

УДК 681.3

С. Д. Штовба, к. т. н., доц.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АЛГОРИТМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДАМИ СОФТ-КОМП'ЮТИНГУ

*Описано розроблену автором автоматизовану систему забезпечення надійності алгоритмічних процесів в умовах невизначеності. Теоретичну основу системи складають методи софт-комп'ютингу.*

**Ключові слова:** алгоритмічний процес, надійність, моделювання, оптимізація, ідентифікація, софт-комп'ютинг, нечіткі числа.

### Вступ

Останнім часом завдяки доступності Інтернету, різноманітним науковим АРМам та інженерним САПРам тривалість циклу “ідея – дослідження – промислове використання” скоротилась у кілька разів. Збільшення кількості елементів, ускладнення алгоритмів функціонування та швидке моральне старіння систем призвело до того, що накопичення усіх даних для традиційного моделювання надійності часто триватиме довше не тільки від етапу проектування та випробовування, але і від короткого життєвого циклу сучасних продуктів. Подібні ситуації виникають не лише під час розробки таких динамічних продуктів як програмне забезпечення, але і в більш інерційних галузях, наприклад, у напівпровідниковій індустрії [1]. Нестача необхідної інформації про надійність елементів обумовлена такими причинами:

- наявність в аналізованій системі унікальних компонентів з новими елементами, принципами конструювання або умовами експлуатації потребує тривалих та дорогих експериментів для визначення їхньої надійності, які майже ніхто не проводить у повному обсязі [2];
- за поодинокими експериментальними даними важко статистично достовірно визначити характеристики високонадійних компонентів із ймовірністю відмов меншою від  $10^{-7}$ ,  $\text{ч}^{-1}$ , які, наприклад, в аерокосмічній індустрії використовуються з 1980-х [3];
- для систем, які розвиваються, в принципі, неможливо оцінити показники надійності експериментально, тому що ніхто не погодиться “заморозити” розвиток системи лише задля отримання статистичних даних [2];
- відсутня достовірна інформація про надійність багатьох нових елементів. У СРСР таку інформацію систематизували головні галузеві інститути – “ЦНДІ-22”, “Електростандарт” та інші. Сьогодні головні інститути вже не в змозі відновити перервані інформаційні потоки [4];
- недостовірність баз статистичних даних про надійність елементів через помилки користувачів у визначенні типу дефекту, часу його виникнення, режиму роботи тощо [3]. Принаймні в СРСР помилки заповнення первинних форм обліку відмов досягали 40% [4]. Крім того, багато даних у довідникові видання потрапили з ТУ на виробі. Але часто в ТУ ці значення записували так, щоб бути не гіршими від закордонних аналогів, а не вираховувалися за результатами спеціальних випробувань чи спостережень під час експлуатації [5];
- навіть якщо дані про характеристики надійності зібрані в реальних умовах, вони стрімко втрачають релевантність через швидку зміну програмного забезпечення, апаратури, кваліфікації персоналу, стереотипів поведінки, умов та мети діяльності тощо.

У теорії надійності складних систем склалися 2 принципово різних підходи [6]:  
1) елементний S-підхід, моделі надійності якого побудовані на основі структури системи та

характеристик надійності її елементів; 2) функціональний  $F$ -підхід, моделі надійності якого побудовані на основі структури виконуваних функцій, тобто на основі алгоритму функціонування системи.  $S$ -підхід відповідає класичній теорії надійності систем [7 – 9], основними показниками якої є ймовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності. Як початкові дані для моделювання надійності використовуються ймовірнісно-часові характеристики відмов – випадкових подій втрати роботоздатності.  $F$ -підхід складають: теорія надійності алгоритмів [10 – 13], теорія надійності людино–машинних систем [6, 14 – 18], теорія надійності трудових та технологічних процесів [19 – 21]. За  $F$ -підходу узагальненим показником надійності виступає ймовірність досягнення мети [6], яка для прикладних задач інтерпретується показниками безпомилковості, бездефектності, достовірності, своєчасності тощо.

Звичайно, повною мірою надійність систем можна описати комбінуючи моделі з  $S$ - та  $F$ -підходів. Методи прогнозування та забезпечення  $S$ -надійності добре розроблені як у теоретичному, так і в практичному (інженерному) аспектах. Значно менше досліджено надійність за  $F$ -підходом, тому логічно сподіватися, що нові наукові результати саме за цим напрямом призведуть до суттєвого покращення надійності складних систем.

Метою статті є представлення розробленої автором автоматизованої системи забезпечення надійності алгоритмічних процесів (АП) – узагальненого об'єкту дослідження в  $F$ -підході. Методологічна концепція системи полягає в застосуванні ідей софт-комп'ютингу для вирішення задач прогнозування та забезпечення надійності в умовах невизначеності початкових даних.

### Алгоритмічний процес як об'єкт прогнозування та забезпечення надійності

Функціонування різноманітних систем з дискретною поведінкою розглядають з єдиних позицій, представивши його у вигляді АП, тобто розгорнутій у часі послідовності дій, операцій або робіт, виконання яких забезпечує досягнення мети – отримання продукту праці, інформації, документації, знань тощо [13]. Типовими представниками АП є процеси функціонування комп'ютерних мереж, процеси обробки інформації та прийняття рішень, технологічні процеси виробництва продукції, процеси функціонування людино-машинних систем, інженерне проектування, виконання науково-дослідних робіт, процеси навчання, алгоритми діяльності тощо. Перераховані процеси можна формалізувати деяким алгоритмом з такими властивостями [22]:

- він складається з елементарних операцій, які утворюють скінченну множину;
- послідовність операцій алгоритму детермінована;
- одночасно може виконуватися дискретна, наперед визначена, кількість операцій;
- перехід з початкового стану в кінцевий здійснюється за скінченну кількість операцій.

Надалі розглядатимемо АП, який представлено у вигляді регулярного алгоритму в системі алгоритмічних алгебр В. Глушкова [23]. Під час проектування АП виникає необхідність його аналізу та синтезу за критеріями надійності. На етапі управління надійністю потрібно вміти діагностувати та адаптувати АП. Під час проведення аналізу, синтезу, діагностування та адаптації АП виникає необхідність розв'язання задач моделювання, оптимізації та ідентифікації надійності (рис. 1). *Задача моделювання* полягає в розрахунку показників безпомилковості, безперервності, своєчасності, тривалості й вартості АП за його структурою та характеристиками надійності операцій. Операції АП поділяють на основні та допоміжні. Без виконання будь-якої основної операції неможливо досягти мети. Допоміжні операції вводять в АП для покращення його надійності. *Задача оптимізації* полягає в синтезі АП з необхідними або екстремальними значеннями показників надійності.

*Задача ідентифікації* полягає в створенні за результатами спостережень математичних моделей, які пов'язують фактори впливу з характеристиками надійності операторів та логічних умов. Пік результативності досліджень з надійності АП припав на кінець 1980-х

років. Розпад СРСР призвів до майже повного згортання досліджень у цій області, тому за останні 10 – 15 років значних результатів у теорії надійності АП не отримано

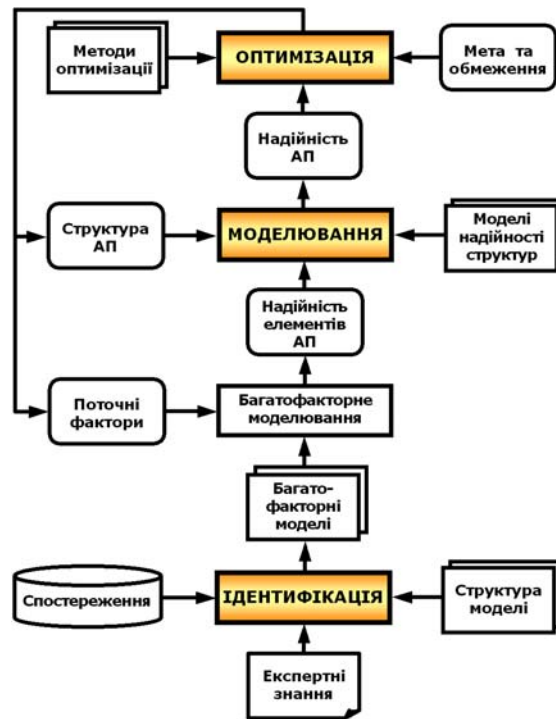


Рис. 1. Задачі забезпечення надійності АП

### Застосування софт-комп'ютингу для забезпечення надійності в умовах невизначеності

У період перестрою в теорії надійності АП стрімко розвивалися інформаційні технології – з'явилися нові ефективні методи обробки даних, подання знань, вирішення складних задач оптимізації та прийняття рішень в умовах невизначеності. Серед них однією з найбільш перспективних є *софт-комп'ютинг* – симбіоз наближених методів подання знань та обробки даних для прийняття раціональних рішень за умов часткової істинності, неточності, невизначеності та складності реальних задач. Термін “*софт-комп'ютинг*” або “м'які обчислення” (від англ. – “*Soft Computing*”) ввів на початку 1990-х Л. Заде [24]. Методи софт-комп'ютингу за рахунок “*м'якості*”, тобто терпимості до часткової істинності, неточності, невизначеності та складності реальних задач, створюють зручні механізми прийняття раціональних рішень без значних витрат на дослідження [25]. Софт-комп'ютингові технології наслідують механізми інтелектуальної діяльності людини, тому є прозорими та зрозумілими навіть для дослідників з невисокою математичною кваліфікацією. З методологічної точки зору софт-комп'ютинг є поєднанням нечіткої логіки, нейронних мереж, ймовірного виведення, генетичних алгоритмів та інших природних обчислювальних методів, наприклад, мурашиних алгоритмів. Ці методи доповнюють один одного, а не конкурують між собою. Така коаліція методів є синергетичною в сенсі того, що зазвичай, кращий ефект досягається від спільного, а не від ізольованого застосування компонентів [25]. Такий підхід забезпечує ефективне вирішення як відомих, так і нових складних наукових та прикладних задач в різних областях.

Очевидно, що визріло протиріччя між потребами практики і забезпеченням надійності все більш складних систем, станом розвитку теорії надійності АП та можливістю сучасних інформаційних технологій. Більшість методів моделювання та оптимізації надійності АП, які створені в кінці ХХ сторіччя, сьогодні вже не є ефективними. Крім того, деякі задачі забезпечення надійності АП навіть не намагалися формалізувати через відсутність на той час

інформаційних технологій для їхнього хоча б наближеного вирішення. Отже, виникла проблема прогнозування та забезпечення надійності АП за відсутності характеристик елементів, які необхідні для традиційного моделювання й оптимізації достовірних кількісних оцінок. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок розробки на базі сучасних софт-комп'ютерних інформаційних технологій нового методологічного підходу до теорії надійності АП, що дозволить ефективно вирішити як нові, так і відомі задачі оцінювання та забезпечення надійності. Основу софт-комп'ютерного забезпечення надійності АП складають наукові результати публікацій [26 – 46]. На них і ґрунтується автоматизована система забезпечення надійності АП, яка описана нижче.

### Автоматизована система забезпечення надійності АП

Автоматизована система забезпечення надійності АП реалізована в програмному середовищі МАТЛАВ. Система автоматизує найбільш трудомісткі процедури ідентифікації, моделювання та оптимізації надійності АП. Архітектура системи зображена на рис. 2. Використовуються такі позначення: “Ядро” – ядро програмного середовища МАТЛАВ; “FLT” – пакет Fuzzy Logic Toolbox; “StT” – пакет Statistics Toolbox; “OptT” – пакет Optimization Toolbox; “GAT” – пакет Genetic Algorithms and Direct Search Toolbox; “EFLT” – авторський пакет Extended Fuzzy Logic Toolbox.

Програми, що автоматизують розрахунки за моделями й алгоритмами нечіткої ідентифікації та прийняття рішень виокремлено в пакет Extended Fuzzy Logic Toolbox, тому що вони корисні не лише для забезпечення надійності АП в умовах невизначеності, але і в інших сферах нечіткого моделювання. Складовими пакету Extended Fuzzy Logic Toolbox є 12 модулів (табл. 1), частина з яких доступна на сайті <http://matlab.exponenta.ru> через авторський розділ “Fuzzy Logic Toolbox”. Специфічні компоненти автоматизованої системи описано в табл. 2.

В автоматизованій системі дані (value) про безпомилковість, тривалість, вартість та інші характеристики надійності елементів АП представлено структурою (рис. 3а) з двома полями: Crisp – чітке числове значення та Fuz – нечітке значення. Якщо надійність елемента АП залежить від факторів, тоді структура даних матиме ще 2 додаткових поля (рис. 3б): Model – назва m-файла, який реалізує модель багатофакторної залежності надійності та Factors – поточні значення факторів. Поле Value.Factors задано структурою з рис. 3а. Поле Value.Fuz задано структурою з рис. 3в. Нечітке значення можна задати:

- l-формою нечіткого числа [13] в полі Fuz.L\_form;
- $\alpha$ -формою нечіткого числа [13] в полі Fuz.A\_form;
- переліком елементів та ступенів належності в полі Fuz.Mu\_form;
- параметричною функцією належності в полі Fuzzy.P\_form.

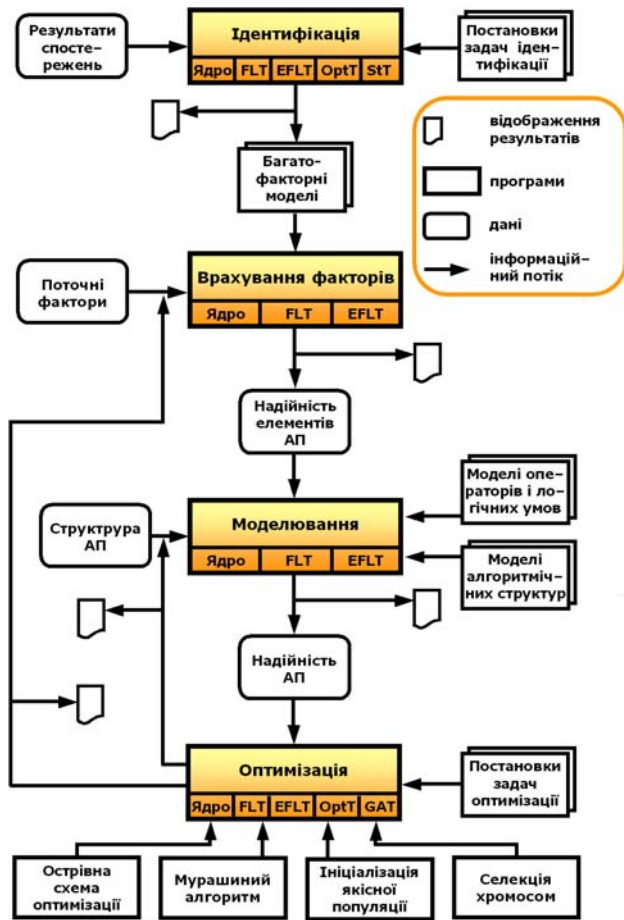


Рис. 2. Архітектура автоматизованої система забезпечення надійності АП

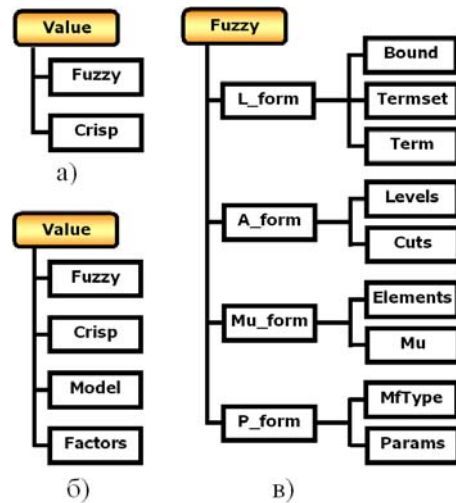


Рис. 3. Структури даних автоматизованої системи: а) загальна структура даних; б) структура даних для опису багатофакторної залежності надійності елементів АП; в) структура нечітких даних.

Таблиця 1

Склад розробленого пакету Extended Fuzzy Logic Toolbox

Назва модуля	Публікації
Проектування нечітких класифікаторів	[28, 35, 43]
Проектування ієрархічних нечітких моделей	[28, 35]
Навчання нечіткої моделі Мамдані	[35, 38]
Захист прозорості нечіткої моделі під час навчання	[32, 38]
Нечітке виведення за нечітких початкових даних	[28, 29, 35]
Синтез нечітких чисел за результатами нечіткого виведення	[31, 37]
Виведення за базою знань Сугено з нечіткими коефіцієнтами	[46]
Синтез функцій належності через кластеризацію експериментальних даних	[31, 33]
Конвертор нечітких чисел	[35, 36, 41]
Нечіткий регресійний аналіз	[30, 31]
Синтез нечітких чисел II-го типу	[30]
Прийняття рішень у нечітких умовах за схемою Беллмана–Заде	[34, 35, 36]

Склад специфічних модулів розробленої автоматизованої системи

Назва модуля	Опис модуля	Публікації
Постановки задач ідентифікації	Бібліотека постановок задач ідентифікації надійності операторів та логічних умов АП	[28–32, 35, 37–39, 43]
Багатофакторні моделі	Бібліотека багатофакторних моделей чіткої та нечіткої надійності операторів та логічних умов АП	[30, 31–35, 37–39, 43, 45]
Моделі операторів і логічних умов	Бібліотека моделей чіткої та нечіткої надійності операторів та логічних умов АП	[13, 36, 40–42]
Моделі алгоритмічних структур	Бібліотека моделей чіткої та нечіткої надійності алгоритмічних структур	[13, 36, 40–42]
Постановки задач оптимізації	Постановки задач чіткої та нечіткої оптимізації надійності АП	[26, 36, 44]
Острівна схема оптимізації	Реалізація взаємодії генетичного та мурашиного алгоритмів оптимізації за острівною схемою	[27, 36]
Мурашиний алгоритм	Реалізація мурашиного алгоритму структурної оптимізації АП	[36]
Ініціалізація якісної популяції	Ініціалізація якісної початкової популяції хромосом для оптимізації надійності АП	[36, 44]
Селекція хромосом	Селекція хромосом для чіткої та нечіткої оптимізації надійності АП	[36, 44]

Призначення решти полів структури Fuz take:

Fuz.L\_form.Bound – межі носія нечіткого числа;

Fuz.L\_form.Termset – терм–множина лінгвістичної змінної;

Fuz.L\_form.Term – поточне значення лінгвістичної змінної;

Fuz.A\_form.Levels – масив  $\alpha$ -рівнів нечіткого числа;

Fuz.A\_form.Cuts – масив  $\alpha$ -зрізів нечіткого числа;

Fuz.Mu\_form.Levels – масив елементів універсуму;

Fuz.Mu\_form.Mu – масив ступенів належності елементів універсуму нечіткому числу;

Fuz.P\_form.MfType – тип параметричної функції належності;

Fuz.P\_form.Params – вектор параметрів функції належності.

В автоматизованій системі структура АП задається списком редуційних підстановок. Кожен рядок цього списку має такий вигляд:

<Type Out\_name Element1 Element2 Element3 Element4>,

де Out\_name – ідентифікатор алгоритмічної структури;

Element1, ..., Element4 – ідентифікатори операторів та логічних умов структури;

Type – тип алгоритмічної структури.

Наприклад, АП  $\{Z[A_1^{N_1}, A_2(E \vee R_1)]\}$ , який укрупнюємо за схемою

$$\underbrace{\underbrace{\overbrace{A_3}^{A_3} \underbrace{A_4}_{\omega_1}}_{\omega_2}}_{A_5} \underbrace{\underbrace{A_6}_{\omega_2}}_{A_6}.$$

Задамо таким списком m-функцій:

A3=Multi\_structure(A1, N1);

A4=AWR\_structure(A2,  $\omega_1$ , R1);

A5=aParallel\_structure(A3, A4);

A6=Cycle\_structure(Z, A5,  $\omega_2$ ).

## Висновки

Виявлено проблему забезпечення надійності АП за відсутності необхідних для традиційного моделювання й оптимізації достовірних кількісних оцінок характеристик операторів та логічних умов. Обґрунтовано доцільність вирішення цієї проблеми шляхом розробки нового методологічного підходу до теорії надійності АП на основі принципів софт-комп'ютерингу. Цей новий методологічний підхід реалізовано у вигляді автоматизованої системи забезпечення надійності АП за умов невизначеності.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cheng W.-T. K., Huang C. H.-J. Practical "Building-in Reliability" Approaches for Semiconductor Manufacturing // IEEE Transactions on Reliability. – 2002. – Vol. 4. – P. 469–481.
2. Гнеденко Б. В., Ушаков И. А. Современная теория надежности: состояние, проблемы, перспективы // Надежность и контроль качества. – 1989. – №1. – С. 6–22.
3. Hryniewicz O. Fuzzy Sets in Evaluation of Reliability. In "Computational Intelligence in Reliability Engineering. Vol. 39: Evolutionary Techniques in Reliability Analysis and Optimization". (Ed. G. Levitin). – Springer, 2007.
4. Аронов И. З., Бурдасов Е. И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 184 с.
5. Шпер В. Реферативный аналитический обзор наиболее значимых публикаций в отечественной и зарубежной периодике по вопросам оценки надежности продукции, в том числе об опыте предприятий. Ч. 1. // Надежность: вопросы теории и практики. – 2006. – №3. – С. 122–148.
6. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: Наука, 1982. – 270 с.
7. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Сов. радио, 1975. – 472 с.
8. Надежность технических систем. Справочник / Беляев Ю. К., Богатырев В. А., Болотин В. В. и др. Под ред. Ушакова И. А. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
9. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. – СПб.: ВНУ, 2006. – 704 с.
10. Бондарь Ю. В., Сафонов И. В. Об одном методе оптимального использования алгоритмической избыточности // Автоматика и вычислительная техника. – 1975. – №3. – С. 26–29.
11. Зингер Н. С., Куцык Б. С. Обеспечение достоверности данных в автоматизированных системах управления производством. – М.: Наука, 1974. – 136 с.
12. Пивоваров А. Н. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
13. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент–ПРИМ, 1997. – 142 с.
14. Ашеро́в А. Т. Сажко Г. І. Ергономіка інформаційних технологій: оцінка, проектування, експертиза. Навч. посіб. – Харків: УПА, 2005. – 243 с.
15. Гвоздик М. И., Евграфов В. Г., Цой Е. Б. Оптимизация организационно-технических систем ВМФ. Методы. Алгоритмы. Программы. – СПб.: ВВМУРЭ, 1997. – 223 с.
16. Губинский А. И., Евграфов В. Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. – Л.: Судостроение, 1977. – 224 с.
17. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, Проектирование, Испытания: Справочник / Адаменко А. Н., Губинский А. И. и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 528с.
18. Попович П. Р., Губинский А. И., Колесников Г. М. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
19. Вигман Б. А. Стохастические модели контроля // Управляющие системы и машины. – 1973. – №2. – С. 112–115.
20. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
21. Ротштейн А. П., Кузнецов П. Д. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. – К.: Техніка, 1992. – 180 с.
22. Кузнецов О. П., Адельсон-Вельский Г. М. Дискретная математика для инженера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.
23. Глушков В. М., Цейтлин Г. Е., Ющенко Е. Л. Алгебра. Языки. Программирование. – К.: Наук. думка, 1978. – 320 с.
24. Zadeh L. Fuzzy Logic and Soft Computing: Issues, Contentions and Perspectives // Proc. of IIZUKA'94: Third Int. Conference on Fuzzy Logic, Neural Nets and Soft Computing, Iizuka (Japan), 1994. – P. 1–2.
25. Zadeh L. Applied Soft Computing – Foreword // Applied Soft Computing. – 2001. – Vol. 1. – P. 1–2.
26. Ротштейн О. П., Штовба С. Д. Оптимізація багатовимірних технологічних процесів генетичними

- алгоритмами // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №2. – С. 7–13.
27. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы: теория и применение // Программирование. – №4. – 2005. – С. 1–16.
28. Панкевич О. Д., Штовба С. Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань: монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 108 с.
29. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Идентификация нелинейной зависимости нечеткой базой знаний с нечеткой обучающей выборкой // Кибернетика и системный анализ. – 2006. – №2. – С. 17–24.
30. Штовба С. Д. Нечеткая идентификация на основе регрессионных моделей параметрической функции принадлежности // Проблемы управления и информатики. – 2006. – №6. – С. 38–44.
31. Штовба С. Д. Навчання нечіткої бази знань за вибіркою нечітких даних // Штучний інтелект. – 2006. – №4. – С. 560–570.
32. Штовба С. Д. Запобігання втрати прозорості нечітких моделей при навчанні за експериментальними даними // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – №6. – С. 39–45.
33. Штовба С. Д. Побудова функцій належності нечітких множин за кластеризацією експериментальних даних // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №2. – С. 92–95.
34. Ротштейн А. П., Штовба С. Д., Штовба Е. В. Многокритериальный выбор бренд-проекта с помощью нечетких парных сравнений альтернатив // Управление проектами и программами. – 2006. – №2. – С. 138–146.
35. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
36. Ротштейн О. П., Штовба С. Д., Козачко О. М. Моделювання та оптимізація надійності багато-вимірних алгоритмічних процесів: монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2007. – 211 с.
37. Штовба С. Д. Настройка нечеткой модели по обучающей выборке с нечетким выходом // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №3. – С. 26–32.
38. Штовба С. Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели Мамдани при обучении по экспериментальным данным // Проблемы управления и информатики. – 2007. – №4. – С. 102–114.
39. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Применение нечеткой базы знаний Сугено для моделирование надежности человека-оператора // Надежность. – 2007. – №1. – С. 13–20.
40. Штовба С. Д. Нечіткі моделі надійності алгоритмічних структур // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №2. – С. 110–119.
41. Штовба С. Д. Нечіткі матричні моделі надійності алгоритмічних процесів за сумісних помилок // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №3. – С. 51–60.
42. Штовба С. Д. Матричні моделі надійності алгоритмічних процесів за сумісності помилок різних типів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №4. – С. 107–114.
43. Штовба С. Д. Порівняння критеріїв навчання нечіткого класифікатора // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №6. – С. 84–91.
44. Rotshtein A., Shtovba S. Genetic Optimization of Multidimensional Technological Process Reliability. In “Computational Intelligence in Reliability Engineering. Vol. 39: Evolutionary Techniques in Reliability Analysis and Optimization”. (Ed. G. Levitin). – Springer, 2007. – P. 287–300.
45. Ротштейн О. П., Штовба С. Д. Нечітке моделювання безпомилковості набору тексту оператором // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – №1. – С. 76–82.
46. Штовба С. Д. Ідентифікація залежностей нечіткою базою знань з нечіткими регресійними рівняннями: матеріали X Міжн. науково-технічної конференції “Системний аналіз та інформаційні технології. – К.: НТТУ “КПІ”. – 2008. – С. 257.

**Штовба Сергій Дмитрович** – к. т. н., доцент, професор кафедри комп'ютерних систем управління, тел. 0432-598430, shtovba@ksu.vstu.vinnica.ua www.vinnitsa.com/shtovba.

Вінницький національний технічний університет.