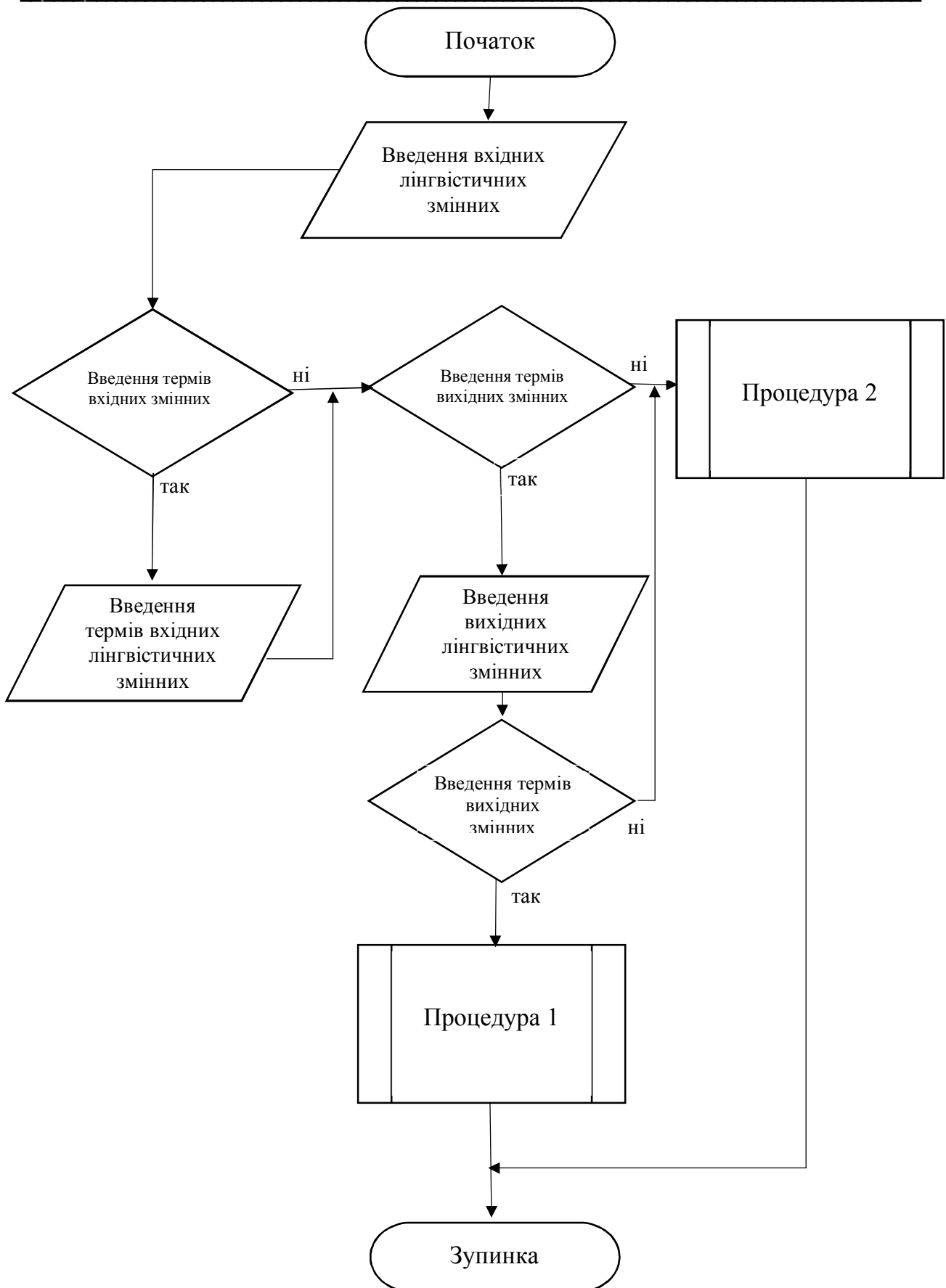


Рис. 1. Блок-схема алгоритму побудови нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень

Висновки

Запропоновано принцип створення формалізованого опису математичної моделі процесів в інформаційних управляючих систем в основі якої є нечітко-логічного для прийняття рішень і управління різними процесами, системами, об'єктами. В процесі розроблення нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень, що були поставлені і вирішені завдання формального опису:

- 1) Процесу визначення всіх можливих поєднань факторів (термів лінгвістичних змінних);
- 2) Процесу прийняття рішення.

Формалізація цих процесів необхідна для автоматизації процесу розроблення нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень.

Отримані нечітко-логічні моделі процесів в інформаційних системах управління та прийняття рішень які можуть бути широко застосовані у промисловості для регулювання і управління різними технологічними процесами під час безпосереднього цифрового управління із застосуванням машинної обробки або при видачі рекомендацій оператору в режимі діалогу.

Список використаної літератури (ДСТУ)

1. Карминский А. М. Контроллинг / А. М. Карминский, С. Г. Фалько, А. А. Жевага, Н. Ю. Иванова; под ред. А. М. Карминского, С. Г. Фалько. – 3-е изд. – Москва: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2013. – 336 с.
2. Орлов А.И. Эконометрическая поддержка контроллинга инноваций. Нечеткий выбор / А. И. Орлов, Н. С. Загонова // Российское предпринимательство. – 2004. – №4. – С. 54-57.
3. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование: в 3 ч.: Ч.2. Экспертные оценки / А. И. Орлов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.
4. Орлов А. И. Системная нечеткая интервальная математика – перспективное направление теоретической и вычислительной математики / А. И. Орлов, Е. В. Луценко // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №91(07). – 53 с.
5. Заде Л. А. Нечеткие множества. Нечеткие системы и мягкие вычисления / Л. А. Заде // Information and Control. – 2015. – Т. 10. – №1. – С. 7-22.
6. Блюмин С. Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
7. Валландер Н. Нечеткие множества. Нечеткая логика / Н. Валландер. – 2004. – 19 с.
8. Алиев Р.А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р. А. Алиев, Н. М. Абдикеев, М. М. Шахназаров. – Москва: Радио и связь, 1990. – 263 с.
9. Алиев Р.А. Идентификация и оптимальное управление нечеткими динамическими системами / Р. А. Алиев, Г. А. Мамедова // Известия АН: серия техническая кибернетика. – 1993. – № 6,
10. Kahraman C. Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows / C. Kahraman, D. Ruan, E. Tolga // Information Sciences. – 2002.
11. Willaеys D. Some properties of fuzzy discretization / D. Willaеys // Fuzzy Inf., IFAC Symp. Marseille, 19-21 July, 1983. – Oxford, 1984.
12. Yamazaki T. Self-organizing fuzzy controller / T. Yamazaki, M. Sugeno // Soc. Instrum. and Contr. Eng. – 1984. – №8.
13. Yager R. R. Fuzzy sets, probabilities and decision / R. R. Yager // J. of Cybern. – 1980. – №10.
14. Yuxiang Wu. Mathematical model of multilayer estimation constructed in the framework of the theory of fuzzy sets / Yuxiang Wu // J. China Coal. Soc". – 1985. – №1.
15. Zimmermann H.J., Zysno P. Quantifying vagueness in decision models. "European Journal of Operational Research". – 1985. – №22.

References (MLA)

1. Karminsky A. M., Falko S. G., Gavaga A. A., and Ivanov N. Yu. *Controlling*. Moscow: Forum": Infra-M, 2013. Print.
2. Zagonova N. S., and Orlov A. I. "Econometric Support of Innovation Controlling. Fuzzy Select." *Rossijskoe predprinimatelstvo* 4 (2004) Print.
3. Orlov A. I. *Organizational and Economic Modeling. Part 2. Expert evaluation*. – Moscow: MGTU im. N.E. Bauman, 2011. Print.
4. Orlov A. I., and Lutsenko E. V. "The System Fuzzy Interval Mathematics IPromising Area of Theoretical and Computational Mathematics." *Polythematic Network Electronic Journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of Kuban)* 91(07) (2013). Print.
5. Zade L. A. "Fuzzy Sets. Fuzzy Systems and Soft Computing." *Information and Control* 10(1) (2015): 7-22. Print.
6. Blyumin S. L., and Chuikova I. A. *Models and Methods of Decision-Making Under Uncertainty*. Lipetsk: LEGI, 2001. Print.
7. Wallander N. *Fuzzy Sets. Fuzzy Logic*. 2004. Print.
8. Aliev R. A., Abdikeev N. M., and Shakhnazarov M. M. *Production System With Artificial Intelligence*. Moscow: Radio i Swyaz', 1990. Print.
9. Aliyev R. A., and Mamedova G. A. "Identification and Optimal Control of Fuzzy Dynamical Systems." *Series of Technical Cybernetics* 6 (1993). Print.
10. Kahraman, C., Ruan, D., and Tolga, E. "Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows". *Information Sciences*. (2002). Print.
11. Willaеys D. "Some Properties of Fuzzy Discretisation." *Fuzzy Inf., IFAC Symp. Marseille, 19-21 July, 1983.Oxford* (1984). Print.
12. Yamazaki T., and Sugeno M. "Self-Organizing Fuzzy Controller." *Soc. Instrum. and Contr. Eng.* 8 (1984). Print.
13. Yager R. R. "Fuzzy Sets, Probilities and Decision." *J. of Cybern.* 10 (1980). Print.
14. Yuxiang Wu. "Mathematical Model of Multilayer Estimation Constructed in the Framework of the Theory of Fuzzy Sets." *J.China Coal. Soc.* 1 (1985). Print.
15. Zimmermann H. J., and Zysno P. "Quantifying Vagueness in Decision Models." *European Journal of Operational Reseach* 22 (1985). Print.

Автори статті (Authors of the article)

Козелкова Катерина Сергіївна – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії (Kozelkova Kateryna Sergiivna – Dr.Sci. in Technics, Professor, Head of the Department of Computer Engineering). Phone: +380 63 499 8385. E-mail: kozelkova82@gmail.com.

Степанов Михайло Миколайович – д.т.н., професор кафедри комп'ютерної інженерії (Stepanov Mikhailo Mnkolaiovych – Dr.Sci. in Technics, Professor of the Department of Computer Engineering). Phone: +380 44 249-2591. E-mail: stepmic@ukr.net.

Торошанко Ярослав Іванович – к.т.н., професор кафедри комп'ютерної інженерії (Toroshanko Yaroslav Ivanovych – PhD in Technics, Professor of the Department of Computer Engineering). Phone: +380 50 555 5114. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Уварова Тетяна Володимирівна – к.т.н., ст. наук. співроб. Центру військово-стратегічних досліджень (Uvarova Tetiana Volodymyrivna – PhD in Technics, Scientific Researcher at the Military Strategic Research Centre). Phone: +380 98 581 4302. E-mail: nusha_16@ukr.net.