

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Чеборака Олександр Валерійович

УДК 004.8 + 681.518.25

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕРВАЛЬНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ
ПОСЛІДОВНОСТЕЙ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ТИПУ-2**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кондратенко Наталія Романівна,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри захисту інформації

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Зайченко Юрій Петрович,
Інститут прикладного системного аналізу Національного
технічного університету України «Київський політехнічний
інститут»,
декан факультету післядипломної освіти

доктор технічних наук, професор
Кветний Роман Наумович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри автоматичної та інформаційно-
вимірювальної техніки

Захист відбудеться «27» _____ 03 _____ 2010 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГУК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «26» _____ 02 _____ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний напрямок використання прогресивних інформаційних технологій передбачає створення систем підтримки прийняття рішень, одним із ключових моментів яких є прогнозування часових послідовностей, що виникає в різних сферах людської діяльності (наука, техніка, економіка, медицина, сільське господарство, промисловість та ін.). Прогнозування дозволяє зменшити ризик прийняття неправильних, необґрунтованих або суб'єктивних рішень. Традиційно задача прогнозування вважається однією з найскладніших задач інтелектуального аналізу даних. На складність прогнозування впливають якість та кількість вихідних даних (рівень і види шуму, присутність нечітких та/або інтервальних значень, наявність пропусків в даних), а також зміни середовища, в якому протікає процес, що моделюється. Зазвичай більшість методів прогнозування часових послідовностей дозволяють обчислити точковий прогноз. Однак невизначеності, які містить процес, не дозволяють отримати достатньо точний точковий прогноз. У даному випадку більш доцільним є обчислення інтервального прогнозу, в межах якого може знаходитись реальне значення. Сучасні підходи до інтервального прогнозування пов'язують з визначенням довірчого інтервалу (традиційні методи), використанням нечіткого методу групового урахування аргументів і нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 (методи з використанням інтелектуальних технологій).

Традиційні методи інтервального прогнозування обчислюють інтервальний прогноз, представлений у вигляді довірчого інтервалу, який би з деякою довірчою ймовірністю окреслював межі можливих значень об'єкта, що моделюється. Недоліком даного підходу є те, що при встановленні достатньо вузького довірчого інтервалу значна кількість експериментальних значень не буде потрапляти в інтервал. Однак, якщо задати достатньо високу довірчу ймовірність, то ширина інтервалу буде дуже великою, що спричинить його малу практичну цінність. Основним недоліком традиційних методів інтервального прогнозування є також обмеженість або навіть неможливість їх використання для обчислення інтервальних прогнозів, яке суттєво залежить від характеристик часової послідовності та розподілу похибок точкового прогнозу.

Використання інтелектуальних технологій для розв'язання задач інтервального прогнозування часових послідовностей дозволяє уникнути проблем, притаманних традиційним методам. Значний внесок у розробку методів інтервального прогнозування часових послідовностей з використанням інтелектуальних технологій зробили такі всесвітньовідомі вітчизняні та зарубіжні дослідники, як Ю. П. Зайченко, Д. Мендель та інші.

В рамках інтелектуальних технологій виділяють методи на основі моделей з інтервальними нечіткими множинами типу-2. Ці нечіткі множини є на сьогодні найефективнішим інструментом обробки невизначеностей з точки зору можливості їх практичної реалізації в моделях, призначених для розв'язання реальних прикладних задач. Інтервальні нечіткі множини типу-2 є частковим випадком загальних нечітких множин типу-2, які, в свою чергу, є розширенням звичайних нечітких множин (тобто нечітких множин типу-1). Розвиток теорії нечітких множин завдячує роботам багатьох зарубіжних та вітчизняних дослідників, таких як Л. Заде, Е. Мамдані, Р. Беллман, Д. Дюбуа, А. Прад, М. Сугено, Я. Цукамото, Р. Ягер, А. Кофман, Д. Мендель, Д.О. Поспелов, А.М. Борісов, А.М. Меліхов, Л.С. Берштейн, О.М. Аверкін, І.З. Батиршін, Р. А. Алієв, Ю. П. Зайченко, Ю. М. Мінаєв, Б. М. Герасимов, В. П. Бочарніков та інші.

Однак на даний момент нечіткі моделі на основі інтервальних нечітких множин типу-2 не набули великої популярності для інтервального прогнозування часових послідовностей. Це зумовлено тим, що інтервальний прогноз, який вони обчислюють, не є достатньо вузьким, щоб викликати широке поширення цих моделей на практиці.

Тому є доцільною та актуальною розробка нових методів, моделей та інформаційної технології інтервального прогнозування часових послідовностей з використанням інтервальних нечітких множин типу-2, які дозволять підвищити якість інтервального

прогнозу за рахунок зменшення його ширини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету згідно з договором №58/32 про творчу співдружність між Вінницьким національним технічним університетом і ТОВ «Санаторій «Поділля» «Розробка системи прогнозування числа хворих, що прибувають на лікування».

Основні задачі дисертації відповідають державним науково-технічним програмам, що визначені Законами України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про національну програму інформатизації» та планам науково-технічних робіт Міністерства освіти і науки України: 6.2.1 – Інтелектуалізація процесів прийняття рішень, 6.2.2 – Перспективні інформаційні технології і системи.

Мета і завдання дослідження. *Метою дослідження є підвищення якості інтервального прогнозу шляхом створення нової інформаційної технології інтервального прогнозування часових послідовностей на основі інтервальних нечітких множин типу-2, яка забезпечує розширення можливостей та підвищення ефективності прийняття рішень за умови невизначеностей.*

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Виконати аналіз існуючих методів інтервального прогнозування часових послідовностей.
2. Запропонувати нечітку модель та метод інтервального прогнозування часових послідовностей на основі інтервальних нечітких множин типу-2, які б дозволили обчислити більш якісний інтервальний прогноз.
3. Запропонувати показник якості нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей.
4. Розробити інформаційну технологію інтервального прогнозування часових послідовностей на основі запропонованої моделі та методу.
5. Дослідити функціональні можливості запропонованої моделі, методу та інформаційної технології на основі інтервальних нечітких множин типу-2 на прикладах розв'язання складних прикладних задач інтервального прогнозування часових послідовностей.

Об'єктом дослідження є процес інтервального прогнозування часових послідовностей з використанням інтервальних нечітких множин типу-2 за умови невизначеностей.

Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційна технологія, на основі яких здійснюється інтервальне прогнозування часових послідовностей за умови невизначеностей.

Методи дослідження базуються на основних положеннях теорії нечітких множин (для формалізації закономірностей процесів, представлених часовими послідовностями), теорії прийняття рішень, теорії оптимізації (для навчання нечітких моделей), методах математичної статистики та аналізу часових послідовностей (для аналізу та попередньої обробки експериментальних даних). Як засіб розв'язання поставлених завдань використовувалось математичне та комп'ютерне моделювання. У дослідженнях використовувались статистичний пакет Statistica, математична система MatLab, а також мова програмування C++.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в результаті проведених досліджень запропоновано нову інформаційну технологію інтервального прогнозування часових послідовностей, в основі якої лежать:

- 1) вперше запропонована узагальнююча інтервальна нечітка модель типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей, яка складається з множини різновходових інтервальних нечітких моделей типу-2 (часткові моделі), що дозволяє отримати більш якісний інтервальний прогноз порівняно з єдиною інтервальною нечіткою моделлю типу-2;
- 2) вперше запропонований метод агрегації інтервальних прогнозів часткових

моделей узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2, що дозволяє обчислити інтервальний прогноз узагальнюючої моделі;

3) вперше запропонований показник якості нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей, що дозволяє оцінити адекватність розробленої нечіткої моделі предметній галузі;

4) вперше запропонований метод побудови узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей, що дозволяє отримати адекватну предметній галузі модель.

Достовірність наукових положень і висновків, одержаних у дисертації, підтверджується порівнянням результатів розв'язання прикладних задач, отриманих за допомогою запропонованої інформаційної технології та за допомогою відомих методів інтервального прогнозування часових послідовностей.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі запропонованих моделі, методів та інформаційної технології розроблено програмне забезпечення, що дозволяє на практиці розв'язувати задачі інтервального прогнозування часових послідовностей. За допомогою запропонованої інформаційної технології та розробленого програмного забезпечення на практиці реалізовано інтервальне прогнозування площі лазерних плям лазерної траси, інтервальне прогнозування числа хворих, які прибудуть на лікування в ТОВ «Санаторій «Поділля», та інтервальне прогнозування індексу споживчих цін з отриманням більш якісних інтервальних прогнозів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в ТОВ «Санаторій «Поділля» та у навчальний процес кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету. Впровадження результатів досліджень підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, які складають основний зміст дисертації, отримані здобувачем самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: проведення експериментів і розробка структури генетичного алгоритму [1]; проведення експериментів та розробка методу побудови інтервальної нечіткої моделі типу-2 [2]; запропоновано узагальнюючу інтервальну нечітку модель типу-2, метод агрегації інтервальних прогнозів часткових моделей узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2, метод побудови узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 та проведено експериментальні дослідження запропонованої моделі [3]; побудова нечітких моделей та проведення експериментів [4, 7-10, 12]; дослідження можливостей узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 [5]; розробка програмного модуля нечіткого логічного виведення нечіткої моделі класифікації аутоімунного тиреоїдита на основі інтервальних нечітких множин типу-2 [13]; розробка програмного модуля нечіткого логічного виведення нечіткої моделі прогнозування часових послідовностей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 [14].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати виконаних в дисертації досліджень доповідались на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці в період з 2005 по 2009 років; міжнародних конференціях «Контроль і управління в складних системах» (м. Вінниця, 2005, 2008); 13-ій міжнародній конференції з автоматичного управління (м. Вінниця, 2006); міжнародних науково-технічних конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології» у період з 2007 по 2009 років (м. Київ); міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та освіті» (м. Севастополь, 2007); 21-ій міжнародній конференції CODATA «Scientific Information for Society - from Today to the Future» (м. Київ, 2008).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 16 наукових праць, з них 5 статей у фахових виданнях з переліку ВАК України, 8 робіт у матеріалах і тезах доповідей міжнародних наукових конференцій та 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків,

списку використаних джерел (175 найменувань) і 7 додатків. Основний зміст викладено на 141 сторінці друкованого тексту, містить 162 рисунки, 27 таблиць. Загальний обсяг дисертації 217 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та задачі досліджень, відзначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено особистий внесок здобувача, а також інформацію про апробацію та публікацію результатів дисертації.

У **першому розділі** зроблено вступ в прогнозування часових послідовностей, проаналізовано традиційні методи інтервального прогнозування часових послідовностей, проведено аналіз нечіткого методу групового урахування аргументів (нечіткого МГУА), наведено особливості інтервального прогнозування часових послідовностей з використанням нейронних мереж, а також детально проаналізовано нечіткі моделі типу-1 та інтервальні нечіткі моделі типу-2.

На основі проведеного аналізу вибрано напрямок і визначено завдання дослідження.

Другий розділ присвячено розробці нечіткої моделі та методу інтервального прогнозування часових послідовностей на основі інтервальних нечітких множин типу-2.

Запропоновано узагальнюючу інтервальну нечітку модель типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей. Нехай $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, N$ – часова послідовність. Задача інтервального прогнозування часової послідовності полягає у визначенні інтервального значення (де h – крок прогнозування), в межах якого знаходиться майбутнє значення $x(t+h)$, на основі вікна p попередніх значень послідовності $x(t)$, $t = 1, 2, \dots, N$, а саме: $x(t-p+1), \dots, x(t)$.

Узагальнююча інтервальна нечітка модель типу-2 складається з множини ν часткових різновходових моделей та блоку агрегації \cap/\cup , який виконує обчислення результуючого інтервального прогнозу. Вона відображає чіткі входи у інтервальні виходи. Кожна часткова модель представляє собою інтервальну нечітку модель типу-2 з числом входів. Структуру узагальнюючої моделі зображено на рис. 1.

Кожна інтервальна нечітка модель типу-2, яка є i -тою частковою моделлю узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2, містить базу правил (нечітку базу знань), процедуру приведення до нечіткості, процедуру нечіткого логічного виведення та процедуру пониження типу. i -та часткова модель відображає чіткі входи у інтервальні виходи. Структуру інтервальної нечіткої моделі типу-2 наведено на рис. 2.

Рис. 1. Структура узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 для інтервального прогнозування часової послідовності

Рис. 2. Інтервальна нечітка модель типу-2

База правил кожної часткової моделі містить M правил такої форми:

: ЯКЩО $I \dots I$, ТО,

де, I_k – інтервальна нечітка множина типу-2 k -го антецедента l -го правила;

I_l – інтервальна множина типу-1 консеквента l -го правила, яка визначається крайньою лівою та крайньою правою точками:

Для опису інтервальних нечітких множин типу-2 антецедентів правил будемо використовувати гаусові первинні функції належності з невизначеним центром і сталим відхиленням або зі сталим центром та невизначеним відхиленням.

Гаусова первинна функція належності з невизначеним центром і сталим відхиленням

визначається формулою

(1)

Гаусова первинна функція належності зі сталим центром і невизначеним відхиленням задається таким чином:

(2)

Графіки гаусових первинних функцій належності з невизначеним центром і сталим відхиленням (1) та зі сталим центром і невизначеним відхиленням (2) наведено на рисунках 3 і 4 відповідно.

Рис. 3. Гаусова первинна функція належності з невизначеним центром і сталим відхиленням

Рис. 4. Гаусова первинна функція належності зі сталим центром і невизначеним відхиленням

При обчисленні вихідних нечітких множин правил використовується t-норма алгебраїчного добутку.

Виходом інтервальної нечіткої моделі типу-2 є узагальнений центроїд для інтервальних нечітких множин типу-2, обчислення границь якого здійснюється за допомогою алгоритму Карніка-Менделя.

Запропоновано метод агрегації інтервальних прогнозів інтервальних нечітких моделей типу-2. Цей метод використовується блоком агрегації узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 для обчислення результуючого інтервального прогнозу Y^{Σ} . У загальному вигляді метод агрегації можна представити формулою

(3)

Для оцінки якості інтервального прогнозування часових послідовностей нечіткими моделями на основі інтервальних нечітких множин типу-2 пропонується використовувати такі критерії:

1. Частка експериментальних значень вибірки даних, що не потрапили в інтервальний прогноз нечіткої моделі:

(4)

де, – експериментальне значення;

i – крайня ліва та крайня права точки інтервального прогнозу,;

N – число векторів даних.

2. Середньоквадратична ширина інтервального прогнозу нечіткої моделі:

(5)

Ці критерії будемо використовувати при побудові, навчанні та тестуванні інтервальних нечітких моделей типу-2 – кандидатів на потрапляння до структури узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2, а також для оцінки якості інтервального прогнозування узагальнюючої моделі.

Необхідною умовою адекватності нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей будемо вважати таку рівність:

(6)

де Q_{tr} – значення критерію Q на навчальній вибірці даних;

Q_{tr} – значення критерію Q на тестовій вибірці.

Показник якості нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей має такий вигляд:

(7)

де $RMSW_{tr}$ – значення критерію $RMSW$ на навчальній вибірці;

$RMSW_t$ – значення критерію $RMSW$ на тестовій вибірці даних.

Запропонований показник якості нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 дозволяє оцінити рівень узагальнюючих можливостей цих моделей і цим самим адекватність їх предметній галузі.

Для побудови інтервальних нечітких моделей типу-2, які є кандидатами на включення в структуру узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2, пропонується метод, який включає такі етапи:

I. *Побудова нечіткої моделі прогнозування часових послідовностей на основі нечітких множин типу-1.* База правил цієї моделі формується з експериментальної вибірки за допомогою методу добування правил з експериментальних даних, при якому експериментальні дані визначають центри нечітких множин, що з'являються в антецедентах і консеквентах правил.

II. *Зменшення надлишковості бази правил нечіткої моделі типу-1.* Даний етап полягає в почерговому виключенні правил з нечіткої бази знань, після чого оцінюється відгук моделі за допомогою показника якості, на основі якого вилучаються ті правила, виключення яких дозволило покращити його значення.

III. *Навчання нечіткої моделі типу-1 за допомогою генетичного алгоритму.* Генетичний алгоритм ґрунтується на використанні чотирьох схем схрещування (одноточкове, багатоточкове, зважене середнє та зважене середнє арифметичне) і двох схем мутації (рівномірна та гаусова). Структуру хромосоми, яка описує нечітку модель типу-1, зображено на рис. 5.

Рис. 5. Структура хромосоми нечіткої моделі типу-1

IV. *Перетворення функцій належності типу-1 в інтервальні типу-2 і їх подальше розтягнення, поки не будуть враховані невизначеності навчальних даних.* Даний етап полягає у перетворенні нечіткої моделі типу-1 в інтервальну типу-2 та розширенні границь інтервальних параметрів функцій належності з метою влучення усіх експериментальних точок навчальної послідовності даних в інтервальний прогноз моделі ().

Після побудови інтервальної нечіткої моделі типу-2 проводиться її навчання за допомогою генетичного алгоритму. Генетичний алгоритм навчання цієї моделі використовує аналогічні схеми схрещування та мутації, що й у випадку навчання нечіткої моделі типу-1. Структура хромосоми, яка описує інтервальну нечітку модель типу-2, зображена на рис. 6.

Рис. 6. Структура хромосоми інтервальної нечіткої моделі типу-2

У хромосомі, зображеній на рис. 6, u позначає невизначений параметр первинних функцій належності (центр m або відхилення σ), який визначається крайньою лівою та крайньою правою точками; a c – визначений параметр первинних функцій належності.

У якості функції пристосованості рішень виступає критерій $RMSW_{tr}$ при умові, що усі експериментальні точки навчальної послідовності даних влучають в інтервальний прогноз моделі, тобто. Задача навчання інтервальної нечіткої моделі типу-2 полягає у пошуку такого рішення, при якому $RMSW_{tr}$ при умові, що. Після навчання інтервальної нечіткої моделі типу-2 здійснюється вибір кращого рішення за допомогою зовнішніх критеріїв Q_t і $RMSW_t$. Мінімум критерію $RMSW_t$ при умові, що, визначає найкраще рішення з усіх породжених особин.

Для побудови узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 запропоновано метод, що включає такі кроки:

1. Побудова адекватних інтервальних нечітких моделей типу-2 – кандидатів на потрапляння в структуру узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2.

2. Дослідження залежності значення критерію $RMSW_t$ від числа входів побудованих адекватних інтервальних нечітких моделей типу-2 з метою визначення порядку їх включення в структуру узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2.

3. Включення адекватних інтервальних нечітких моделей типу-2 в структуру узагальнюючої моделі в порядку зростання значення критерію. Побудова узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 завершується або після включення в її структуру усіх адекватних інтервальних нечітких моделей типу-2, або за однієї чи кількох з таких умов при

наявності вільних моделей-кандидатів:

1) ширина інтервального прогнозу узагальнюючої моделі після останнього включення інтервальної нечіткої моделі типу-2 не зменшилась по жодній з точок послідовності даних (при цьому остання включена інтервальна нечітка модель типу-2 повинна бути вилучена зі структури узагальнюючої моделі);

2) зменшення ширини інтервального прогнозу узагальнюючої моделі після останнього включення інтервальної нечіткої моделі типу-2 є не суттєвим;

3) подальше зменшення ширини інтервального прогнозу узагальнюючої моделі шляхом включення нових інтервальних нечітких моделей типу-2 не виправдовує затрат обчислювальних ресурсів.

У **третьому розділі** представлено інформаційну технологію інтервального прогнозування часових послідовностей на основі запропонованих у розділі 2 моделі та методів. Ця інформаційна технологія складається з таких етапів:

I. *Постановка задачі.* Визначаються мета та об'єкт прогнозування.

II. *Збирання даних*, що містять достатню інформацію про об'єкт прогнозування.

III. *Аналіз і попередня обробка експериментальних даних.* Включає такі етапи:

1. Побудова та вивчення графіка.

2. Перетворення часової послідовності (перетворення шкали, в якій виміряні значення часової послідовності).

3. Очищення даних.

4. Заповнення (відновлення) пропущених даних.

5. Видалення нестационарної (детермінованої) складової часової послідовності (приведення часової послідовності до стаціонарного вигляду).

IV. *Вибір модельної структури та оцінювання параметрів моделі (побудова моделі).*

Здійснюється побудова узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 за допомогою запропонованого у розділі 2 методу. Побудова та навчання інтервальних нечітких моделей типу-2 – кандидатів на включення в структуру узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 – виконується теж за допомогою запропонованого у розділі 2 методу та розробленого генетичного алгоритму. Безпосередньо самій побудові кожної інтервальної нечіткої моделі типу-2 передує ще етап вибору змінних та етап створення навчальної та тестової вибірок. Структуру етапу побудови інтервальної нечіткої моделі типу-2 наведено на рис. 7.

V. *Перевірка адекватності моделі* за допомогою запропонованих критеріїв.

Рис. 7. Структура етапу побудови інтервальної нечіткої моделі типу-2

VI. *Застосування моделі* (прогнозування майбутнього розвитку процесу, представленого часовою послідовністю).

Четвертий розділ присвячено дослідженню функціональних можливостей запропонованої моделі, методу та інформаційної технології на основі інтервальних нечітких множин типу-2 на прикладі розв'язання задач інтервального прогнозування площі лазерних плям лазерної траси, інтервального прогнозування числа хворих, які прибудуть на лікування в санаторій «Поділля», та інтервального прогнозування індексу споживчих цін.

При розв'язанні задачі інтервального прогнозування площі лазерних плям лазерної траси загальну послідовність даних розміром в 912 плям розділено на навчальну (перші 710 плям) та тестову (решта плям послідовності плюс p останніх плям навчальної послідовності). Побудовано 8 адекватних інтервальних нечітких моделей типу-2 з числом входів. Графік залежності значення критерію $RMSW_t$ від числа входів інтервальної нечіткої моделі типу-2 p наведено на рис. 8.

Із 8-ми побудованих моделей-кандидатів 6 було включено в структуру узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2. Порядок включення моделей-кандидатів в структуру узагальнюючої моделі та результати тестування отриманих проміжних узагальнюючих моделей наведено в табл. 1.

Побудову узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 було завершено після включення 8-ми входової інтервальної нечіткої моделі типу-2 за другою та третьою умовами припинення включення моделей-кандидатів в структуру узагальнюючої моделі. Графічні результати інтервального прогнозування площі лазерних плям побудованою моделлю на тестовій послідовності наведено на рис. 9.

Рис. 8. Залежність значення критерію $RMSW_t$ від числа входів інтервальної нечіткої моделі типу-2 p при прогнозуванні площі лазерних плям

Таблиця 1

Значення критерію $RMSW$ для проміжних узагальнюючих інтервальних нечітких моделей типу-2 при прогнозуванні площі лазерних плям

Множина часткових моделей	$RMSW_{tr}$	$RMSW_t$
{4;5}	380,9	368
{3;4;5}	352	348,5
{3;4;5;6}	349,2	347,7
{3;4;5;6;7}	345,9	342,1
{3;4;5;6;7;8}	344,2	336,8

Рис. 9. Графічні результати інтервального прогнозування площі лазерних плям узагальнюючою інтервальною нечіткою моделлю-2 на тестовій послідовності

Значення критерію $RMSW_t$ для побудованої узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 є меншим на 55 пікселів (14%) за значення цього критерію для 5-ти входової інтервальної нечіткої моделі типу-2, яка продемонструвала найвищу якість інтервального прогнозування на тестовій вибірці серед побудованих моделей-кандидатів.

Числові характеристики якості інтервального прогнозування площі лазерних плям і рівень узагальнюючих можливостей найкращої побудованої інтервальної нечіткої моделі типу-2 та узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 наведено в табл. 2. Задачу інтервального прогнозування площі лазерних плям лазерної траси також розв'язано за допомогою нечіткого МГУА. Результати цього розв'язання теж занесено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльні результати інтервального прогнозування площі лазерних плям лазерної траси

Метод (модель)	$RMSW_{tr}$	$RMSW_t$	GQ
Інтервальна нечітка модель типу-2	425,6	391,8	0,92
Нечіткий МГУА	416,9	392,6	0,94
Узагальнююча інтервальна нечітка модель типу-2	344,2	336,8	0,98

Аналіз результатів табл. 2 показує, що запропонована модель продемонструвала найвищу якість інтервального прогнозування площі лазерних плям на тестовій вибірці, а також найвищий рівень узагальнюючих можливостей.

При розв'язанні задачі інтервального прогнозування числа хворих, які прибудуть на лікування в санаторій «Поділля» наступного місяця, побудовано 4 адекватні інтервальні нечіткі моделі типу-2, які усі увійшли в структуру узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2. Значення критерію $RMSW_t$ для побудованої узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 є меншим на 116,82 (29%) за значення цього критерію для найкращої побудованої інтервальної нечіткої моделі типу-2. В табл. 3 наведено результати розв'язання цієї задачі за допомогою існуючих та запропонованого методів (моделей) інтервального

прогнозування часових послідовностей.

Таблиця 3

Порівняльні результати інтервального прогнозування числа хворих, які прибували на лікування

Метод (модель)	Розмір навчальної послідовності	$RMSW_{tr}$	$RMSW_t$	GQ
Інтервальна нечітка модель типу-2	40	399,67	405,59	1,01
Нечіткий МГУА	46	315	315,3	1
Узагальнююча інтервальна нечітка модель типу-2	40	290,39	288,77	0,99

З табл. 3 видно, що узагальнююча інтервальна нечітка модель типу-2 продемонструвала найвищу якість інтервального прогнозування числа хворих, які прибували на лікування в санаторій «Поділля».

При розв'язанні задачі інтервального прогнозування індексу споживчих цін вихідна вибірка даних містила 16 макроекономічних показників України за період з січня 2006 р. по грудень 2008 р. включно. Побудовано узагальнюючу інтервальну нечітку модель типу-2, яка містить 3 часткові моделі. Побудована модель дозволила обчислити інтервальний прогноз, середньоквадратична ширина якого на 29% менша на тестовій вибірці за середньоквадратичну ширину інтервального прогнозу найкращої побудованої інтервальної нечіткої моделі типу-2.

Для розв'язання на практиці задач інтервального прогнозування часових послідовностей на основі запропонованих автором моделі, методу та інформаційної технології розроблено спеціальне програмне забезпечення. Розглянуті в дисертації прикладні задачі інтервального прогнозування часових послідовностей було розв'язано за допомогою цього програмного забезпечення.

ВИСНОВКИ

В дисертації наведено нове розв'язання наукової задачі, що полягає у підвищенні якості інтервального прогнозу шляхом створення нової інформаційної технології інтервального прогнозування часових послідовностей на основі інтервальних нечітких множин типу-2, яка забезпечує розширення можливостей та підвищення ефективності прийняття рішень за умови невизначеностей. Дану інформаційну технологію орієнтовано на розв'язання складних прикладних задач в різних сферах людської діяльності.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи такі:

1. Запропоновано узагальнюючу інтервальну нечітку модель типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей, яка складається з множини різновходових інтервальних нечітких моделей типу-2 та блоку агрегації інтервальних прогнозів цих моделей. Використання множини інтервальних нечітких моделей типу-2 дозволяє отримати більш якісний інтервальний прогноз порівняно з єдиною найкращою інтервальною нечіткою моделлю типу-2, яка є частковою моделлю узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2.

2. Запропоновано метод агрегації інтервальних прогнозів часткових моделей узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2, що дозволяє обчислити інтервальний прогноз узагальнюючої моделі. Цей метод забезпечує отримання вужчого інтервального прогнозу порівняно з найкращою частковою моделлю шляхом перетину інтервальних прогнозів часткових моделей у випадку існування цього перетину.

3. Запропоновано показник якості нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей, який визначається відношенням середньоквадратичної ширини інтервального прогнозу на навчальній та

тестовій вибірках, що дозволяє оцінити рівень узагальнюючих можливостей нечіткої моделі та її адекватність предметній галузі.

4. Запропоновано метод побудови узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей. Суть цього методу полягає в дослідженні залежності якості інтервального прогнозування побудованих адекватних інтервальних нечітких моделей типу-2 від числа їх входів, що дозволяє визначити порядок включення цих моделей в структуру узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2. Це забезпечує отримання адекватної предметній галузі узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2. Побудова інтервальних нечітких моделей типу-2 здійснюється на основі адекватних нечітких моделей типу-1, які пройшли етапи зменшення надлишковості бази правил та навчання за допомогою генетичного алгоритму.

5. Досліджено функціональні можливості запропонованої моделі, методу та інформаційної технології на прикладах розв'язання задач інтервального прогнозування площі лазерних плям лазерної траси, інтервального прогнозування числа хворих, які прибудуть на лікування в санаторій «Поділля», та інтервального прогнозування індексу споживчих цін. Побудовано узагальнюючі інтервальні нечіткі моделі типу-2, які дозволили обчислити вужчі інтервальні прогнози, ніж інтервальні нечіткі моделі типу-2, а саме: середньоквадратична ширина інтервального прогнозу на тестовій вибірці є меншою на 14% при прогнозуванні площі лазерних плям, на 29% при прогнозуванні числа хворих, які прибували на лікування в санаторій «Поділля», та на 29% при прогнозуванні індексу споживчих цін. Побудова моделей здійснювалася за допомогою розробленого програмне забезпечення.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в ТОВ «Санаторій «Поділля» та у навчальний процес кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету. Впровадження результатів досліджень підтверджено відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чеборака О. В. Використання інтервальних функцій належності в задачах класифікації ендокринних захворювань / Н. Р. Кондратенко, С. М. Куземко, О. В. Чеборака // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 3. – С. 85–90.

2. Чеборака О. В. Нечіткі множини в задачах прогнозування часових послідовностей / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 6. – С. 52–57.

3. Чеборака О. В. Прогнозування часових послідовностей з використанням різновходових нечітких моделей на основі інтервальних функцій належності / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака, С. М. Куземко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – № 4. – С. 62–68.

4. Чеборака О. В. Використання нечіткого моделювання в задачах вибору лідера студентського самоврядування / Н. Р. Кондратенко, Т. В. Черняхович, О. В. Чеборака // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – № 1. – С. 108–113.

5. Чеборака О. В. Дослідження можливостей узагальнюючої інтервальної типу-2 нечіткої моделі для прогнозування часових послідовностей / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 6. – С. 22–27.

6. Чеборака О. В. Настроювання нечітких моделей прогнозування часових послідовностей з використанням генетичного алгоритму / О. В. Чеборака // Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та освіті: міжнар. наук.-практ. конф., 10–16 вересня 2007 р.: матеріали конф. – Севастополь, 2007. – Ч. 1. – С. 158–161.

7. Чеборака О. В. Використання інтервальних функцій належності в задачах класифікації ендокринних захворювань / Н. Р. Кондратенко, С. М. Куземко, О. В. Чеборака // Контроль і управління в складних системах: міжнар. конф., 24–28 жовтня 2005 р.: тези доп. – Вінниця, 2005. – С. 233.

8. Чеборака О. В. Нечіткі множини в задачах прогнозування числових послідовностей / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Автоматика-2006: міжнар. конф., 25–28 вересня 2006 р.: тези доп. – Вінниця, 2006. – С. 98.
9. Чеборака О. В. Нечіткі моделі прогнозування часових послідовностей з використанням інтервальних функцій належності / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Системний аналіз та інформаційні технології: міжнар. наук.-техн. конф., 15–19 травня 2007 р.: тези доп. – К., 2007. – С. 116.
10. Чеборака О. В. Узагальнююча інтервальна типу-2 нечітка модель для прогнозування часових послідовностей / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Системний аналіз та інформаційні технології: міжнар. наук.-техн. конф., 20-24 травня 2008 р.: тези доп. – К., 2008. – С. 207.
11. Cheboraka O. V. Time series forecasting based on aggregation of interval type-2 fuzzy logic systems / O. V. Cheboraka // Scientific Information for Society - from Today to the Future: international conference, 5–8 October 2008: abstract. – К., 2008. – P. 78.
12. Чеборака О. В. Інтервальне прогнозування часових послідовностей за допомогою узагальнюючої інтервальної типу-2 нечіткої моделі / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Системний аналіз та інформаційні технології: міжнар. наук.-техн. конф., 26–30 травня 2009 р.: тези доп., – К., 2009. – С. 323.
13. Чеборака О. В. Комп'ютерна програма «Програма для класифікації аутоімунного тиреоїдита» / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №13736. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 21.07.2005.
14. Чеборака О. В. Комп'ютерна програма «Програма для прогнозування числових послідовностей за допомогою нечітких множин» / Н. Р. Кондратенко, О. В. Чеборака // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №17164. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 07.07.2006.
15. Чеборака О. В. Комп'ютерна програма для інтервального прогнозування часових послідовностей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 / О. В. Чеборака // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №30649. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 15.10.2009.

АНОТАЦІЇ

Чеборака О. В. Інформаційна технологія інтервального прогнозування часових послідовностей на основі нечітких множин типу-2. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2010.

Дисертація присвячена розробці нової інформаційної технології інтервального прогнозування часових послідовностей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 в умовах невизначеності. Запропоновано узагальнюючу інтервальну нечітку модель типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей, яка складається з множини різновходових інтервальних нечітких моделей типу-2 (часткові моделі). Запропоновано метод агрегації інтервальних прогнозів часткових моделей узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2. Запропоновано показник якості нечітких моделей на основі інтервальних нечітких множин типу-2 для інтервального прогнозування часових послідовностей. Запропоновано метод побудови узагальнюючої інтервальної нечіткої моделі типу-2. На основі запропонованих моделі та методів розроблено інформаційну технологію інтервального прогнозування часових послідовностей. Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє на практиці розв'язувати задачі інтервального прогнозування часових послідовностей. За допомогою запропонованої інформаційної технології та розробленого

програмного забезпечення на практиці реалізовано інтервальне прогнозування площі лазерних плям лазерної траси, інтервальне прогнозування числа хворих, які прибудуть на лікування, та інтервальне прогнозування індексу споживчих цін.

Ключові слова: інформаційна технологія, нечітка модель, інтервальна нечітка множина типу-2, інтервальне прогнозування, часова послідовність, невизначеність.

Чеборака А. В. Информационная технология интервального прогнозирования временных последовательностей на основе нечетких множеств второго типа. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2010.

Диссертация посвящена разработке новой информационной технологии интервального прогнозирования временных последовательностей на основе интервальных нечетких множеств второго типа в условиях неопределенности.

Проведен анализ существующих методов интервального прогнозирования временных последовательностей, на основе которого выбрано направление и определены задачи исследования.

Предложена обобщающая интервальная нечеткая модель второго типа для интервального прогнозирования временных последовательностей, которая состоит из множества интервальных нечетких моделей второго типа с разным числом входов и блока агрегации интервальных прогнозов этих моделей. Использование множества интервальных нечетких моделей второго типа позволяет получить более качественный интервальный прогноз сравнительно с единой наилучшей интервальной нечеткой моделью второго типа, которая является частичной моделью обобщающей интервальной нечеткой модели второго типа.

Предложен метод агрегации интервальных прогнозов частичных моделей обобщающей интервальной нечеткой модели второго типа, который позволяет вычислить интервальный прогноз обобщающей модели. Этот метод обеспечивает получение более узкого интервального прогноза сравнительно с наилучшей частичной моделью путем пересечения интервальных прогнозов частичных моделей в случае существования этого пересечения.

Предложен показатель качества нечетких моделей на основе интервальных нечетких множеств второго типа для интервального прогнозирования временных последовательностей, который определяется отношением среднеквадратичной ширины интервального прогноза на учебной и тестовой выборках, что позволяет оценить уровень обобщающих возможностей нечеткой модели и ее адекватность предметной области.

Предложен метод построения обобщающей интервальной нечеткой модели второго типа для интервального прогнозирования временных последовательностей. Суть этого метода заключается в исследовании зависимости качества интервального прогнозирования построенных адекватных интервальных нечетких моделей второго типа от числа их входов, что позволяет определить порядок включения адекватных интервальных нечетких моделей второго типа в структуру обобщающей интервальной нечеткой модели второго типа. Это обеспечивает получение адекватной предметной области обобщающей интервальной нечеткой модели второго типа. Построение интервальных нечетких моделей второго типа происходит на основе адекватных нечетких моделей первого типа, которые прошли этапы уменьшения избыточности базы правил и обучения с помощью генетического алгоритма.

Разработана информационная технология интервального прогнозирования временных последовательностей на основе предложенных модели и методов. Использование этой информационной технологии на практике позволяет вычислять более узкий интервальный прогноз и этим самым повысить его практическую ценность.

Исследованы функциональные возможности предложенной модели, метода и

информационной технологии на основе интервальных нечетких множеств второго типа на примерах решения задач интервального прогнозирования площади лазерных пятен лазерной трассы, интервального прогнозирования числа больных, которые придут на лечение в санаторий "Подолья", и интервального прогнозирования индекса потребительских цен. Построенные обобщающие интервальные нечеткие модели второго типа позволили вычислить более узкие интервальные прогнозы, чем интервальные нечеткие модели второго типа, а также продемонстрировали высший уровень обобщающих возможностей экспериментальных данных. Числовые характеристики уменьшения среднеквадратичной ширины интервального прогноза на тестовой выборке такие: 14% при прогнозировании площади лазерных пятен, 29% при прогнозировании числа больных, которые прибывали на лечение в санаторий "Подолья", и 29% при прогнозировании индекса потребительских цен.

Функциональные возможности предложенной модели, метода и информационной технологии также подтверждены путем сравнения результатов решения задач интервального прогнозирования площади лазерных пятен лазерной трассы и интервального прогнозирования числа больных, которые придут на лечение в санаторий "Подолья", с помощью предложенной информационной технологии и нечеткого метода группового учета аргументов. На обеих задачах обобщающая интервальная нечеткая модель второго типа позволила в среднем вычислить более узкий интервальный прогноз.

Разработано программное обеспечение, которое позволяет на практике решать задачи интервального прогнозирования временных последовательностей на основе предложенных модели, метода и информационной технологии. С помощью этого программного обеспечения на практике было реализовано интервальное прогнозирование площади лазерных пятен лазерной трассы, интервальное прогнозирование числа больных, которые придут на лечение в санаторий "Подолья", и интервальное прогнозирование индекса потребительских цен.

Результаты диссертационной работы внедрены в ООО "Санаторий "Подолья" и в учебный процесс кафедры вычислительной техники Винницкого национального технического университета.

Ключевые слова: информационная технология, нечеткая модель, интервальное нечеткое множество второго типа, интервальное прогнозирование, временная последовательность, неопределенность.

Cheboraka O. V. Information technology of interval forecasting of time-series on the basis of type-2 fuzzy sets. – A manuscript.

The thesis for a Ph.D. science degree by specialty 05.13.06 – information technologies. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2010.

Dissertation is devoted to development of new information technology of interval forecasting of time-series on the basis of interval type-2 fuzzy sets under uncertainty conditions. The aggregating interval type-2 fuzzy model which consists of a collection of interval type-2 fuzzy models (partial models) for interval forecasting of time series is proposed. The aggregation method of interval forecasts of partial models of aggregating interval type-2 fuzzy model is proposed. The quality parameter of interval type-2 fuzzy models for interval forecasting of time series is proposed. The method of building aggregating interval type-2 fuzzy model is proposed. The information technology of interval forecasting of time-series on the basis of proposed model and methods is developed. The software that allows to solve interval forecasting problems of time series in practice is developed. With the help of proposed information technology and developed software, interval forecasting of spot area of laser trace, of patients number which will come for treatment and of consumer price index is performed.

Key words: information technology, fuzzy model, interval type-2 fuzzy set, interval forecasting, time-series, uncertainty.

Підписано до друку 24.02.2010 р. Формат 29,7×42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2010-031
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі Вінницького
національного технічного університету
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59