

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ
ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет
імені Олеся Гончара

ISSN 2312-119X

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ТОМ 19

Збірник наукових праць

Дніпропетровськ
ЛІРА
2015

УДК 519.689:519.254
ББК 32.973.202

A 43

Описано задачу автоматизованої обробки даних, інформаційну технологію сучасних обчислювальних процедур більш адекватного відображення експериментальних даних у системах моніторингу. Досліджено обчислювальні процедури сплайн-перетворень, які застосовані у системах ГІС та прийняття рішень, прикладні задачі інформаційних технологій.

Для науковців, аспірантів та фахівців у галузі інформатики.

A43 Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій : зб. наук. пр. / наук. ред. О. Г. Байбуз. – Д. : Ліра, 2015. – Т.19. – 146 с.
ISSN 2312-119X

Описаны задачи автоматизированной обработки данных, информационная технология современных вычислительных процедур более адекватного отображения экспериментальных данных в системах мониторинга. Исследованы вычислительные процедуры сплайн-преобразований, примененных в системах ГИС и принятия решений, прикладные задачи информационных технологий.

Для научных сотрудников, аспирантов и специалистов в области информатики.

УДК 519.689:519.254
ББК 32.973.202

Рекомендовано вченою радою

Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара

Науковий редактор
доктор технічних наук, професор **О.Г. Байбуз**

Редакційна колегія:

д-р техн. наук, проф. **О.М. Карпов** (заст. наук. ред.); д-р техн. наук, проф. **В.П. Малайчук**; д-р техн. наук, проф. **О.М. Петренко**; д-р техн. наук, проф. **О.Г. Яковенко**; д-р техн. наук, проф. **С.В. Голуб**; д-р техн. наук, проф. **В.О. Доровський**; д-р техн. наук, проф. **Бейсенби Мамирбек Аукесбайули**; канд. техн. наук, доц. **О.М. Мацуга** (відп. секр.)

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. **Б.І. Мороз**
д-р техн. наук, проф. **М.О. Шутко**

© Дніпропетровський національний
університет імені Олеся Гончара, 2015
© ЛІРА 2015
© Автори статей, 2015

УДК 681.519:622.276

С.В. Гавришук, В.М. Юрчишин, В.М. Краєцький

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЗАВОДНЕННЯ НАФТОВОГО ПОКЛАДУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКО-ЛІНГВІСТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Розглянуто задачу вибору способу розташування водонагнітальних та видобувних свердловин при заводненні нафтового покладу. Запропоновано методологію оптимізації процесу прийняття рішення з використанням нечіткого підходу до формалізації знань у заданій предметній області. Описано структуру та функціональні можливості створеного програмного продукту, що дозволяє оцінювати ефективність впровадження найбільш поширених систем заводнення нафтових покладів відповідно до заданих користувачем даних геолого-технологічної характеристики покладу.

Ключові слова: заводнення нафтового родовища, система заводнення, система підтримки прийняття рішень, моделювання знань, лінгвістична змінна, нечітка база знань.

Рассмотрена задача выбора способа расположения нагнетательных и добывающих скважин при заводнении нефтяной залежи. Предложена методология оптимизации процесса принятия решения с использованием нечеткого подхода к формализации знаний в заданной предметной области. Описана структура и функциональные возможности программного продукта, позволяющего оценивать эффективность внедрения наиболее распространенных систем заводнения нефтяных залежей в соответствии с заданными пользователем данными геолого-технологической характеристики залежи.

Ключевые слова: заводнение нефтяного месторождения, система заводнения, система поддержки принятия решений, моделирование знаний, лингвистическая переменная, нечеткая база знаний.

An approach how to locate injection and production wells in oil deposits during waterflooding is considered. An optimizing methodology of decision-making based on fuzzy approach to formalization of knowledge in the subject area is offered. A created software allows to evaluate the efficiency of the most widespread flooding pattern types according to geological and technological characteristics of the deposit.

© Гавришук С.В., Юрчишин В.М., Краєцький В.М., 2015

Keywords: waterflooding, injection pattern, decision making, knowledge base, intellectual information system, linguistic variable, fuzzy sets.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Процес заводнення є одним із головних методів впливу на нафтові поклади з метою підтримки пластового тиску для підвищення нафтовіддачі пластів [1]. У процесі його реалізації тиск води, який витісняє нафту, створюють її запомпуюванням з поверхні через систему нагнітальних свердловин. Обрана система розташування свердловин може бути ефективною при одних геолого-фізичних параметрах системи «пласт-вуглеводні» і збитковою при інших. Задача розміщення свердловин по площі покладу в процесі його заводнення вимагає врахування багатьох критеріїв, додатковими обмеженнями до яких можуть бути особливості підземної гідромеханіки, питання буріння і спорудження свердловин та наземних споруд, крім того, завдання може ускладнюватися геологічною та економічною невизначеністю. Невизначеність інформації про нафтогазовий об'єкт обумовлена комплексом причин, головною з яких є унікальність кожного об'єкта, його масштабність, скритність, а також складність внутрішньої будови [2]. Робота зі складними системами призводить до зростання ризиків від прийняття неефективних рішень, результатом чого можуть бути негативні економічні та технічні чи соціальні наслідки. За обмежений час проектувальникам необхідно проаналізувати множину можливих варіантів систем розробки нафтового покладу із заводненням з різною конфігурацією нагнітальних та видобувних свердловин, виконуючи при цьому численні розрахунки. Використання сучасних інформаційних технологій дає можливість скоротити час розробки проектів, зменшити трудові затрати та підвищити якість прийнятих рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існує велика кількість досліджень, присвячених проблемі автоматизації вибору раціонального розміщення свердловин при вилученні нафти. Огляд розроблених інформаційних систем та технологій зроблено у [3; 4]. Існуючі програмні продукти орієнтовані, головним чином, на гідродинамічне моделювання роботи покладу та підрахунок характеристик системи видобування вуглеводнів при заданих координатах забою свердловин. З метою зменшення кількості запусків стимулятора вирішуються оптимізаційні задачі з використанням алгоритмів випадкового пошуку, еволюційних підходів, крекінгу, нейрон-нечітких технологій та ін. Питання

невизначеності у системах прийняття рішень компенсують за допомогою різноманітних методик штучного інтелекту. Такі підходи ґрунтуються на нечітких множинах і застосуванні лінгвістичних величин та висловлювань для опису стратегій прийняття рішень [5–7]. Особливо актуальним цей підхід є при розв’язанні завдання раціонального розміщення свердловин методом спрямованого перебору серед різних варіантів. У такому випадку сформований набір правил акумулює в собі знання та досвід експертів нафтової галузі. Використання теорії нечітких множин у задачах вибору способу взаємного розташування видобувних та нагнітальних свердловин може бути корисним тоді, коли параметри родовища незначною мірою відрізняються від критеріїв ефективності тієї чи іншої системи заводнення, а деякі системи розташування свердловин мають загальну зону застосування по цілому ряду параметрів.

Постановка цілей статті. Представимо задачу вибору системи заводнення нафтового покладу на формальному рівні наступним чином. Нехай задано множину альтернативних варіантів розробки нафтового покладу із заводненням залежно від схеми взаємного розміщення водонагнітальних та видобувних свердловин $Z = \{z_i : i = \overline{1; m}\}$ та множину геолого-технологічних критеріїв $G = \{g_l : l = \overline{1; n}\}$ для оцінки альтернатив. Необхідно визначити множину найкращих альтернатив (множина може складатися з одної альтернативи), оптимальних за ступенем їх ефективності впровадження в заданих геологічних умовах покладу.

Метою даного дослідження є розроблення методології вибору системи заводнення нафтового покладу на основі нечіткого підходу до формалізації знань та проектування відповідної інформаційної системи підтримки прийняття рішень.

Основний матеріал. Для вирішення поставленої задачі опишемо формально-логічні дослідження для побудови конструкцій представлення та використання знань про технологічний процес заводнення нафтових покладів. Вибір системи заводнення нафтового покладу представимо у вигляді об’єкта з n входами та одним виходом виду [8]:

$$Z = f_z(x_j)_{j=1}^n,$$

де Z – вихідна змінна; x_j – вхідні змінні. Для розв’язання задачі потрібно на основі інформації про вектор входів $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$

визначити вихід $z \in Z$. Вхідні та вихідна змінна розглядаються у вигляді лінгвістичних змінних відповідно. Універсальні множини, на яких задаються лінгвістичні змінні, представлено: для кількісних змінних – через область зміни, для якісних – як множину можливих значень. Для оцінки лінгвістичних змінних будемо використовувати нечіткі терм-множини $T = \{a_t : t = \overline{1, k}\}$, де k – кількість термів лінгвістичної змінної.

У ході проведених досліджень розглянуто 8 альтернативних варіантів розробки нафтового покладу із заводненням залежно від взаємного розташування водонагнітальних та видобувних свердловин [9]. Вихідна змінна $Z =$ «Системи заводнення» визначена на універсальній множині $U = [5\text{-точкова}, 7\text{-точкова}, 9\text{-точкова}, 5\text{-рядна}, 3\text{-рядна}, 1\text{-рядна}, \text{приконтурна}, \text{законтурна}]$ (рис.1). Загалом, розглянуті схеми розміщення свердловин є лише частиною з великої кількості способів організації заводнення на нафтовому родовищі, проте їх широке застосування протягом уже тривалого часу дозволяє виділити основні закономірності доцільності і ефективності їх впровадження.

Вхідні змінні $x_1..x_n$ характеризують геолого-технологічні показники, що мають найбільший вплив на вибір заданих систем заводнення:

x_1 – *проникність колектора* – основний фільтруючий параметр гірської породи, що характеризує її здатність пропускати через себе рідини при перепаді тиску. Видобувні можливості свердловин і пласта та його продуктивність залежать від величини проникності;

x_2 – *коефіцієнт піскуватості пласта* – це відношення об’єму пористої частини пласта до всього об’єму пласта в межах його продуктивної частини;

x_3 – *неоднорідність пластів по проникності* – непостійність чисельних значень проникності пласта по площі і по розрізу;

x_4 – *розчленованість розрізу продуктивного горизонту на пласти-колектори*, викликана чергуванням їх з непроникними пластами, кількість яких у межах покладу часто непостійна внаслідок неповсюдного залягання проникних і непроникних порід і зменшення нафтогазонасиченої товщини в периферійній зоні покладу;

x_5 – *спрямованість тріщинуватості* – особливість будови пластів, що полягає у певній лінійній спрямованості тріщин. Розміщуючи

ряди нагнітальних свердловин паралельно протяжності тріщин, можна значно збільшити площу охоплення заводненням;

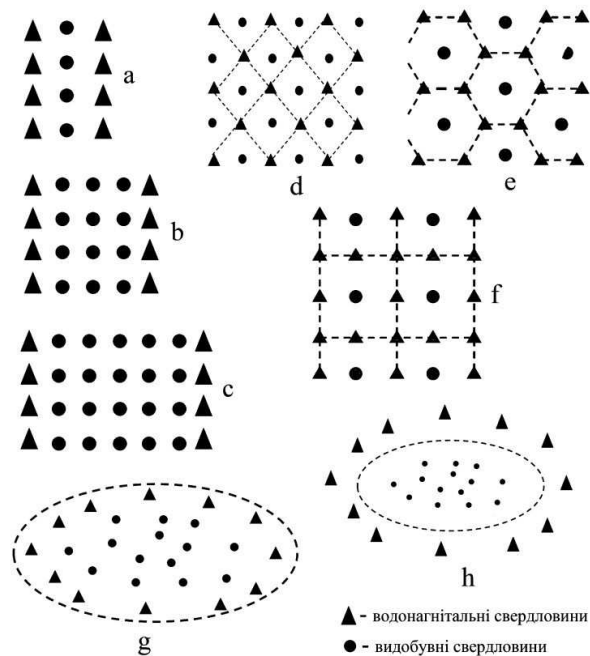


Рисунок 1 – Системи розробки нафтових покладів із заводненням:

а – однорядна; б – трирядна; с – п'ятирядна; д – п'ятиточкова;
е – семиточкова; ф – дев'ятиточкова; г – приконтурна; h – законтурна

x_6 – співвідношення динамічних коефіцієнтів в'язкостей нафти і води — показник, що характеризує темпи обводнення свердловин. Чим він більший, тим гірші умови вилучення нафти з покладу із застосуванням різних видів заводнення;

x_7 – ефективна нафтонасичена товщина пласта – сумарна товщина насичених нафтою прошарків порід-колекторів у пласті;

x_8 – гідропровідність пласта – здатність пласта-колектора пропускати крізь себе рідину, яка насичує його пори;

x_9 – площа покладу;

x_{10} – кількість пластів в експлуатаційному об'єкті. В об'єкті розробки може бути включений один, кілька, або всі пласти родовища;

x_{11} – продуктивність свердловини характеризує можливості пласта віддавати флюїди. При високій продуктивності пластів ступінь мінливості колекторських властивостей по площі найменша, що забезпечує рівномірне переміщення фронту витіснення.

Для оцінки вихідної змінної Z кожній із вхідних змінних $x_1 \dots x_{11}$ поставлено у відповідність лінгвістичну змінну та визначено її нечіткі терм-множини (табл. 1).

Таблиця 1

Терм-множини лінгвістичних змінних

Лінгвістична змінна	Терм-множини
Розмір покладу (X_1)	Малий (a_{11}), значний (a_{12}), великий (a_{13})
Товщина (X_2)	Мала (a_{21}), середня (a_{22}), велика (a_{23})
Піскуватість (X_3)	Низька (a_{31}), висока (a_{32})
Пористість (X_4)	Невелика (a_{41}), середня (a_{42}), велика (a_{43})
Розчленованість (X_5)	Слабка (a_{51}), значна (a_{52}), висока (a_{53})
Неоднорідність (X_6)	Однорідний (a_{61}), неоднорідний (a_{62})
Спрямованість тріщин (X_7)	Невиражена (a_{71}), виражена (a_{72})
Співвідношення в'язкостей (X_8)	Невисоке (a_{81}), значне (a_{82}), високе (a_{83})
Кількість пластів (X_9)	Мала (a_{91}), невелика (a_{92}), велика (a_{93})
Продуктивність (X_{10})	Низька (a_{101}), середня (a_{102}), Висока (a_{103})
Гідропровідність (X_{11})	Низька (a_{111}), середня (a_{112}), Висока (a_{113})
Системи заводнення (Z)	5-точкова (z_1), 7-точкова (z_2), 9-точкова (z_3), 5-рядна (z_4), 3-рядна (z_5), 1-рядна (z_6), приконтурна (z_7), законтурна (z_8)

Альтернативам $z_i \in Z$ задано функції належності μ_{ij} ($j = \overline{1, n}$, n – кількість критеріїв оцінки) нечітким множинам лінгвістичних змінних, що виражають ефективні інтервали значень геолого–технологічних параметрів для успішного впровадження тієї чи іншої системи заводнення. Функція належності інтерпретується як суб'єктивна міра та являє собою відображення $\mu_{ij} \rightarrow [0..1]$.

Використання нечіткого підходу дозволяє відійти від жорстких границь критеріїв, та враховувати деякий перехідний інтервал значень параметрів. Досліджувані параметри покладу, значення яких потрапляють у перехідний інтервал, присвоюється нижче значення ступенів належності ефективним інтервалам застосування тієї чи іншої системи заводнення.

Проведені дослідження дозволили сформулювати набір правил, де в якості умов і висновків використовуються нечіткі висловлювання з вибору системи заводнення нафтового покладу, які було формалізовано на основі нечіткого підходу з використанням лінгвістичних змінних. Приклад відповідної логіко-лінгвістичної моделі подано у вигляді матриці знань у табл. 2.

Таблиця 2

Матриця знань з вибору системи заводнення нафтового покладу

ЯКЩО											ТО
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	Z
–	a_{21}	a_{31}	a_{41}	a_{51}	a_{62}	a_{71}	a_{83}	a_{91}	a_{101}	a_{111}	z_1
⋮											
a_{12}	a_{21}	a_{31}	a_{41}	a_{53}	a_{62}	a_{72}	a_{83}	a_{93}	a_{101}	a_{111}	z_7
a_{11}	a_{23}	a_{32}	a_{43}	a_{53}	a_{61}	a_{71}	a_{81}	a_{92}	a_{102}	a_{113}	z_8

Тому правило «5-точкова площинна схема розташування свердловин застосовується, в основному, для розробки

низькопродуктивних, з низькою гідропровідністю, сильно неоднорідних по проникності, невеликою піскуватістю і слабкою розчленованістю покладів» можна формалізувати наступними чином:

ЯКЩО

$$X_{10} \in a_{101} \text{ I } X_{11} \in a_{111} \text{ I } X_6 \in a_{62} \text{ I } X_3 \in a_{31} \text{ I } X_5 \in a_{51} \text{ (1)}$$

$$\text{ТО } Z \in z_1.$$

Вибір рішення $z^* \in Z = \{z_1, \dots, z_m\}$ для вектора вхідних змінних $X = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ будемо наступними чином:

1. Вектор вхідних змінних $X = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ порівнюємо з вектором функцій належності $\mu_i^{z_i} = \langle \mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{ij} \rangle, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ матриці знань для обчислення ступенів належності c_{ij} вхідних даних ефективним інтервалам значень критеріїв альтернативи z_i .

2. Для кожного вектора оцінок $C_i = \langle c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ij} \rangle$ обчислюємо результуючий показник:

$$\overline{c}_i = \min[c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ij}] = c_{i1} \wedge c_{i2} \wedge \dots \wedge c_{ij} \quad (2)$$

3. Визначаємо значення вихідної змінної z^* , результуючий показник $\overline{c}_i$ якої має максимальне значення:

$$\overline{c} = \max[\overline{c}_1, \overline{c}_2, \dots, \overline{c}_m] = \overline{c}_1 \vee \overline{c}_2 \vee \dots \vee \overline{c}_m \quad (3)$$

Таким чином, співвідношення (1), що встановлює зв'язок між вхідним параметрами $x_1..x_n$ та вихідною змінною Z , формалізовано шляхом використання нечітких лінгвістичних висловлювань виду (2) на основі запропонованої матриці знань. Альтернатива, що відповідає знайденому значенню вихідної змінної, є рішенням задачі для вектора вхідних змінних $X = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$, оскільки її характеристики максимально відповідають ефективним інтервалам значень критеріїв для успішного впровадження тієї чи іншої системи заводнення.

Розглянутий підхід використано при проектуванні програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень щодо вибору схеми взаємного розташування водонагнітальних та видобувних свердловин при заводненні нафтових покладів. FloodingPattern є веб-орієнтованою аплікацією, що дозволяє оцінювати ефективність впровадження найбільш поширених у практиці розробки родовищ вуглеводнів

систем заводнення на основі інформації про геолого-фізичні характеристики покладу та властивості пластових флюїдів. Алгоритм процесу формування рішення при роботі з програмою представлено на рис. 2.



Рисунок 2 – Процес формування рішення при роботі з FloodingPattern

У структуру інформаційної системи входять чотири основні модулі: *підсистема взаємодії з користувачем* (забезпечує роботу з програмою у режимі користувача чи адміністратора бази знань); *підсистема генерації рішення* (визначає ефективність впровадження систем заводнення, інформація про які міститься в базі знань, на основі введених користувачем даних); *підсистема набуття знань* (дозволяє вносити в базу знань чи коригувати правила з вибору системи заводнення по мірі нагромадження досвіду розробки нафтових родовищ та налаштовувати параметри функцій належності нечітких змінних критеріїв), *підсистема контролю адекватності рішення* (дозволяє здійснювати перевірку генерованого системою рішення, переглянувши проміжні значення розрахунків за кожним із критеріїв у вкладці "Таблиця ефективності застосування" чи скориставшись допоміжною базою знань).

Результати роботи інформаційної системи відображаються на екрані у вигляді стовпцевої діаграми на головній сторінці проекту, куди виводяться розраховані значення коефіцієнтів ефективності застосування кожної з систем заводнення при заданих вхідних значеннях геолого-фізичних умов покладу та технологічних параметрів розробки (рис. 3).

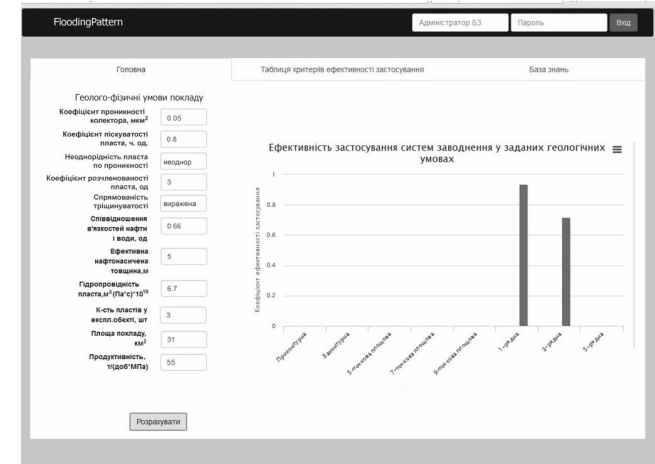


Рисунок 3 – Головна сторінка інформаційної системи FloodingPattern

У випадку близьких значень коефіцієнтів застосовності, до аналізу залучаються критерії, що не піддаються формалізованому кількісному оцінюванню – підказки та обмеження, які знаходяться в допоміжній базі знань у вигляді правил лінгвістичного характеру.

FloodingPattern побудована за трирівневою архітектурою: клієнт – сервер – база даних. Клієнтська частина представляє собою HTML сторінку, побудовану за технологією Java Server Page з використанням бібліотек HighCharts та JQuery і css фреймворку Bootstrap. Серверна частина написана мовою Java та служить для обробки і передачі даних, необхідних клієнту. Взаємодія між клієнтською і серверною частиною відбувається з використанням технології RESTful Web Services. База даних написана мовою структурованих запитів SQL, містить 8 таблиць, зв'язаних між собою зв'язками у вигляді відношень між первинними і вторинними ключами. У базі даних зберігається інформація, якою оперує користувач при взаємодії із системою генерації рішень (таблиці parameters, results, intermediate,

intermediatetoflooding), матриця знань з вибору системи заводнення нафтового покладу (таблиці flooding, criteria, caption) та вектор функцій належності нечітких термів (таблиця therm_set).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Розроблена інформаційна система дозволяє зменшити кількість обчислень у процесі прийняття рішення щодо вибору системи заводнення нафтового покладу шляхом скорочення числа альтернативних варіантів до кількох, що є найбільш ефективними у заданих геологічних умовах. На даній стадії досліджень виконано етап структурної ідентифікації, що полягає у побудові моделі процесу генерації рішення з параметрами, що підлягають налагодженню. Подальші дослідження будуть спрямовані на уточнення форм функцій належності нечітких термів, з допомогою яких оцінюються входи та виходи інформаційної системи, шляхом аналізу статистичних даних розробки нафтових покладів із заводненням.

Бібліографічні посилання

1. Довідник з нафтогазової справи / [за заг. ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука]. – Львів: Місіонер, 1996. – 620 с.
2. **Юрчишин В. М.** Інформаційне моделювання нафтогазових об'єктів : [монографія] / В. М. Юрчишин, В. І. Шекета, О. В. Юрчишин. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – 192 с.
3. **Бурма С. В.** Аналіз використання інформаційних технологій при заводненні нафтових родовищ / С.В. Бурма, В.М. Юрчишин // Нафтова і газова промисловість. – 2007. – № 5. – С. 48–49.
4. **Гавришук С. В.** Використання програмних засобів при управлінні процесом заводнення нафтових родовищ // Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики: матеріали XVI Всеукраїнської наук. конф. (8–9 жовтня 2009 р., Львів). – Л. : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009. – С. 60–61.
5. **Гавришук С. В.** Застосування м'яких обчислень при розробці інформаційних технологій управління знаннями фахівців нафтогазової справи / С.В. Гавришук, В.М. Юрчишин // Сучасні засоби розроблення інформаційних систем: матеріали Міжнародної науково-практ. конф. (20–21 листопада 2008 р., Харків). – Х. : ХНЕУ, 2008. – № 15. – С. 144–145.
6. Фазі-логіка в системах керування : навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, І. І. Чигур, М. В. Шавранський, В. С. Борин. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2002. – 84 с.

7. **Алтуний А. Е.** Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : [монография] /А.Е. Алтуний, М.В. Семухин. – Тюмень : Изд-во ТГУ, 2000. – 352 с.

8. **Ротштейн А. П.** Интеллектуальные технологии интенсификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница : Инверсия-Винница, 1999. – 320 с.

9. **Гавришук С. В.** Концептуальний підхід до створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень при заводненні нафтового родовища / С.В. Гавришук, Т.В. Дитко, В.М. Юрчишин // Научные труды SWorld. – Иваново : Научный мир, 2015. – № 2 (39), Т. 2. – С. 41–45.

Надійшла до редколегії 27.10.15

УДК 004.827

В.А. Крислов, Е.А. Городничая

*Одесский национальный политехнический университет***МАСШТАБЫ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Рассмотрены типы шкал и преобразования масштабов временных характеристик. На основании типов шкал предложены преобразования масштабов временных характеристик. Описание преобразования масштабов временных характеристик позволяет определить операции, которые можно проводить в условиях неопределенности при разных типах шкал у сравниваемых объектов.

Ключевые слова: типы шкал, преобразования масштабов временных характеристик, временные характеристики, неопределенность.

Розглянуто типи шкал і перетворення масштабів часових характеристик. На підставі типів шкал запропоновано перетворення масштабів часових характеристик. Опис перетворення масштабів часових характеристик дозволяє визначити операції, які можна проводити в умовах невизначеності при різних типах шкал у порівнюваних об'єктах.

Ключові слова: типи шкал, перетворення масштабів часових характеристик, часові характеристики, невизначеність.

Reviewed the types of scales and temporal characteristics of the scale transformation. Based on the types of scales proposed conversion of the time scale characteristics. Description scale transformation temporal characteristics to determine the operation, which can be carried out in conditions of uncertainty under the condition of different types of objects to be compared in scales.

Keywords: types of scales, transformation the temporal characteristics of the scale, temporal characteristics uncertainty.

Постановка задачи. Принятие решений во всех без исключения областях деятельности человека связано со сбором и обработкой информации: сроки выполнения договоров, происхождение событий, датировка исторических экспонатов и т.д.

Над временными характеристиками могут выполняться различные операции: формирование описания временных характеристик, операции передачи и хранения временных характеристик, операции поиска, сравнения, упорядочивания, группировки событий и

© Крислов В.А., Городничая Е.А., 2015

процессов [1; 2]. Одинаковые операции над временными характеристиками могут вычисляться по-разному, это зависит от шкалы, на которой описана временная характеристика: шкала отношений, интервалов, порядка, абсолютная шкала. Поэтому важно описать типы шкал и преобразования масштабов временных характеристик.

Постановка цели. Целью данной работы является описание типов шкал и преобразование масштабов временных характеристик в случаях, когда они описаны на различных типах шкал и с различной степенью подробности, для формирования операций над временными характеристиками.

Основной материал. Описание временных характеристик. Объемы хранимой и обрабатываемой информации в современных БД увеличиваются экспоненциально. Это выдвигает особые требования к методам и средствам поиска и обработки информации. Но при поиске объекта, который описан в условиях неопределенности, в случае, когда существует эталон, можно найти лишь приближенные к необходимым данным объекты. Одной из причин, которая препятствует качественному поиску объектов в базах данных, является неопределенность описания временных характеристик объектов, т.к. лишь приблизительно известно, когда произошло интересующее событие.

Предлагается описывать временные характеристики объектов и запросов в виде лингвистических переменных, т.к. нечеткость описания временной характеристики, а также использование различных шкал (шкала отношений, интервалов, порядка, абсолютная шкала) при описании объекта затрудняет дальнейший анализ и поиск временного промежутка исторических событий [3].

Виды временных характеристик. Определение. Шкала – это знаковая система, для которой задано отображение, ставящее в соответствие реальным объектам тот или иной временной элемент шкалы.

В зависимости от требуемой точности входных данных используются различные типы измерительных шкал. В практике научных исследований получили распространение такие типы шкал: абсолютная шкала, шкала отношений, шкала интервалов, шкала порядка и шкала наименований [4].

При сравнении временных объектов важно на какой шкале измерения и с какой подробностью были описаны временные характеристики, т.к. при изменении масштаба шкалы нечеткие

переменные временных характеристик могут принимать вид четких значений либо наоборот. Таким образом, операции над временными характеристиками можно разделить на операции внутри одной шкалы, либо на операции на разных шкалах. В случае операций над временными характеристиками, которые имеют различные шкалы, изменяется масштаб шкалы одной из них.

Будем различать временные характеристики, которые описаны в условиях определенности и в условиях неопределенности. В условиях определенности, события принимают вид точечного значения, процессы – вид интервалов. В условиях неопределенности все временные характеристики принимают вид интервала с нечеткими границами. Таким образом, можно предложить следующую классификацию временных характеристик: точечное значение, интервал с детерминированными границами, интервал с нечеткими границами.

Определение. Точечное значение – неделимый момент времени, смысл которого задается масштабом шкалы.

Определение. Интервал – это пространство временных значений, имеющее одну или несколько границ.

Чаше всего под интервалом понимают диапазон значений, ограниченный с двух сторон, но также существуют интервалы с одной границей. Количество границ интервала называется его граничностью. Тогда интервалы с одной границей это 1-граничные интервалы (или просто 1-интервалы), интервалы с двумя границами – 2-граничные интервалы. Для интервалов с двумя границами будем выделять специальный вид интервалов – минимальные.

Определение. Минимальным называется интервал, который состоит из двух соседних точек на шкале.

1-граничные интервалы делятся на интервалы: «не позже чем» – на таких интервалах указано до какого времени длится событие, без указания начала события, «не раньше чем» – на таких интервалах указано от какого времени ведется отсчет события и не указано, когда событие закончено.

Типы измерительных шкал. В зависимости от требуемой точности входных данных, используются различные типы измерительных шкал. В практике научных исследований получили распространение такие типы шкал:

- количественные шкалы: абсолютная шкала (шкала отношений), шкала интервалов;
- качественные: шкала порядка и шкала наименований [4].

Количественные шкалы

Представление данных на шкалах первых двух типов является наиболее информативным. Эти шкалы содержат количественные данные. Абсолютная шкала удобна для записи количества элементов в некотором конечном множестве. Шкала интервалов используется для измерения весов, длин, температур. Они также удобны в тех случаях, когда не известны единицы измерения данных, но необходимо сохранять масштаб расположения значений данных на шкале. Эти типы шкал называют сильными, количественными или арифметическими [4].

Интервальная шкала – это шкала, классифицирующая по принципу "больше на определенное количество единиц – меньше на определенное количество единиц". Шкала представляет собой полностью упорядоченный ряд с измеренными интервалами между пунктами, причем отсчет начинается с произвольно выбранной величины. Каждое из возможных значений признака стоит от другого на равном расстоянии. Таким образом, в шкале интервалов нулевая точка отсчета может устанавливаться произвольно, а величины единиц и направление отсчета могут определяться по избираемым константам. Эквивалентные интервальные шкалы могут быть линейно преобразованы друг в друга, что позволяет приводить результаты тестирования к общим шкалам и таким образом осуществлять сравнение показателей [5]. Интервальная шкала отражает информацию об отношениях больше/меньше, равенства/неравенства и операциях сложения/вычитания между значениями данных. На данной шкале можно описывать свойства предметов. Например, дата (с 1457 до н.э до 2013 н.э), широта (от $+90^\circ$ до -90°), температура (от 10°C до 20°C).

Абсолютная шкала. Измерение в этой шкале отличается от интервального только тем, что в ней устанавливается нулевая точка, соответствующая полному отсутствию выраженности измеряемого свойства [5]. На данной шкале можно описывать возраст. Абсолютная шкала отражает информацию об отношениях больше/меньше, равенства/неравенства и операциях сложения/вычитания и умножения/деления между значениями данных.

Качественные шкалы

Шкалы порядка и наименований менее информативны и используются, как правило, для представления качественных данных. Их называют слабыми, или качественными шкалами [4].

Ранговая, или порядковая шкала (неметрическая) как результат ранжирования. Как следует из названия, измерение в этой шкале

предполагает приписывание объектам чисел в зависимости от степени выраженности измеряемого свойства. Можно ранжировать всех испытуемых по интересующему нас свойству на основе экспертной оценки или по результатам выполнения некоторого задания и приписать каждому испытуемому его ранг. Или предложить испытуемым самим определить выраженность изучаемого свойства, пользуясь предложенной шкалой (5–7- или 10-балльной).

Существует множество способов получения измерения в порядковой шкале. Но суть остается общей: при сравнении испытуемых друг с другом мы можем сказать, больше или меньше выражено свойство, но не можем сказать, насколько больше или насколько меньше оно выражено, а уж тем более – во сколько раз больше или меньше. При измерении в ранговой шкале, таким образом, из всех свойств чисел учитывается то, что они разные, и то, что одно число больше, чем другое [5].

Шкала порядка сохраняет лишь порядок следования значений измеряемых величин, то есть отражает информацию только об отношениях больше/меньше и равенства/неравенства между значениями данных. На данной шкале можно описывать дихотомические свойства предметов, например: пол (мужской, женский), и недихотомические, например: национальность (украинец, русский, китаец и т.д.).

Номинативные шкалы (шкалы наименований) – шкалы, устанавливающие соответствие признака тому или иному классу. Название не измеряется количественно, оно лишь позволяет отличить один объект от другого. Признак, который измеряется по дихотомической шкале наименований, называется альтернативным. Он может принимать всего *два значения*. Привычные операции с числами – упорядочивание, сложение-вычитание, деление – при измерении в номинативной шкале теряют смысл. При сравнении объектов мы можем делать вывод только о том, принадлежат они к одному или разным классам, тождественны или нет по измеренному свойству. Несмотря на такие ограничения, номинативные шкалы широко используются в психологии, и к ним применимы специальные процедуры обработки и анализа данных.

Единица измерения в шкале порядка – расстояние в один класс или в один ранг, при этом расстояние между классами и рангами может быть разным (оно нам не известно). При операциях с числами порядковой шкалы необходимо помнить, что интервалы в шкале не равны, поэтому числа обозначают лишь порядок следования

признаков. И операции с числами – это операции с рангами, но не с количественным выражением свойств в каждом пункте [5].

Шкала наименований ещё менее информативна, чем шкала порядка. Она хранит информацию лишь об отношениях $=$ и $\neq$. Эта шкала используется для представления таких данных как собственные имена, всевозможные названия и т.д. Информация, которую можно получить в такой шкале – наличие либо отсутствие определённого свойства у объекта.

На данной шкале можно описывать дихотомические свойства предметов, например: состояние здоровья (здоровый, больной), красота (красивый, уродливый), и недихотомические, например: мнение (полностью согласен, скорее согласен, полностью не согласен).

Преобразования масштабов временных характеристик на шкалах. При сравнении временных объектов важно, на какой шкале измерения и с какой подробностью были описаны временные характеристики, т.к. при изменении масштаба шкалы нечеткие переменные временных характеристик могут принимать вид четких значений либо наоборот. Таким образом, операции над временными характеристиками можно разделить на операции внутри одной шкалы, либо на операции на разных шкалах.

Процесс перехода от одной шкалы к другой и формирования более общих понятий носит название грануляции.

Для дальнейшего изложения материала введём две ограничительные гипотезы.

Гипотеза 1. Будем различать понятия шкалы и измерения. Под шкалой будем понимать некоторую абстракцию для отображения свойств некоторой математической характеристики. Под измерением будем понимать ограниченный фрагмент шкалы, для которого заданы шаг и верхняя и нижняя границы – максимальное и минимальное значения данных. Исходя из этого, очевидно, что пространство измерений всегда ограничено, таким образом, всегда существует конечное, дискретное число значений измерения.

Таким образом, любой временной домен $(T; \leq)$, на основании которого задаётся любая грануляция G , всегда дискретен и имеет конечное число значений.

Гипотеза 2. Пусть на некотором временном домене $(T; \leq)$ задана грануляция G , тогда:

$$n_G \leq n_T,$$

где n_T – число значений во временном домене T , n_G – число гранул, полученных в результате грануляции G .

Преобразования над временными характеристиками, которые описаны на различных шкалах. Очевидно, что информации, содержащейся в количественных шкалах, достаточно, чтобы сделать ее однозначное отображение на качественные шкалы. Обратное отображение неоднозначно и требует использования неформализованных методов преобразования.

Выбор шкалы для измерения входных данных обусловлен:

- точностью представления данных, которая необходима и достаточна для решения конкретной задачи;
- возможностью получения входных данных с требуемой точностью, например, возможностями измерительных приборов.

А значит, могут возникнуть две ситуации:

- выбрана более информативная шкала, чем требуется;
- выбрана менее информативная шкала.

В первом случае, при использовании «слишком» информативной шкалы, входные данные приобретают большую подробность, чем это необходимо, что влечёт за собой затраты времени на обработку «слишком» подробных данных, требуются более сложные приборы измерения, сбор информации становится более трудоёмким. При этом входные данные становятся более подвержены «помехам» — случайным колебаниям значений. Это повышает риск принятия некорректных решений системой на основе этих случайных значений входных данных. Таким образом, если требуемая точность входных данных для конкретной задачи невысока, то имеет смысл переходить от количественных шкал к качественным шкалам. Тем более, что такой переход однозначен.

Во втором случае — выбранная измерительная шкала менее информативна, чем требуется для решения задачи. Например, выбрана шкала порядка, в то время как требуется представление данных на абсолютной шкале. В результате невозможно получить решение задачи с требуемой точностью. Сложность этой ситуации в том, что невозможно совершить однозначное преобразование от слабой шкалы к более сильной. Таким образом, для того чтобы использовать уже полученные данные, необходимо привлечь знание экспертов и на базе слабо формализованных процедур провести это преобразование. Второй способ разрешения такой ситуации — произвести повторное получение данных в новых, более информативных шкалах, если это возможно.

Преобразования над временными характеристиками, которые описаны на одном типе шкалы. Для описания временных характеристик объектов используем пять лингвистических переменных:

1. «Век». Поскольку рассматривается временной домен $[0; 100]$, то этой лингвистической переменной соответствует единственное значение нечёткого множества «век».

2. «Половина века» = («первая», «вторая»).

3. «Треть века» = («первая»; «вторая»; «последняя»).

4. «Часть века» = («начало века»; «середина века»; «конец века»)

5. «Четверть века» = («первая»; «вторая»; «третья»; «последняя»).

6. «Год».

Таким образом, при использовании одного типа шкал подробность, с которой описаны временные характеристики объектов, также могут различаться.

При сравнении временных характеристик, каждая из которых описана с помощью различных лингвистических переменных, имеет место:

– свертка — в случаях, когда более детальную временную характеристику сворачивают к более абстрактной. Например, временную характеристику, описанную лингвистической переменной «треть века», представляют в виде лингвистической переменной «век».

– декомпозиция — в случаях, когда менее детально описанную временную характеристику описывают с большей подробностью. Например, временную характеристику, описанную лингвистической переменной «треть века», приставляют в виде лингвистической переменной «четверть века».

Пример. Необходимо отсортировать две временные характеристики:

- «Гидрия. Аттика» (530–520 гг. до н.э.) — представлена с помощью лингвистической переменной «год».

- «Амфора. Аттика» (I четверть V века) — представлена с помощью лингвистической переменной «четверть века».

Для того чтобы отсортировать две временные характеристики, представленные с помощью различных лингвистических переменных, необходимо привести их к одному виду. В данном случае представим сосуд «Гидрия. Аттика» в виде лингвистической переменной «четверть века», т.е. произведем свертку: «Гидрия. Аттика» (I–II четверть V века). В данном случае, «Гидрия. Аттика» будет описана с

большей степенью неопределенности, по сравнению с «Амфора. Аттика».

Вывод. На основании классификации видов временных характеристик появляется возможность формализовать операции над временными характеристиками, которые были описаны в условиях неопределенности, а именно:

- формирование описания временных характеристик;
- операции передачи и хранения временных характеристик;
- преобразование масштабов;
- операции поиска, сравнения, упорядочивания, группировки событий и процессов, в том числе событий и процессов, которые имеют только одну границу.

Также были описаны типы шкал. На основании этого описания были предложены преобразования масштабов временных характеристики, которые:

- описаны с различной степенью подробности (представлены в виде разных лингвистических переменных);
- представлены на различных типах шкал: шкала отношений, интервалов, порядка, абсолютная шкала.

Описание преобразования масштабов временных характеристик позволяет проводить различные операции над временными характеристиками, а именно: операции поиска, сравнения, упорядочивания, группировки событий и процессов, в том числе событий и процессов, которые имеют только одну границу.

Библиографические ссылки

1. **Добронец Б. С.** Интервальная математика / Б.С. Добронец – Красноярск : Изд-во КГУ, 2004. – 216 с.
2. **Шарый С. П.** Конечномерный интервальный анализ / С.П. Шарый. – М. : Изд-во «XYZ», 2007. – 607 с.
3. **Крислов В. А.** Методика оценки релевантности результатов запросов к базам данных / В.А. Крислов, Е.А. Городничая // Труды Одесского политехнического ун-та. – 2015. – № 1 (45). – С. 121–127.
4. **Загоруйко Н. Г.** Прикладные методы анализа данных и знаний / Н. Г. Загоруйко – Новосибирск : ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
5. Шкалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met90/met90.html>

Надійшла до редколегії 27.10.15

УДК 534.4:612.78

О.Н. Карпов

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ, АРТИКУЛЯЦИИ И МИМИКИ В РЕЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Описана задача комплексного применения речи артикуляции и мимики в речевых технологиях.

Ключевые слова: артикуляция, мимика, речевые технологии.

Наведено опис задачі комплексного застосування мовлення і артикуляції та міміки в мовленнєвих технологіях.

Ключові слова: артикуляція, міміка, мовленнєві технології.

In the article were the description of the task of the complex application of the speech, of the articulation, of the facial expression in the speech technology.

Keywords: articulation, a facial expression in the speech technology.

Введение. В работе [1] описано устройство распознавания речи, основанное на применении составного микрофона: обычный микрофон возле губ, носовой и ларингофон, что обеспечивает акустическое поле пространственного вида. В работе [2] описана система распознавания речи, в которой применены пространственные свойства речи. Система позволяла вводить программы на алгоритмическом языке АКИ-Т. В работе [3] приведена модель артикуляции лица, в которой движутся губы в такт произносимой фонемы (рис. 1).

Основная часть. Задачей является совместное использование акустического поля и видеоизображения, в котором представлены артикуляция и мимика. Даже в обычной речи видна мимика для носовых звуков "м, н" и назализованных гласных фонем "ма - мы, на - ны", что является видеопараметром при распознавании речи. С другой стороны, видеопараметры информативны при распознавании индивидуальности и функционального состояния говорящего.

Устройство автоматического распознавания речевых команд (рис. 2), произносимых в условиях акустических помех, содержащее блок

© Карпов О.Н., 2015

микрофонов 1, блок микрофонных усилителей 2, блок измерителей параметров 3, блок управляемых логических элементов 4, блок памяти 5 и блок принятия решения 6, соединенные последовательно, и блоки обнаружения изменений параметров колебания 7 и формирования импульсов опроса 8.

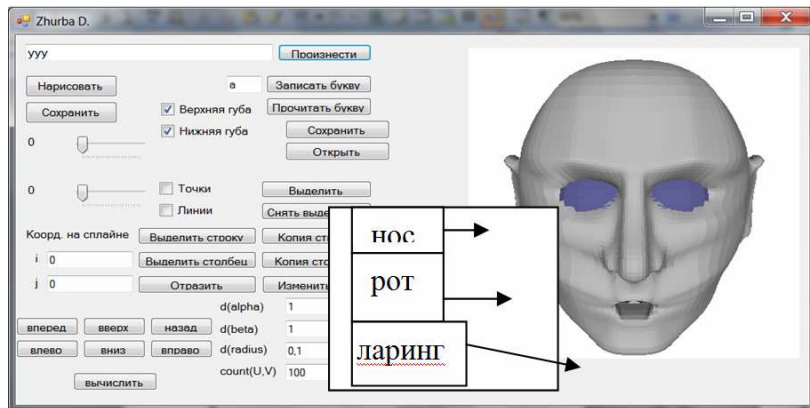


Рисунок 1 – Модель для фонемы «у»

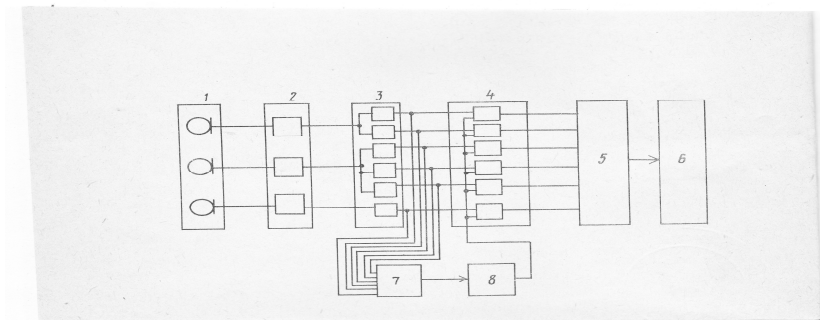


Рисунок 2 – Блок- схема устройства распознавания речи

Блоки соединены так, что входы блока обнаружения параметров колебаний присоединены к выходам блока измерения параметров колебаний, а блок формирования импульсов опроса включен между выходом блока обнаружения изменения параметров колебаний и управляющими входами управляющих логических элементов. С целью повышения надежности распознавания блок

микрофонов выполнен из трех направленных микрофонов, из которых первый направлен к ноздрям, второй – к губам, третий – к шее говорящего.

Библиографические ссылки

1. Карпов О. Н. Устройство для распознавания речевых команд / О. Н. Карпов, Г. Н. Бордовский // А. С. 743016, 20 февраля 1980. / Опубликовано 25.06.80. Бюл. № 23.

2. Карпов О. Н. Эксперименты по речевому вводу программ в ЭВМ. / О. Н. Карпов, Г. Н. Бордовский // Математические методы решения задач оптимального управления на ЭВМ. – Д. : ДГУ, 1974. – С. 31–39.

3. Карпов А. А. Алгоритмы моделирования биомеханики артикуляції губ людини на основі В-сплайн-поверхонь. / А. А. Карпов, О. М. Карпов, Д. С. Журба // **Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій**. – Т. 17. – 2013. – С. 9–14.

Надійшла до редколегії 15.11.15

УДК 519.688:336.76.066

О.П. Луценко

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЙМОВІРНІСНИХ ТОРГОВЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Описано архітектуру підсистеми імітаційного моделювання системи підтримки прийняття рішень, розробленої авторами. Підсистема призначена для оцінки ефективності моделі та обчислювальних схем, запропонованих авторами і реалізованих у складі системи підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: статистика, визначення розладнань, біржова торгівля, функція ризику, UML, програмний пакет.

Описана архитектура подсистемы имитационного моделирования системы поддержки принятия решений, разработанной авторами. Подсистема предназначена для оценивания эффективности модели и вычислительных схем, предложенных авторами и реализованных в составе системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: статистика, определение разладок, биржевая торговля, функция риска, UML, программный пакет..

The subsystem of imitation modeling of the decision making system developed by authors has been described. The subsystem's purpose is the effectiveness assessing of model and computational schemes which was earlier proposed by authors and implemented in decision making system.

Keywords: statistics, change-point detection, stock market, risk function, UML, program package.

Вступ. У попередніх публікаціях, зокрема в [1], авторами було описано модель ймовірнісної оцінки стану валютної біржі, засновану на припущенні, що векторна величина, утворена величинами часових інтервалів та прирощеннями котирувань від розладнання до розладнання є випадковою величиною, функція розподілу якої повільно змінюється в часі. Описано обчислювальні схеми оцінки функцій ризику розладнання на інтервалі часу в майбутньому, а також ризику перевищення заданого цінового рівня в момент розладнання.

© Луценко О.П. 2015

В умовах наявності у користувача вибору з багатьох методів і програмних пакетів постає питання ефективності і конкурентоспроможності кожного з них. Згідно з працями вітчизняних і зарубіжних авторів, що займалися питанням розробки і ефективності торговельних систем [2–6], в рамках предметної області головним критерієм ефективності системи є прибутковість торгової системи. Збільшення показників прибутковості є метою всіх новітніх методів аналізу стану ринку, і запропоновані авторами [1] модель і обчислювальні схеми функцій ризиків не є винятком. Таким чином, актуальною задачею є визначення ефективних методик оцінки ефективності запропонованих авторами методик і створення відповідного механізму тестування.

Аналіз літературних даних. Програмні продукти для роботи з ринком можна розділити на дві групи:

1) програми-торговельні термінали. Призначення таких програм – забезпечувати можливість двосторонньої взаємодії трейдера з ринком, тобто отримання котирувань і укладення угод через інтернет. Зазвичай взаємодія здійснюється через дилінгові центри;

2) програми для технічного аналізу валютних котирувань. Програмні пакети з даної категорії, у свою чергу, також можна умовно розділити на дві групи: такі, що здійснюють індикаторно-осциляторний аналіз, і такі, які здійснюють технічний аналіз із застосуванням неіндикаторних методів: статистичного аналізу часових рядів, теорії циклів, теорії хвиль Еліота, нейронних мереж. Як правило, такі програмні пакети не є універсальними і орієнтовані на використання однієї або кількох специфічних методик.

Термінали не здійснюють технічний аналіз ринку, тому інтересу в рамках даної роботи не представляють. Що стосується другої групи програмних продуктів, у ній представлено як системи для аналізу за допомогою широкого спектра індикаторних та осциляторних методів (Equis Metastock, Tradestation тощо), так і вузьконаправлені системи: підходи з використанням нейронних мереж, генетичних алгоритмів, технології розпізнавання візуальних образів тощо. На ринку програмного забезпечення досить широко представлено комерційні програмні продукти, що використовують технології нейромережевої побудови та оптимізації комплексних індикаторів на основі існуючих (Neuroshell Trader, BioComp Profit, Brain Maker Professional) і технології оптимізації торгових стратегій за допомогою генетичних алгоритмів (Neuroshell Trader, Wave59).

Існує два способи тестування торговельних систем, не вдаючись до ризику реальними грошима:

1) тестування на демо-рахунку. Спосіб має суттєвий недолік: так як тестування зазвичай проводиться на відрізках часу порядку місяців, для отримання тестових даних потрібно багато часу;

2) тестування на історії цін, на відміну від попереднього методу, проводиться практично миттєво, час тестування залежить лише від потужності ЕОМ. Замість поточного стану цін у цьому випадку використовується архів історичних значень цін, а замість рахунку – віртуальні змінні величини. Саме цей метод є найбільш використовуваним при тестуванні ефективності торговельних систем.

В системах Equis Metastock та Tradestation існує можливість проводити тестування обраної або створеної торговельної системи на історичних даних. Обидва пакети містять велику кількість індикаторів, осциляторів та підпрограм-експертів, а також вбудовану мову макрокоманд, що дозволяє створювати додаткові підпрограми, але упор в них зроблено на традиційні індикаторні та осциляторні моделі, і можливості вбудованих мов не дозволяють перенести реалізацію моделі імовірнісної оцінки стану ринку [1] у їхнє середовище програмування. З цієї причини для аналізу ефективності запропонованої авторами моделі необхідно стала розробка власного модуля тестування торговельних систем у складі раніше розробленої системи прийняття рішень Exchange Changepoint Estimator [7].

Постановка цілей статті. Мета даної статті – опис практичної реалізації системи імітаційного моделювання імовірнісних торговельних систем, включеної в систему підтримки прийняття рішень Exchange Changepoint Estimator.

Основний матеріал. Для забезпечення достовірності обчислювального експерименту першочерговою задачею є забезпечення достовірних вихідних даних. З цією метою до складу системи прийняття рішень було включено підсистему завантаження як актуальних, так і історичних даних, що включає методи отримання даних, розпаковки архівів, читання текстових файлів та внесення даних до бази. UML-діаграму використання наведено на рис. 1.

Дані котирувань можуть бути отримані:

- 1) із вручну обраного файла формату Metastock ASCII;
- 2) шляхом автоматичного завантаження архівів котирувань за заданий період (діаграму активності модуля зображено на рис. 2);
- 3) в режимі реального часу по протоколу DDE. В даному режимі у якості серверу DDE використовується безкоштовний термінал Forexite QuoteRoom.



Рисунок 1 – Діаграма використання підсистеми завантаження даних

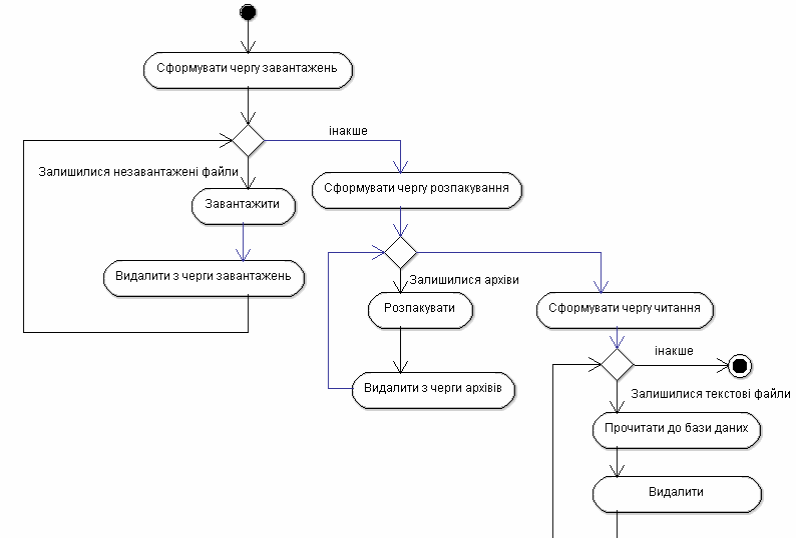


Рисунок 2 – Діаграма активності модуля завантаження історії підсистеми завантаження даних

Клас Metastock містить статичний метод ReadASCII, що виконує парсинг текстового файла Metastock ASCII і заносить прочитані дані в базу через компонент sqlDataAdapter, посилання на який передається в якості параметра функції.

Діаграму класів модуля зображено на рис. 3.

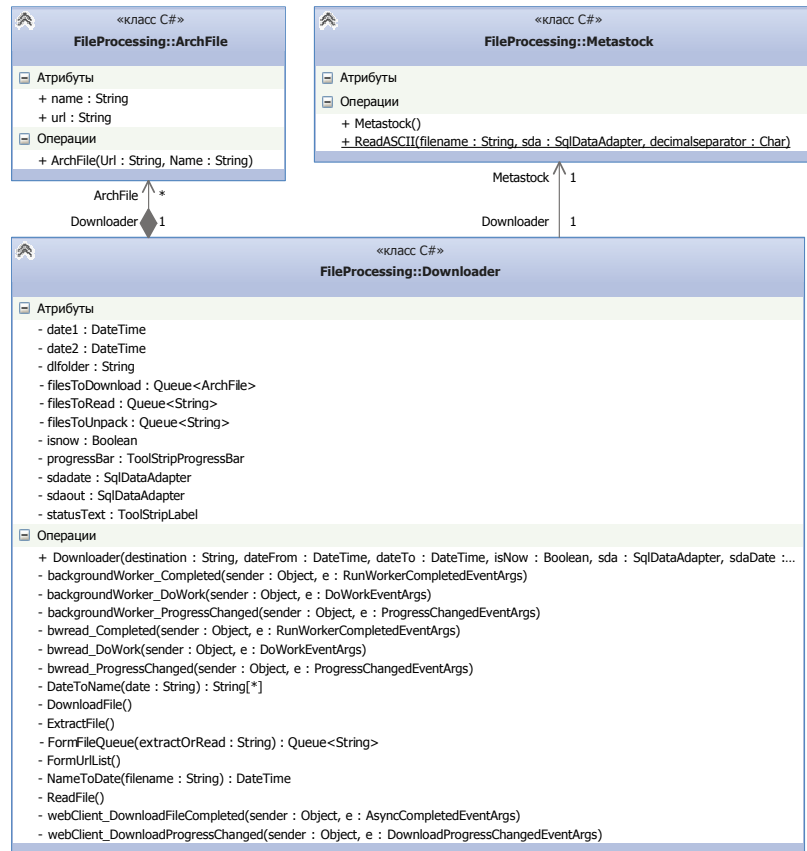


Рисунок 3 – Діаграма класів підсистеми завантаження даних

Клас Downloader керує завантаженням, розпакуванням та читанням завантажених даних. Його ключові методи:

- 1) FormUrlList: формує список посилань до файлів архівів історії котирувань між моментами часу date1 та date2;
- 2) FormFileQueue: формує список повних шляхів до завантажених файлів архівів та розпакованих текстових файлів (залежно від значення булевого вхідного параметра);
- 3) DownloadFile: методи завантаження файлів з інтернету. Якщо у черзі завантаження залишилися файли, створює екземпляр стандартного класу WebClient бібліотеки WindowsForms, назначаючи

йому оброблювачі події DownloadFileCompleted та DownloadProgressChanged і запускаючи асинхронне завантаження файла. Подія DownloadFileCompleted видаляє файл з черги і виконує повторний виклик функції DownloadFile. Якщо файлів більше немає, перед завершенням DownloadFile формується черга файлів для розпакування і запускається розпаковка;

4) ExtractFile, ReadFile: методи розпакування завантажених архівів та читання текстових файлів відповідно. Працюють аналогічно попередньому методу, за винятком того, що замість WebClient використовують інший стандартний компонент бібліотеки WindowsForms – BackgroundWorker.

При всій різноманітності автоматизованих торговельних систем, можна виділити загальні частини, які характерні для будь-якої з них. Будь-яка торговельна система містить умови відкриття угод на купівлю і продаж та умови закриття цих угод. У більшості випадків торговельні системи включають механізм встановлення величин тейк-профіт і стоп-лосс, а також умови спрацювання плаваючого стопу для угод, що відкриваються системою.

Відкриття угод під час торгівлі здійснюється шляхом посилання ордерів – розпоряджень брокерській компанії купити або продати фінансовий інструмент. Результатом виконання ордеру є здійснення угоди купівлі-продажу.

Будь-який ордер, що відправляється брокеру, повинен містити наступну інформацію:

- валютна пара, з якою здійснюється операція;
- ціна виконання або підтвердження здійснення операції за поточною ціною;
- обсяг операції.

Як правило, вказуються:

- тейк-профіт – ціна, на якій угода буде автоматично закрыта з прибутком;
- стоп-лосс – ціна, на якій угода буде автоматично закрыта зі збитком.

Зміст величин тейк-профіт і стоп-лосс наведено на рис. 4 на прикладі відкриття угоди купівлі активу.



Рисунок 4 – Величини тейк-профіт і стоп-лосс

Названі особливості процесу біржової торгівлі враховані при створенні комплексу класів і алгоритмів, призначених для здійснення послідовного моделювання процесу торгівлі на історичних даних котирувань. Діаграму використання отриманої підсистеми наведено на рис. 5.

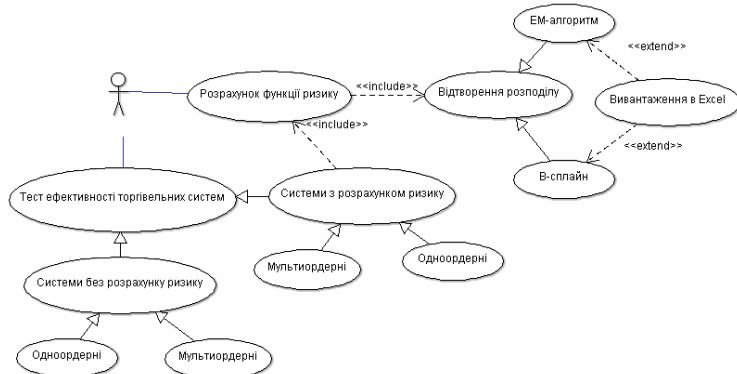


Рисунок 5 – Діаграма використання підсистеми імітаційного моделювання

Об'єкт класу TradingSystem керує набором об'єктів класу Order, відкриваючи і закриваючи їх у процесі послідовного аналізу вхідного ряду цін згідно з умовами, прописаними у торговельній стратегії, що тестується (рис. 6).

Торговельні стратегії містяться у класі в якості методів. Реалізовані стратегії підрозділяються за наявністю реалізації ймовірнісних методів, запропонованих авторами [1].

Стратегії без розрахунку ризиків за алгоритмами є повністю ідентичними до реалізованих користувачами для пакету Metastock, за винятком небагатьох нюансів, обумовлених переходом на мову C# з внутрішньої мови Metastock. Вони використовуються як еталон для порівняння. Друга група стратегій схожа на першу алгоритмічно, але включає управління об'ємами угод і величинами TakeProfit і StopLoss.

По закінченні роботи стратегії генерується колекція екземплярів класу EfficiencyData, що містять наступні кількісні показники ефективності: підсумковий прибуток, профіт-фактор (відношення суми всіх прибутків від прибуткових операцій до суми всіх збитків від збиткових операцій), середній прибуток на операцію, середній збиток на операцію, загальна кількість угод на заданому історичному проміжку, загальна кількість прибуткових та збиткових операцій.

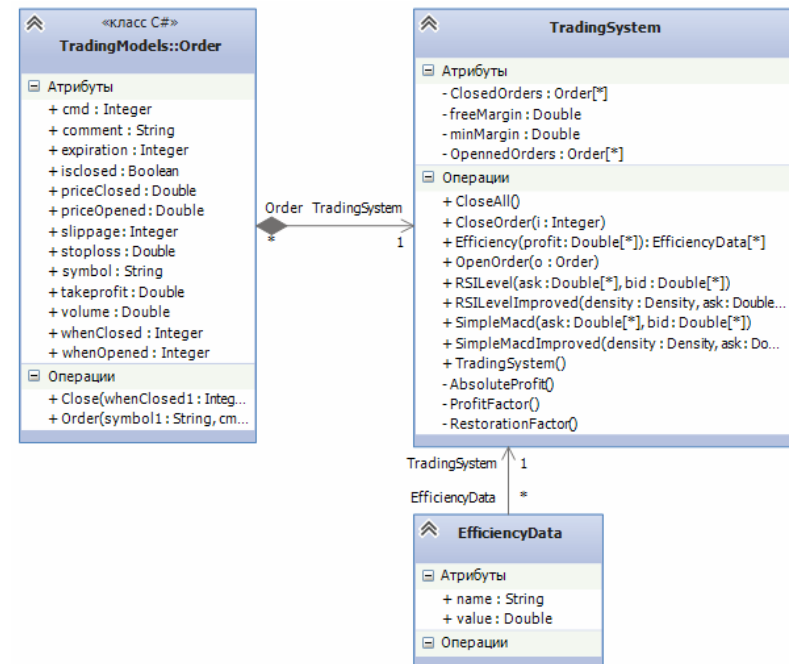


Рисунок 6 – Діаграма класів підсистеми імітаційного моделювання

Підсистема інтегрована до складу інформаційної системи підтримки прийняття рішень, призначеної для надання користувачу інформації щодо ризику розладнання процесу коливання валютних котирувань, у складі якої була використана для проведення серії тестів ефективності моделі оцінки функцій ризику на реальних даних історії котирувань.

Дані, отримані в результаті тестів, показали збільшення ефективності отриманих торговельних систем згідно з набором критеріїв прибутковості (фактор прибутковості, фактор відновлення, максимальний наростаючий внутрішньоденний збиток, середній прибуток і збиток від угод, кількість прибуткових і збиткових угод, тощо), порівняно з цими самими системами, але без застосування ймовірнісної оптимізації кількісних показників угод.

Деталізований аналіз показників ефективності показав, що зростання прибутку відбувається за рахунок покращення співвідношення між кількістю прибуткових і збиткових операцій. Залежно від методу і масштабу часу це прослідковується як у вигляді збільшення кількості прибуткових угод при зменшенні збиткових, так і у вигляді зменшення кількості як прибуткових, так і збиткових операцій, але при більш значному зменшенні кількості останніх. При цьому середній збиток від однієї угоди в частині випадків збільшувався, що, однак, не перевищувало позитивного ефекту від інших чинників. Результатом було збільшення фактора прибутку (profit factor), в тому числі аутентичного.

В якості супроводжуючого ефекту в більшості випадків спостерігалось незначне, але закономірне зменшення кількості укладених угод, що пояснюється збільшенням часу дії частини угод при наявності ймовірнісної оптимізації за рахунок більш вдалої постановки межі тейк-профіт.

Таким чином, було встановлено, що розроблена модель є адекватною, а запропоновані на її основі обчислювальні схеми функцій ризику здатні ефективно застосовуватися у процесі торгівлі на фінансовому ринку.

Висновки. Розроблено підсистему оцінки ефективності інтеграції функцій ризику розладнання до складу торговельних систем. Підсистему інтегровано до складу інформаційної системи підтримки прийняття рішень, призначеної для надання користувачу інформації щодо ризику розладнання процесу коливання валютних котирувань.

За допомогою розроблених алгоритмів імітаційного моделювання отримано дані про практичну ефективність запропонованої моделі та обчислювальних схем.

Бібліографічні посилання

1. **Lutsenko O.** Model of probabilistic assessment of trend stability at financial market /O. Lutsenko, O. Baybuz // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – Vol. 6, N 3(66). – P. 50–54.
2. **Кац Д.** Энциклопедия торговых стратегий / Д. Кац, Д. МакКормик. – М. : Альпина Пабlishер, 2002. – 400 с.
3. **Колби Р.** Энциклопедия технических индикаторов рынка – 2-е изд. / Р.Колби. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2014. – 837 с.
4. **ЛеБо Ч.** Компьютерный анализ фьючерсных рынков / Ч. ЛеБо, Д. Лукас. – М. : ИД Альпина, 1998. – 304 с.
5. **Пардо Р.** Разработка, моделирование и оптимизация торговых систем для биржевого трейдера / Р. Пардо. – М. : Минакс, 2002. – 224 с.
6. Торговая система трейдера: фактор успеха / под ред. В.И. Сафина. – СПб. : Питер, 2004. – 240 с.
7. **Луценко О.П.** Інформаційна система аналізу функцій ризику розладнання в процесі фінансової торгівлі / О.П. Луценко, О.Г. Байбуз // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – 2014. – Т.18.– С. 42–51.

Надійшла до редколегії 12.11.15

УДК 519.233.5:519.254:616.831-005.1

О.М. Мацуга¹, П.О. Приставка²,С.О. Дудукіна³, Ю.Ю. Кобеляцький⁴¹Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара²Національний авіаційний університет³КЗ «Дніпропетровська обласна клінічна лікарня імені І.І. Мечникова»⁴ДЗ «Дніпропетровська державна медична академія»

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ МОМЕНТІВ КРИТИЧНОЇ ПАРЦІАЛЬНОЇ НАПРУГИ ГАЗІВ АРТЕРІАЛЬНОЇ КРОВІ ПІД ЧАС ГІПОТЕРМІЇ

Побудовано моделі прогнозування моментів критичної парціальної напруги вуглекислого газу та кисню в артеріальній крові під час терапевтичної гіпотермії. Запропоновано метод для побудови таких моделей.

Ключові слова: метод прогнозування, модель прогнозування, критичний момент, регресія, парціальна напруга газу.

Построены модели прогнозирования моментов критического парциального давления углекислого газа и кислорода в артериальной крови во время терапевтической гипотермии. Предложен метод для построения таких моделей.

Ключевые слова: метод прогнозирования, модель прогнозирования, критический момент, регрессия, парциальное давление газа.

The forecasting models of critical moments of partial pressure of carbon dioxide and oxygen in arterial blood during therapeutic hypothermia are constructed. The method for construction of those models is developed.

Keywords: forecast method, forecast model, critical moment, regression, partial pressure of gas.

Постановка проблеми. Передбачення моментів, коли процес змінює свою поведінку або його значення досягають якоїсь критичної точки, є однією з найбільш актуальних проблем у теорії прогнозування. В роботі запропоновано метод її вирішення для випадку прогнозування моментів критичної парціальної напруги газів артеріальної крові під час терапевтичної гіпотермії пацієнтів з ускладненими інтракраніальними аневризматичними крововиливами.

© Мацуга О.М., Приставка П.О., Дудукіна С.О., Кобеляцький Ю.Ю., 2015

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На тлі терапевтичної гіпотермії в усіх пацієнтів відбувається зміна парціальної напруги газів артеріальної крові. Останні дослідження свідчать, що з тривалістю часу спостерігається зменшення парціальної напруги вуглекислого газу (PaCO_2), що пов'язано з підвищенням розчинності газів у крові при зниженні температури [1]. Але при значній гіпокапнії погіршується церебральна перфузія, що призводить до наростання ішемії мозку [2]. Парціальна напруга кисню (PaO_2), навпаки, може підвищуватися з тривалістю гіпотермії [3]. Це має позитивний вплив на ушкоджений головний мозок, оскільки дозволяє налагодити порушену утилізацію кисню мітохондріями, але, з іншого боку, тривала гіпероксія призводить до збільшення концентрації гліцеролу в ушкодженій ділянці мозку і може стати причиною пошкодження клітинних мембран [4]. Знання моментів критичної зміни PaCO_2 та PaO_2 під час терапевтичної гіпотермії здатне попередити та зменшити кількість їх негативних наслідків. Але такі моменти в даний час точно не визначені, і існує потреба в їх прогнозуванні.

Що стосується математичних методів розв'язання задачі прогнозування, широко розповсюдженими є методи екстраполяції, які дозволяють прогнозувати майбутні значення процесу на основі минулих [5; 6]. Прогнозування ж моментів настання критичних змін розвитку процесу досі знаходиться в стадії розробки.

Постановка задачі. Пацієнтам з інтракраніальними аневризматичними крововиливами, що ускладнилися вторинною ішемією мозку з внутрішньочерепною гіпертензією, з метою лікування вторинної ішемії протягом двох діб проводилася терапевтична гіпотермія. Під час гіпотермії кожні 60 хвилин, тобто у моменти часу

$$t_i = i \cdot 60, \quad i = \overline{1, T},$$

де T – загальна кількість моментів (у даному випадку $T = 48$), у пацієнтів замірялася парціальна напруга газів артеріальної крові, зокрема вуглекислого газу (PaCO_2) та кисню (PaO_2).

Якщо в деякий момент часу PaCO_2 була нижчою 35 мм рт. ст., змінювалися параметри штучної вентиляції легенів для запобігання посилення внутрішньочерепної гіпертензії. Якщо PaO_2 перевищувала 350 мм рт. ст., інспіраторну фракцію кисню знижували для попередження негативного впливу гіпероксії на мембрани клітин головного мозку. Такі значення парціальної напруги газів та моменти часу, коли вони спостерігалися, вважалися критичними.

Нехай

$$x_{t_i, j}$$

парціальна напруга газу x в момент часу t_i , заміряна у j -го пацієнта.

Результати моніторингу парціальної напруги газу x для j -го пацієнта можна представити у вигляді часового ряду

$$x_{t_1, j}, x_{t_2, j}, \dots, x_{t_T, j}.$$

а для усіх N пацієнтів (у даному випадку $N = 29$) – у вигляді ансамблю часових рядів

$$x_{t_1, 1}, x_{t_2, 1}, \dots, x_{t_T, 1},$$

$$x_{t_1, 2}, x_{t_2, 2}, \dots, x_{t_T, 2},$$

...

$$x_{t_1, N}, x_{t_2, N}, \dots, x_{t_T, N}.$$

На основі цього ансамблю потрібно побудувати модель для прогнозування моменту часу, коли парціальна напруга газу x вперше досягне критичного рівня. Для кожного газу крові має місце окремий ансамбль часових рядів і необхідно побудувати свою модель прогнозування критичного моменту.

Основний матеріал. Розв'язання поставленої задачі виконано, виходячи з припущення, що моменти критичної напруги газів можна спрогнозувати на основі початкових значень напруги. Одержані у роботі результати підтвердили справедливість цієї гіпотези і дозволили запропонувати метод для побудови моделі прогнозування критичних моментів.

Метод базується на відновленні регресійної залежності моментів критичної напруги газів артеріальної крові від початкових значень напруги і складається з таких кроків:

1. Знайти для кожного пацієнта момент часу, коли напруга газу вперше досягає критичного рівня, і сформувати масив

$$\{t_j^{\text{кр}}; j = \overline{1, N'}\},$$

де $t_j^{\text{кр}}$ – такий момент часу для j -го пацієнта.

Слід зазначити, що напруга газу в артеріальній крові пацієнта може жодного разу не досягти критичного рівня під час моніторингу. Якщо для j -го пацієнта має місце така ситуація, то покласти

$$t_j^{\text{кр}} = 0.$$

Перш ніж перейти до наступного кроку, рекомендується перевірити наявність аномальних значень у сформованому масиві, і, у разі знаходження, видалити їх для підвищення адекватності подальших результатів прогнозування [7].

2. Дослідити залежність критичних моментів часу $t^{\text{кр}}$ від напруги газу на перших, наприклад, п'яти, етапах моніторингу. Для цього сформувати масиви

$$\{t_j^{\text{кр}}, x_{t_k, j}; j = \overline{1, N'}\}, \quad k = \overline{1, 5},$$

де $N' \leq N$ – кількість пацієнтів, у яких спостерігалася критична напруга газу, тобто у яких $t_j^{\text{кр}} > 0$,

і за кожним з них оцінити коефіцієнт кореляції Пірсона або Спірмена (залежно від розподілів $t^{\text{кр}}$ та x_{t_k}) [7]. Попередньо кожен масив варто проаналізувати на наявність аномалій, які доцільно видалити.

Обрати k , якому відповідає найбільша за модулем оцінка коефіцієнта кореляції. Якщо кореляція між $t^{\text{кр}}$ та x_{t_k} значуща і достатньо сильна (модуль оцінки коефіцієнта кореляції вище заданого порогу, наприклад, 0,6), то перейти до кроку 3, інакше – до кроку 4.

3. Побудувати модель для прогнозування моменту критичної напруги газу на основі його напруги в час t_k шляхом відновлення регресійної залежності за масивом

$$\{t_j^{\text{кр}}, x_{t_k, j}; j = \overline{1, N'}\}.$$

Пропонується відновити такі регресії:

• лінійну

$$t^{\text{кр}}(x_{t_k}) = a + b \cdot x_{t_k}; \quad (1)$$

• логарифмічну

$$t^{\text{кр}}(x_{t_k}) = a + b \cdot \ln(x_{t_k}); \quad (2)$$

• експоненціальну

$$t^{\text{кр}}(x_{t_k}) = a \cdot \exp(b \cdot x_{t_k}); \quad (3)$$

• параболічну

$$t^{\text{кр}}(x_{t_k}) = a + b \cdot x_{t_k} + c \cdot x_{t_k}^2, \quad (4)$$

• лінійну сплайн-регресію

$$t^{\text{кр}}(x_{t_k}) = \begin{cases} a_1 + b_1 \cdot x_{t_k}, & x_{t_k} \leq x_{t_k}^0, \\ a_1 + b_1 \cdot x_{t_k}^0 + b_2 \cdot (x_{t_k} - x_{t_k}^0), & x_{t_k} \geq x_{t_k}^0, \end{cases} \quad (5)$$

де $x_{t_k}^0$ – вузол склеювання, в якому регресія є неперервною, і обрати найбільш адекватну на основі коефіцієнта детермінації, F -тесту та аналізу залишків [7].

Оцінки параметрів моделей можна знайти за формулами [7]:

- лінійна

$$\hat{a} = \overline{t^{\text{кр}}} - \hat{b} \cdot \overline{x_{t_k}}, \quad \hat{b} = \hat{r}_{t^{\text{кр}}, x_{t_k}} \cdot \frac{\hat{S}_{t^{\text{кр}}}}{\hat{S}_{x_{t_k}}},$$

де

$$\begin{aligned} \overline{t^{\text{кр}}} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} t_j^{\text{кр}}; & \overline{x_{t_k}} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} x_{t_k, j}; \\ \hat{S}_{t^{\text{кр}}}^2 &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} (t_j^{\text{кр}} - \overline{t^{\text{кр}}})^2; & \hat{S}_{x_{t_k}}^2 &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} (x_{t_k, j} - \overline{x_{t_k}})^2; \\ \hat{r}_{t^{\text{кр}}, x_{t_k}} &= \frac{\overline{t^{\text{кр}} \cdot x_{t_k}} - \overline{t^{\text{кр}}} \cdot \overline{x_{t_k}}}{\hat{S}_{t^{\text{кр}}} \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}}; & \overline{t^{\text{кр}} \cdot x_{t_k}} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} (t_j^{\text{кр}} \cdot x_{t_k, j}); \end{aligned}$$

- логарифмічна

$$\hat{a} = \overline{t^{\text{кр}}} - \hat{b} \cdot \overline{\ln(x_{t_k})}, \quad \hat{b} = \hat{r}_{t^{\text{кр}}, \ln(x_{t_k})} \cdot \frac{\hat{S}_{t^{\text{кр}}}}{\hat{S}_{\ln(x_{t_k})}},$$

де

$$\begin{aligned} \overline{\ln(x_{t_k})} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} \ln(x_{t_k, j}); \\ \hat{S}_{\ln(x_{t_k})}^2 &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} (\ln(x_{t_k, j}) - \overline{\ln(x_{t_k})})^2; \\ \hat{r}_{t^{\text{кр}}, \ln(x_{t_k})} &= \frac{\overline{t^{\text{кр}} \cdot \ln(x_{t_k})} - \overline{t^{\text{кр}}} \cdot \overline{\ln(x_{t_k})}}{\hat{S}_{t^{\text{кр}}} \cdot \hat{S}_{\ln(x_{t_k})}}; \\ \overline{t^{\text{кр}} \cdot \ln(x_{t_k})} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} (t_j^{\text{кр}} \cdot \ln(x_{t_k, j})); \end{aligned}$$

- експоненціальна

$$\hat{a} = \exp(\overline{\ln(t^{\text{кр}})} - \hat{b} \cdot \overline{x_{t_k}}), \quad \hat{b} = \hat{r}_{\ln(t^{\text{кр}}), x_{t_k}} \cdot \frac{\hat{S}_{\ln(t^{\text{кр}})}}{\hat{S}_{x_{t_k}}},$$

де

$$\begin{aligned} \overline{\ln(t^{\text{кр}})} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} \ln(t_j^{\text{кр}}); \\ \hat{S}_{\ln(t^{\text{кр}})}^2 &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} (\ln(t_j^{\text{кр}}) - \overline{\ln(t^{\text{кр}})})^2; \\ \hat{r}_{\ln(t^{\text{кр}}), x_{t_k}} &= \frac{\overline{\ln(t^{\text{кр}}) \cdot x_{t_k}} - \overline{\ln(t^{\text{кр}})} \cdot \overline{x_{t_k}}}{\hat{S}_{\ln(t^{\text{кр}})} \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}}; \\ \overline{\ln(t^{\text{кр}}) \cdot x_{t_k}} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} (\ln(t_j^{\text{кр}}) \cdot x_{t_k, j}); \end{aligned}$$

- параболічна

$$\hat{a} = \overline{t^{\text{кр}}}, \quad \hat{b} = \frac{\sum_{j=1}^{N'} t_j^{\text{кр}} \cdot (x_{t_k, j} - \overline{x_{t_k}})}{\sum_{j=1}^{N'} (x_{t_k, j} - \overline{x_{t_k}})^2}, \quad \hat{c} = \frac{\sum_{j=1}^{N'} t_j^{\text{кр}} \cdot \varphi_2(x_{t_k, j})}{\sum_{j=1}^{N'} \varphi_2^2(x_{t_k, j})},$$

де

$$\begin{aligned} \varphi_2(x) &= x^2 - \frac{\overline{x_{t_k}^3} - \overline{x_{t_k}^2} \cdot \overline{x_{t_k}}}{\hat{S}_{x_{t_k}}^2} \cdot (x - \overline{x_{t_k}}) - \overline{x_{t_k}^2}; \\ \overline{x_{t_k}^r} &= \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} x_{t_k, j}^r, \quad r = 1, 2, 3; \end{aligned}$$

- лінійна сплайн-регресія описується чотирма параметрами (a_1 , b_1 , b_2 та вузлом $x_{t_k}^0$); оцінки параметрів $\hat{a}_1$, $\hat{b}_1$, $\hat{b}_2$ можна визначити при фіксованому вузлі склеювання, який співпадає з s -м елементом $x_{t_k, s}$, розв'язуючи систему рівнянь [8]

$$A \cdot \theta = G,$$

де

$$A = \begin{pmatrix} N' & \sum_{j=1}^s x_{t_k,j} + x_{t_k,s} (N'-s) & \sum_{j=s+1}^{N'} (x_{t_k,j} - x_{t_k,s}) \\ \sum_{j=1}^s x_{t_k,j} + x_{t_k,s} (N'-s) & \sum_{j=1}^s x_{t_k,j}^2 + x_{t_k,s}^2 (N'-s) & x_{t_k,s} \sum_{j=s+1}^{N'} (x_{t_k,j} - x_{t_k,s}) \\ \sum_{j=s+1}^{N'} (x_{t_k,j} - x_{t_k,s}) & x_{t_k,s} \sum_{j=s+1}^{N'} (x_{t_k,j} - x_{t_k,s}) & \sum_{j=s+1}^{N'} (x_{t_k,j} - x_{t_k,s})^2 \end{pmatrix}$$

$$\theta = \begin{pmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \end{pmatrix}; \quad G = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{N'} t_j^{\text{кр}} \\ \sum_{j=1}^s t_j^{\text{кр}} x_{t_k,j} + x_{t_k,s} \sum_{j=s+1}^{N'} t_j^{\text{кр}} \\ \sum_{j=s+1}^{N'} t_j^{\text{кр}} (x_{t_k,j} - x_{t_k,s}) \end{pmatrix};$$

оптимальне розташування вузла склеювання знайти з умови

$$x_{t_k,s} : \min_{h=4, N'-3} S_{\text{зал}(5)}^2,$$

де

$$S_{\text{зал}(5)}^2 = \frac{1}{N'-3} \left(\sum_{j=1}^h (t_j^{\text{кр}} - \hat{a}_1 - \hat{b}_1 \cdot x_{t_k,j})^2 + \sum_{j=h+1}^{N'} (t_j^{\text{кр}} - \hat{a}_1 - \hat{b}_1 \cdot x_{t_k,h} - \hat{b}_2 \cdot (x_{t_k,j} - x_{t_k,h}))^2 \right);$$

для сплайн-регресії можливе подальше ітераційне уточнення оцінок параметрів $\hat{a}_1$, $\hat{b}_1$, $\hat{b}_2$ та вузла склеюванням [8].

Інтервальне оцінювання параметрів регресій можна провести, використовуючи вирази [7]:

- лінійна

$$a_{\text{н,в}} = \hat{a} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot S_{\text{зал}(1)} \cdot \sqrt{\frac{1}{N'} + \frac{x_{t_k}}{N' \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}^2}},$$

$$b_{\text{н,в}} = \hat{b} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot \frac{S_{\text{зал}(1)}}{\sqrt{N'} \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}},$$

де $t_{1-\alpha/2, N'-2}$ – квантиль розподілу Стюдента порядку $1-\alpha/2$ з кількістю степенів вільності $N'-2$;

$$S_{\text{зал}(1)}^2 = \frac{1}{N'-2} \sum_{j=1}^{N'} (t_j^{\text{кр}} - \hat{a} - \hat{b} \cdot x_{t_k,j})^2;$$

- логарифмічна

$$a_{\text{н,в}} = \hat{a} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot S_{\text{зал}(2)} \cdot \sqrt{\frac{1}{N'} + \frac{\ln(x_{t_k})}{N' \cdot \hat{S}_{\ln(x_{t_k})}^2}},$$

$$b_{\text{н,в}} = \hat{b} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot \frac{S_{\text{зал}(2)}}{\sqrt{N'} \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}},$$

де

$$S_{\text{зал}(2)}^2 = \frac{1}{N'-2} \sum_{j=1}^{N'} (t_j^{\text{кр}} - \hat{a} - \hat{b} \cdot \ln(x_{t_k,j}))^2;$$

- експоненціальна

$$a_{\text{н,в}} = \exp \left(\hat{a} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot S_{\text{зал}(3)} \cdot \sqrt{\frac{1}{N'} + \frac{x_{t_k}}{N' \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}^2}} \right),$$

$$b_{\text{н,в}} = \hat{b} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot \frac{S_{\text{зал}(3)}}{\sqrt{N'} \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}},$$

де

$$S_{\text{зал}(3)}^2 = \frac{1}{N'-2} \sum_{j=1}^{N'} (\ln(t_j^{\text{кр}}) - \hat{a} - \hat{b} \cdot x_{t_k,j})^2;$$

- параболічна

$$a_{\text{н,в}} = \hat{a} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot \frac{S_{\text{зал}(4)}}{\sqrt{N'}},$$

$$b_{\text{н,в}} = \hat{b} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot \frac{S_{\text{зал}(4)}}{\sqrt{N'} \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}},$$

$$c_{\text{н,в}} = \hat{c} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot \frac{S_{\text{зал}(4)}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N'} \varphi_2^2(x_{t_k,j})}},$$

де

$$S_{\text{зал}(4)}^2 = \frac{1}{N'-3} \sum_{j=1}^{N'} \left(t_j^{\text{кр}} - \hat{a} - \hat{b} \cdot x_{t_k,j} - \hat{c} \cdot x_{t_k,j}^2 \right)^2;$$

- лінійна сплайн-регресія

$$a_{1,\text{н.в}} = \hat{a}_1 \mp t_{1-\alpha/2, N'-3} \cdot S_{\hat{a}_1},$$

$$b_{1,\text{н.в}} = \hat{b}_1 \mp t_{1-\alpha/2, N'-3} \cdot S_{\hat{b}_1},$$

$$b_{2,\text{н.в}} = \hat{b}_2 \mp t_{1-\alpha/2, N'-3} \cdot S_{\hat{b}_2},$$

де $S_{\hat{a}_1}^2$, $S_{\hat{b}_1}^2$, $S_{\hat{b}_2}^2$ – дисперсії оцінок, які знаходять як діагональні елементи матриці

$$S_{\text{зал}(5)}^2 \cdot A^{-1}.$$

Вирази (1)–(5) дозволяють обчислити точкову оцінку прогнозу. Верхню та нижню межі $100 \cdot (1-\alpha)\%$ довірчого інтервалу для прогнозного значення можна розрахувати з виразами [7]:

- лінійна

$$t_{\text{н.в}}^{\text{кр}}(x_{t_k}) = \hat{a} + \hat{b} \cdot x_{t_k} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot S_{t^{\text{кр}}(x_{t_k})},$$

де

$$S_{t^{\text{кр}}(x_{t_k})}^2 = S_{\text{зал}(1)}^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{N'} + \frac{(x_{t_k} - \overline{x_{t_k}})^2}{N' \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}^2} \right);$$

- логарифмічна

$$t_{\text{н.в}}^{\text{кр}}(x_{t_k}) = \hat{a} + \hat{b} \cdot \ln(x_{t_k}) \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot S_{t^{\text{кр}}(x_{t_k})},$$

де

$$S_{t^{\text{кр}}(\ln(x_{t_k}))}^2 = S_{\text{зал}(2)}^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{N'} + \frac{(\ln(x_{t_k}) - \overline{\ln(x_{t_k})})^2}{N' \cdot \hat{S}_{\ln(x_{t_k})}^2} \right);$$

- експоненціальна

$$t_{\text{н.в}}^{\text{кр}}(x_{t_k}) = \hat{a} \cdot \exp\left(\hat{b} \cdot x_{t_k} \mp t_{1-\alpha/2, N'-2} \cdot S_{t^{\text{кр}}(x_{t_k})}\right),$$

де

$$S_{t^{\text{кр}}(x_{t_k})}^2 = S_{\text{зал}(3)}^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{N'} + \frac{(x_{t_k} - \overline{x_{t_k}})^2}{N' \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}^2} \right);$$

- параболічна

$$t_{\text{н.в}}^{\text{кр}}(x_{t_k}) = \hat{a} + \hat{b} \cdot x_{t_k} + \hat{c} \cdot x_{t_k}^2 \mp t_{1-\alpha/2, N'-3} \cdot S_{t^{\text{кр}}(x_{t_k})},$$

де

$$S_{t^{\text{кр}}(x_{t_k})}^2 = S_{\text{зал}(4)}^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{N'} + \frac{(x_{t_k} - \overline{x_{t_k}})^2}{N' \cdot \hat{S}_{x_{t_k}}^2} + \frac{\Phi_2^2(x_{t_k})}{\sum_{j=1}^{N'} \Phi_2^2(x_{t_k,j})} \right);$$

- лінійна сплайн-регресія

$$t_{\text{н.в}}^{\text{кр}}(x_{t_k}) = \begin{cases} a_1 + b_1 \cdot x_{t_k} \mp t_{1-\alpha/2, N'-3} \cdot S_{\text{зал}(5)}, & x_{t_k} \leq x_{t_k}^0, \\ a_1 + b_1 \cdot x_{t_k}^0 + b_2 \cdot (x_{t_k} - x_{t_k}^0) \mp t_{1-\alpha/2, N'-3} \cdot S_{\text{зал}(5)}, & x_{t_k} \geq x_{t_k}^0. \end{cases}$$

4. Дослідити залежність критичних моментів $t^{\text{кр}}$ від напруги газу на двох (з перших п'яти) етапах моніторингу, використовуючи масиви

$$\{t_j^{\text{кр}}, x_{t_k,j}, x_{t_l,j}; j = \overline{1, N'}\}, \quad k, l = \overline{1, 5}, \quad k \neq l.$$

У разі виявлення достатньо сильної залежності побудувати модель прогнозування критичних моментів $t^{\text{кр}}$ на основі напруги газу в моменти t_k та t_l шляхом відновлення двовимірної регресії. У протилежному випадку можна дослідити залежність критичних моментів від напруги на трьох етапах моніторингу з подальшою побудовою моделі прогнозування у вигляді тривимірної регресії. Такий процес можна продовжувати, доки не буде побудовано адекватну модель прогнозування або прийнято рішення про відмову від побудови моделі внаслідок її надмірно високої вимірності.

Запропонований метод покладено в основу обчислювального ядра програмного забезпечення ForecastCM (Forecast of Critical Moments), створеного на мові Delphi у середовищі Embarcadero RAD Studio XE2.

За допомогою програмного забезпечення ForecastCM здійснено апробацію методу на даних моніторингу напруги газів, який проводився пацієнтам з ускладненими інтракраніальними аневризматичними крововиливами під час застосування терапевтичної гіпотермії. В результаті побудовано модель прогнозування моменту

часу, коли PaCO_2 вперше стає нижче 35 мм рт. ст., а також моменту першого перевищення PaO_2 рівня 350 мм рт. ст.

Під час прогнозування критичного моменту для PaCO_2 виявлено, що у одного з пацієнтів критична напруга вперше спостерігалася аномально пізно (на 2220 хвилину від початку гіпотермії; в інших – не пізніше 680 хвилини). Дані цього пацієнта на першому кроці були вилучені з метою підвищення адекватності результатів прогнозування.

Дослідивши кореляцію критичних моментів зі значеннями напруги на 60, 120, 180, 240 та 300 хвилину від початку гіпотермії, встановлено, що перший момент зменшення напруги нижче 35 мм рт. ст. корелює зі значенням напруги через 180 хвилин. Аналіз кореляційного поля показників $t^{\text{кр}}$ та x_{180} свідчить про можливу наявність аномального значення в точці з абсцисою 37 (рис. 1), хоча наявність такого спостереження може бути пояснена і малою кількістю даних. Тому було побудовано модель прогнозування критичного зменшення PaCO_2 на основі значення через 180 хвилин з урахуванням підозрілого значення та без нього. Коефіцієнт кореляції Спірмена з урахуванням підозрілого значення склав 0,72 (p -значення дорівнює 0,005), без нього – 0,82 (p -значення дорівнює 0,001).

Під час побудови моделі за даними з аномальним значенням найбільш адекватною серед регресій (1)–(5) виявилася експоненціальна (рис. 1):

$$t^{\text{кр}}(x_{180}) = 0,00014 \cdot \exp(0,41 \cdot x_{180}),$$

де x_{180} – значення PaCO_2 через 180 хвилин від початку гіпотермії.

За F -тестом модель значуща, коефіцієнт детермінації складає 62 %.

Межі 95 %-го довірчого інтервалу на прогнозований момент критичного зменшення PaCO_2 можуть бути обчислені за формулою

$$t_{\text{н,в}}^{\text{кр}}(x_{180}) = 0,00014 \cdot \exp\left(0,41 \cdot x_{180} \mp \sqrt{0,53 + 0,04 \cdot (x_{180} - 35,84)^2}\right).$$

Результати перевірки значущості та адекватності моделей прогнозування без урахуванням підозрілого значення виявили дві моделі, адекватність яких майже однакова, а значущість вища за попередню. Це експоненціальна та лінійна сплайн-регресія.

Експоненціальна регресія для прогнозування моменту зменшення PaCO_2 нижче 35 мм рт. ст. має вигляд (рис. 2, а):

$$t^{\text{кр}}(x_{180}) = 0,0000102 \cdot \exp(0,484 \cdot x_{180})$$

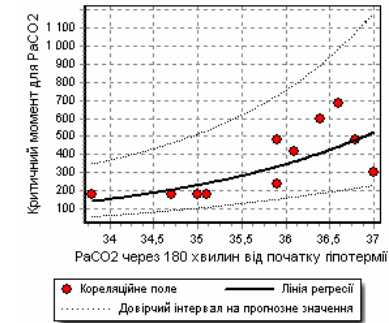


Рисунок 1 – Графік з результатами побудови моделі прогнозування критичного моменту для PaCO_2 за даними з аномальним значенням

За F -тестом модель значуща, коефіцієнт детермінації складає 75 %.

Нижня та верхня межі 95 %-го довірчого інтервалу на прогнозований критичний момент визначаються виразом

$$t_{\text{н,в}}^{\text{кр}}(x_{180}) = 0,0000102 \cdot \exp\left(0,484 \cdot x_{180} \mp \sqrt{0,39 + 0,038 \cdot (x_{180} - 35,73)^2}\right)$$

Відновлена лінійна сплайн-регресія для прогнозування моменту критичного зменшення PaCO_2 має вигляд (рис. 2, б):

$$t^{\text{кр}}(x_{180}) = \begin{cases} -224,35 + 11,87 \cdot x_{180}, & x_{180} \leq 35,1, \\ 192,3 + 228 \cdot (x_{180} - 35,1), & x_{180} \geq 35,1. \end{cases}$$

Вузол склеювання 35,1 мм рт. ст. близький до критичної напруги. Якщо на 180 хвилину від початку гіпотермії рівень вже нижче або майже дорівнює 35 мм рт.ст, то критичною є приблизно 180 хвилина. Чим вища напруга на початку, тим пізніше настане критичний момент.

За F -тестом модель значуща, коефіцієнт детермінації складає 76 %.

Нижня та верхня межі 95 %-го довірчого інтервалу на прогнозований критичний момент визначаються виразом

$$t_{\text{н,в}}^{\text{кр}}(x_{180}) = \begin{cases} -224,35 + 11,87 \cdot x_{180} \mp 235,16, & x_{180} \leq 35,1, \\ 192,3 + 228 \cdot (x_{180} - 35,1) \mp 235,16, & x_{180} \geq 35,1. \end{cases}$$

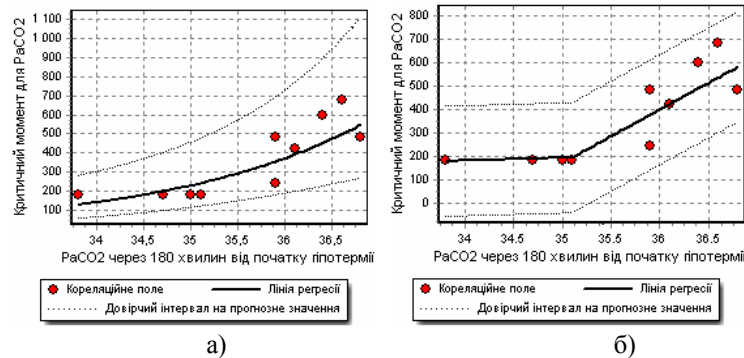


Рисунок 2 – Графік з результатами побудови моделі прогнозування критичного моменту для PaCO_2 за даними без аномального значення:
а) експоненціальна регресія; б) лінійна сплайн-регресія

У процесі прогнозування критичного моменту для PaO_2 встановлено, що перший момент перевищення напруги в 350 мм рт. ст. корелює зі значенням напруги на 60 хвилину гіпотермії. Аналіз кореляційного поля показників $t^{\text{кр}}$ та x_{60} засвідчив можливу наявність аномального значення в точці з ординатою 1440. Але враховуючи незначний обсяг спостережень, було побудовано моделі з урахуванням підозрілого значення та без нього. Коефіцієнт кореляції Спірмена з його урахуванням складає $-0,75$ (p -значення дорівнює $0,0002$), без нього – $-0,71$ (p -значення дорівнює $0,001$).

Серед регресій (1)–(5) в обох випадках найбільш адекватною виявилася лінійна. Лінійна регресія для прогнозування моменту першого збільшення PaO_2 вище 350 мм рт. ст., побудована з урахуванням підозрілого значення, має вигляд (рис. 3, а):

$$t^{\text{кр}}(x_{60}) = 2030,9 - 5,204 \cdot x_{60},$$

де x_{60} – значення PaO_2 через 60 хвилин від початку гіпотермії.

За F -тестом модель значуща, коефіцієнт детермінації складає 57 %.

Нижня та верхня межі 95 %-го довірчого інтервалу на прогнозований критичний момент можуть бути обчислені як

$$t^{\text{кр}}_{\text{н,в}}(x_{60}) = 2030,9 - 5,204 \cdot x_{60} \mp 2,1 \cdot \sqrt{40249,7 + 1,139 \cdot (x_{60} - 304,95)^2}.$$

Без урахування підозрілого значення модель прогнозування критичного моменту для PaO_2 більш значуща і має вигляд (рис. 3, б):

$$t^{\text{кр}}(x_{60}) = 1543,9 - 3,74 \cdot x_{60}.$$

За F -тестом модель значуща, коефіцієнт детермінації складає 75 %. Межі 95 %-го довірчого інтервалу на прогнозований момент критичного збільшення PaO_2 можуть бути обчислені за формулою

$$t^{\text{кр}}_{\text{н,в}}(x_{60}) = 1543,9 - 3,74 \cdot x_{60} \mp 2,1 \cdot \sqrt{8740,87 + 0,3 \cdot (x_{60} - 308,16)^2}.$$

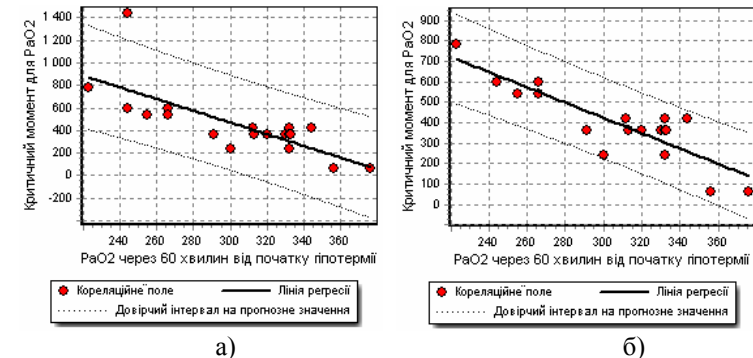


Рисунок 3 – Графік з результатами побудови моделі прогнозування критичного моменту для PaO_2 за даними
а) з аномальним; б) без аномального значення

Висновки. У роботі запропоновано метод для побудови моделі прогнозування моментів критичної напруги газів артеріальної крові під час гіпотермії. Метод апробовано на даних моніторингу, який проводився пацієнтам з ускладненими інтракраніальними аневризматичними крововиливами. Результати апробації засвідчили статистичну значущість та адекватність результатів прогнозування. Використовуючи метод, побудовано модель прогнозування моменту часу, коли PaCO_2 вперше стає нижче 35 мм рт. ст., а також моменту першого перевищення PaO_2 рівня 350 мм рт. ст. Недоліком методу є те, що не враховуються випадки, коли парціальна напруга газу жодного разу не досягає критичного рівня.

Запропонований метод може мати більш широке застосування, зокрема для розв'язання задач прогнозування моментів зміни поведінки часового ряду в медицині та інших областях.

Бібліографічні посилання

1. **Костюченко С.С.** Кислотно-щелочной баланс в интенсивной терапии / С.С. Костюченко. – Минск, 2009. – 267 с.

2. **Roberts B.W.** Effects of PaCO₂ derangements on clinical outcomes after cerebral injury: A systematic review / B.W. Roberts, P. Karagiannis, M. Coletta, J.H. Kilgannon, M.E. Chansky, S. Trzeciak // *Resuscitation*. – 2015. – № 91. – P. 32–41.

3. **Drury P.P.** Mechanisms of Hypothermic Neuroprotection / P.P. Drury, E.R. Gunn, A.J. Gunn // *Clinics in Perinatology*. – 2014. – Vol. 41, Issue 1. – P. 161–175.

4. **Петриков С.С.** Коррекция вторичных повреждений головного мозга у больных с внутримозговыми кровоизлияниями : дис. ... доктора мед. наук / Сергей Сергеевич Петриков. – М., 2009. – 234 с.

5. **Бокс Дж.** Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир. – 1974. – Вып. 1. – 406 с.; 1974. – Вып. 2. – 198 с.

6. **Емельяненко Т.Г.** Принятие решений в системах мониторинга / Т.Г. Емельяненко, А.В. Зберовский, А.Ф. Приставка, Б.Е. Собко. – Д. : РИК НГУ, 2005. – 224 с.

7. Статистична обробка даних / В.П. Бабак, А.Я. Білецький, О.П. Приставка, П.О. Приставка. – К. : МІВВЦ, 2001. – 388 с.

8. Вычислительные методы и программная среда корреляционного и регрессионного анализа / А.Ф. Приставка, А.И. Передерий, О.В. Райко, В.М. Остропицкий. – Д. : ДГУ, 1996. – 192 с.

Надійшла до редколегії 18.06.2015

УДК 519.254

В.І. Михайлів

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДАНИХ У ХМАРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто основні експериментальні дослідження ефективності інформаційної технології захисту хмарних обчислень на основі тестів, що враховують точність, повноту і швидкість системи захисту на загрози безпеки. Представлено і проаналізовано результати тестових запусків дослідницької системи для проведення мережових атак на хмарні обчислювальні системи. Розроблено технологію захисту даних, що виявляє небезпечну мережову активність та спрямована на визначення різних типів мережових атак, які будуть впливати на цілісність ресурсів та послуг у середовищі хмарних обчислень.

Ключові слова: *хмарні обчислювальні системи, захист даних, мережева атака, експериментальні дослідження.*

Рассмотрены основные экспериментальные исследования эффективности информационной технологии защиты облачных вычислений на основе тестов, учитывающих точность, полноту и быстродействие системы защиты на угрозы безопасности. Представлены и проанализированы результаты тестовых запусков исследовательской системы для проведения сетевых атак на облачные вычислительные системы. Разработана технология защиты данных, которая обнаруживает опасную сетевую активность и направлена на определение различных типов сетевых атак, которые будут влиять на целостность ресурсов и услуг в среде облачных вычислений.

Ключевые слова: *облачные вычислительные системы, защита данных, сетевая атака, экспериментальные исследования.*

The basic experimental research on the effectiveness of information security technology for cloud computing based on tests is considered, taking into account the accuracy, completeness and speed of the protection system for security threats. Presented and analyzed the results of test runs research system for network attacks on cloud computing. The technology of data protection is developed, that detects dangerous network activity and aims to identify the different types of network attacks, which will affect the integrity of the services and resources in a cloud computing environment.

© Михайлів В. І., 2015

Keywords: *cloud computing, data protection, network attack, experimental research.*

Постановка проблеми. Задача визначення аномальної мережевої активності є актуальною і полягає в розробці нейромережевої технології моніторингу трафіка, що використовує апарат штучних нейронних мереж з метою підвищення рівня інформаційної безпеки хмарних обчислювальних систем, а також експериментальної реалізації програмних модулів системи захисту. Сучасні вимоги до інформаційної безпеки у хмарних обчислювальних системах передбачають створення спеціальних програмних сервісів для виявлення мережевих атак і забезпечення безпеки комунікацій та захисту даних у критично важливих інформаційних ресурсах. Незважаючи на наявний прогрес у створенні програмних засобів інформаційної безпеки, необхідно зазначити нагальну необхідність у захисті хмарних обчислень, що мають специфічні особливості в порівнянні зі звичайними обчисленнями. Питання вимагає ретельного опрацювання особливостей хмарних обчислень з метою виявлення вимог до систем їх інформаційного захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час розробляється велика кількість різних технологій захисту хмарних обчислювальних систем [1; 7—9]. До критеріїв оцінки їх якості можна віднести здатність виявляти нові атаки, точність і швидкість роботи, здатність працювати з великими обсягами навчальних вибірок. До їх недоліків можна віднести уразливість до нових атак, низьку точність і швидкість роботи. Одним з ефективних математичних апаратів для побудови систем безпеки є апарат штучних нейронних мереж [2; 7]. У зв'язку з необхідністю забезпечення інформаційної безпеки хмарних обчислень спостерігається підвищений інтерес до нейромережевих технологій, які показують досить високу повноту і точність класифікації мережевих атак. Необхідним етапом попередньої обробки мережевих пакетів є їх приведення до найбільш інформативної форми за рахунок видалення зайвих ознак і зменшення обсягу навчальної вибірки. У процесі експериментальних досліджень з розробки системи захисту було вивчено і використано інформацію, представлену у роботах [1—9].

Постановка завдання. Завдання полягає в розробці засобів підвищення безпеки хмарних обчислювальних систем. Для тестування розроблених засобів захисту було використано базу даних KDD-99 [2], що містить близько п'яти мільйонів записів про з'єднання. Кожен запис у цій базі являє собою образ мережевого з'єднання. З'єднання —

послідовність TCP пакетів за деякий кінцевий час, моменти початку і завершення якого чітко визначені, протягом якого дані передаються від IP-адреси джерела на IP-адресу отримувача (і у зворотному напрямку), використовуючи деякий певний протокол. Окремий запис складається із 100 байтів інформації, включає 41 параметр (ознаку) мережевого трафіка і промаркований як «атака» (дія, що призводить до порушення цілісності та конфіденційності інформації) чи «не атака» (норма, штатний режим роботи). Наприклад, перший параметр визначає тривалість з'єднання, другий — вказує використовуваний протокол, третій — цільову службу. Вони можуть бути розділені на кілька груп:

1. Ознаки, інформація про які може бути виділена із заголовка мережевого пакета (номери 1—9).

2. Ознаки, що виділяються з інформаційної частини пакета на підставі експертних знань, або як інформація про стан контрольованого вузла (10—22).

3. Ознаки, значення яких обчислюються на основі статистики за минулі дві секунди мережевої активності (номери 23—31).

4. Ознаки, значення яких обчислюються на основі статистики за останні 100 з'єднань (номера 32—41).

До мережевих ознак можуть бути віднесені ознаки, що входять у першу, третю та четверту групи. Ознаки першої групи можуть бути виділені з мережевого пакета, ознаки третьої і четвертої груп є результатом обробки статистики.

Розроблені засоби реалізують витяг немережевих ознак (ознаки другої групи) за принципом аналізу активності файлової системи, а також аналізу інформації статистики використання операційної системи. Для аналізу активності файлової системи застосовано спеціальні засоби розробника, що входять до складу операційної системи Linux з версією ядра не нижче 2.6, за допомогою яких можна відстежувати такі події як: доступ до певної директорії, створення файла, видалення файла, створення директорії, запуск програми і т. д.

Усього в базі KDD-99 представлено 22 типи атак. Атаки розбито на наступні групи:

1. DoS — відмова в обслуговуванні, характеризується генерацією великого обсягу трафіка, що призводить до перевантаження і блокування сервера.

2. U2R передбачає отримання зареєстрованим користувачем привілеїв локального суперкористувача (адміністратора).

3. R2L характеризується отриманням доступу незареєстрованого користувача до комп'ютера з боку віддаленої машини.

4. Probe полягає у скануванні портів з метою отримання конфіденційної інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. У ході моделювання проводилися наступні експерименти:

1. Видалення неінформативних ознак і стиснення простору ознак з використанням методу головних компонент і штучної нейронної мережі. Проведені експерименти показали, що, використовуючи апарат штучних нейронних мереж, можна значно стиснути простір ознак без значної втрати якісних характеристик, що позитивно позначиться на швидкості навчання штучних нейронних мереж і знизить витрати апаратних ресурсів. На рис. 1 представлено залежність кількості інформації від числа головних компонент.

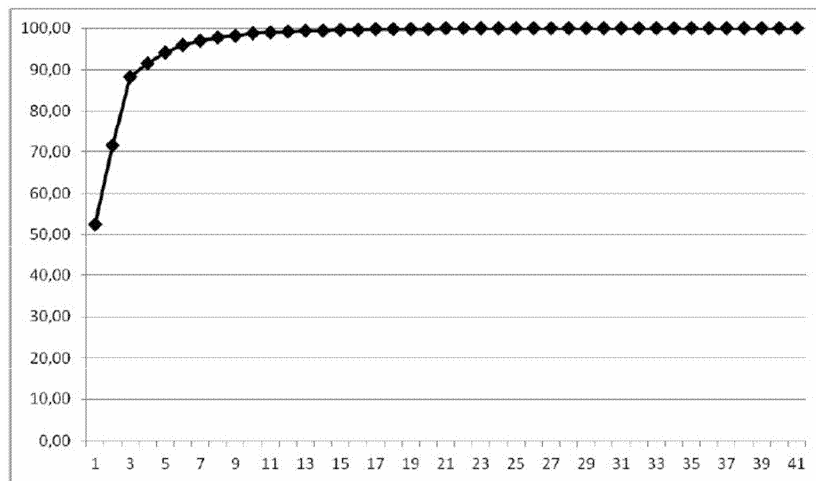


Рисунок 1 – Залежність кількості інформації від числа головних компонент

Як видно з рис. 1, 12 перших головних компонент містять 99 % інформації про мережевий трафік. У 30 компонентах, що залишилися, міститься тільки 1 % інформації, і з міркування доцільності їх можна виключити з аналізу.

Використання методу головних компонент виявило той факт, що для успішного аналізу мережевого трафіка досить використовувати 12 перших головних компонент, в яких міститься 99 % інформації про мережеві з'єднання, а не 41 параметр. Це дозволить суттєво прискорити як процес навчання нейромережевого детектора, так і процес аналізу мережевого трафіка. Для цього до виділених

параметрів з мережевого трафіка застосовуємо спочатку метод головних компонент, а потім подаємо отримані дані на вхід нейронної мережі.

При такому підході кількість n вхідних нейронів використовуваної нейронної мережі в якості детектора дорівнює 12. Подавана інформація – дванадцять перших головних компонент, подається на прихований шар детектора, де і відбувається його визначення до класу мережевої атаки або до класу легітимного з'єднання.

Порівняльний аналіз результатів виявлення мережевих атак із застосуванням методу головних компонент і без нього представлено в табл. 1.

Як видно з отриманих результатів, якість виявлення вдалося значно збільшити завдяки застосуванню методу головних компонент до параметрів мережевого трафіка. Так, приріст в якості виявлення в середньому для DoS-атак склав 1,6 %, для Probe-атак склав 26,0 %, для R2L-атак – 49,3 %, для U2R-атак – 40,9 %.

Слід зазначити, що відсоток виникнення помилкового виявлення становить менше 1,7 %.

Також за рахунок того, що для аналізу мережевого трафіка тепер використовується не 41 параметр, а 12 головних компонент, вдалося значно підвищити швидкість системи в цілому, що є важливим критерієм для систем захисту даних.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз результатів виявлення мережевих атак

Група атак	Клас атаки	З методом головних компонент, %	Без методу головних компонент, %	Поліпшення, %
DoS	Back	99,5	99,5	0
	Land	100,0	90,5	9,5
	Neptune	100,0	100,0	0
	Pod	98,1	98,1	0
	Smurf	100,0	100,0	0
	Teardrop	100,0	100,0	0
	Середнє по атаках	99,6	98,0	1,6

Продовження таблиці 1

Група атак	Клас атаки	З методом головних компонент, %	Без методу головних компонент, %	Поліпшення, %
Probe	Ipsweep	65,2	7,1	58,1
	Nmap	100,0	54,5	45,5
	PortswEEP	99,9	99,6	0,3
	Satan	99,3	99,3	0
	Середнє по атаках	91,1	65,1	26
R2L	Ftp_write	100,0	25,0	75,0
	Guess_passwd	94,3	0	94,3
	Imap	83,3	50,0	33,3
	Multihop	57,1	28,6	28,5
	Phf	100,0	100,0	0
	Spy	100,0	0	100,0
	Warezclient	65,0	32,0	33,0
	Warezmaster	90,0	80,0	10,0
	Середнє по атаках	86,2	36,9	49,3
U2R	Buffer_overflow	83,3	63,3	20,0
	Loadmodule	100,0	0	100,0
	Perl	33,3	0	33,3
	Rootkit	30,0	20,0	10,0
	Середнє по атаках	61,7	20,8	40,9

2. Навчання штучної нейронної мережі проводилося на навчальній вибірці великого обсягу. Всі записи, що зберігаються в базі, були розділені на дві приблизно рівні за потужністю непересічних підмножини – дані з першої використовувалися для навчання штучної нейронної мережі, а дані з другої подавалися на розпізнавання. Використовувалася штучна нейронна мережа типу двошаровий перцептрон.

3. Тестування повноти і точності розпізнавання мережових атак [2]. Точність – число правильних визначень записів класу X ділиться на число фактів вказівки на клас X. Повнота – число правильних визначень записів класу X ділиться на реальне число записів класу X. При цьому пакети, впевненість у класі атаки для яких занадто низька, теж можуть вважатися аномальними, що дозволяє говорити, що нарівні із сигнатурним методом виявлення атаки використовується і аномальний.

Класи атак в базі KDD-99 мають неоднорідне представництво, що ускладнює побудову системи розпізнавання. Тому окремі класи атак були додатково розширені новими записами за допомогою розробленого програмного забезпечення вилучення мережових ознак у форматі KDD-99. Лише 10 з 22 класів атак володіють достатньою кількістю еталонів. Малий обсяг навчальної вибірки для деяких класів атак обумовлює доцільність проведення поетапної обробки даних. У ході досліджень було проведено ряд експериментів, суть яких полягала у визначенні самого факту атаки, без уточнення її класу. Експерименти проводилися з використанням відстані Евкліда-Махаланобіса [3], мережі Кохонена та штучної нейронної мережі прямого поширення. В експерименті на репрезентативній вибірці з безлічі класів атак були видалені класи, що володіють малою кількістю прецедентів. Результати тестування відображено в табл. 2. Тестування показує досить високі показники якості розпізнавання.

Як можна зазначити (табл. 2), жоден з виділених класифікаторів не дає 100% точності по всіх класах, що спонукає до об'єднання класифікаторів в комітет. Отримані результати підтверджують, що якість класифікації безпосередньо залежить від кількості еталонів окремих класів у навчальній вибірці. При малому числі еталонів помилки виникають, в тому числі, і з високою впевненістю класифікатора.

Таблиця 2

Точність і повнота визначення мережових атак (репрезентативна вибірка)

Група атак	Клас атак	Мережа прямого поширення		Кохонен		Метрика Евкліда–Махаланобіса	
		Повнота	Точність	Повнота	Точність	Повнота	Точність
Normal	норма	0.9896	0.9991	0.9961	0.9958	0.9689	0.9946
DoS	neptune	0.9999	1.0000	0.9999	1.0000	0.9705	0.9996
	smurf	0.9997	1.0000	0.9994	1.0000	0.9986	0.9999
	pod	1.0000	0.7308	0.9549	0.0992	0.9771	0.9275
	teardrop	1.0000	0.9919	0.9959	0.8484	0.9918	0.9939
	back	0.9973	0.7421	0.3212	0.7797	0.9510	1.0000
Probe	portswEEP	0.9985	0.9763	0.9862	0.9902	0.9185	0.3441
	ipsweep	0.9930	0.9184	0.9795	0.9966	0.9431	0.9191
	satan	0.9945	0.9537	0.9846	0.9692	0.9138	0.5096
	nmap	0.9896	0.7655	0.9024	0.9001	0.4465	0.0547
r2l	warezclient	0.9941	0.1319	0.6843	0.5826	0.9490	0.0679

Навчання апарату розпізнавання атак відбувалося на 620152 прецедентах: 11733, 129610 і 478809 для трьох класів: «норми», DoS і NMap відповідно. Характеристики класифікаторів (для комп'ютера на базі Intel Xeon E5410 @ 2.33 GHz) наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Час навчання і характеристики класифікаторів

Параметри	Мережа прямого поширення, 100 нейронів першого шару, 3 – другого	Кохонен, 2143 нейрони	Відстань Евкліда–Махаланобіса	Метод опорних векторів, 1014 опорних векторів
Час навчання, сек	310	830	280	14000
Швидкість розпізнавання, прец./сек	51000	9000	192000	59000

З табл. 3 видно, що мережа Кохонена має низьку швидкість розпізнавання, тому вона була виключена з класифікатора. Для використання навчання необхідне проведення підготовчих операцій у вигляді збору інформативних ознак з реальних потоків мережевого трафіка, що містять інформацію про прецеденти мережевих атак заданих класів. Підготовка навчальної і тестової вибірок відбувається з використанням самого модуля нейромережевого моніторингу, шляхом запуску останнього в режимі навчання та організації типових атак із заздалегідь визначених мережевих вузлів.

Тестування модуля нейромережевого моніторингу проводилося в локальній мережі, атакований комп'ютер під управлінням ОС Linux зі встановленим комплектом моніторингу, атакуючий комп'ютер під управлінням ОС Windows. Для тестування якості розпізнавання кожного з класифікованих класів проведено по 5 запусків. До складу розробленого дослідного стенду увійшли:

1. Кластерний обчислювальний пристрій з не менш ніж двома вузлами, що має мережеве обладнання та програмне забезпечення, необхідне для організації хмарних обчислень (рис. 2, де Frontend — керуюча машина, HV — гіпервізор, VM — віртуальна машина, а Node 1, Node 2, ... — обчислювальні вузли).

2. Тестова програма, яка проводить деякі хмарні обчислення на кластерному обчислювальному пристрої і вражається атаками. В якості тестової програми використовувалася програма хмарних обчислень, побудована на базі хмарної обчислювальної платформи сімейства «OpenShift» [4].

3. Мережа з персональних комп'ютерів, підключених до мережі зі встановленим програмним забезпеченням (генератором) для організації мережевих атак видів «сканування портів» та DDoS.

В якості основного засобу захисту, встановлюваного у критичних вузлах, передбачається розроблена система захисту даних хмарних систем з підключеним модулем моніторингу аномальної мережевої активності на основі штучних нейронних мереж, яка включає в себе наступні компоненти:

1. Нейромережеві аналізатори мережевого трафіка.

2. Аналізатори на основі порівняння довгострокових і короткострокових мережевих профілів.

3. Аналізатори на основі поліноміальної відстані Евкліда–Махаланобіса.

4. Аналізатори на основі методу опорних компонент.

Для організації роботи віртуальних машин було обрано систему OpenVZ [5]. OpenVZ — це реалізація технології віртуалізації на рівні операційної системи, яка базується на ядрі Linux. В якості образів для віртуальних машин використовувався заздалегідь підготовлений варіант CentOS 7x86 зі встановленими необхідними версіями бібліотек для системи захисту. У гостьовій системі налаштовано один мережевий інтерфейс для взаємодії із зовнішньою мережею і один віртуальний — для організації доступу до віртуальних машин. Кожній віртуальній машині виділено IP-адресу. Всі віртуальні машини перебувають в одному адресному просторі. Для забезпечення доступу до мережі з віртуальних машин у системі увімкнено переадресацію. Для забезпечення доступу до віртуальних машин по ssh ззовні організовано перенаправлення портів, починаючи з 23, на віртуальні машини (23, 24 і 25). Орієнтовну схему зображено на рис. 3. У розробленій мережевій моделі є доступ до обчислювального вузла, а також організовано доступ до всіх віртуальних машин. Це не обмежує використання мережі всередині машини, але і не дозволяє отримати доступ до віртуальної машини ззовні інакше як через один, заздалегідь визначений, порт, що підвищує захищеність від мережевих атак.

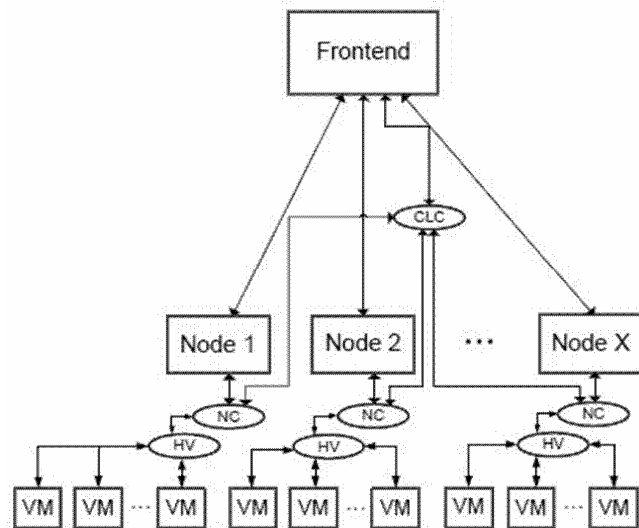


Рисунок 2 – Архітектура типової системи хмарних обчислень

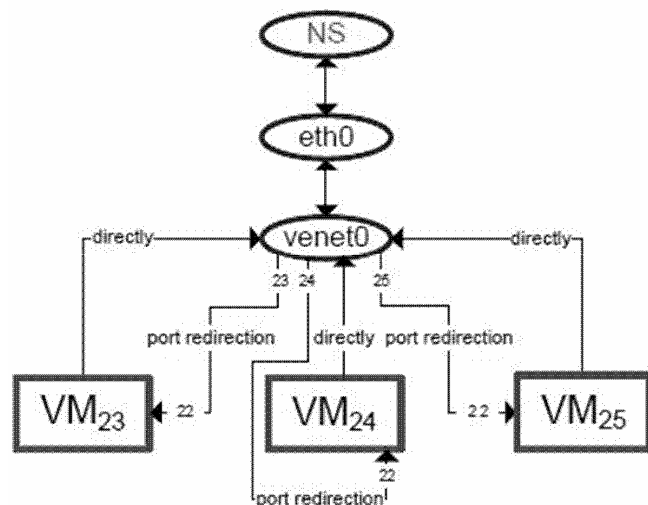


Рисунок 3 – Схема функціонування доступу до віртуальних машин

Таким чином, методика виявлення і запобігання мережних атак на системи хмарних обчислень повинна враховувати зазначені потенційні

джерела мережних атак. Специфіка захисту обумовлена, насамперед, вибраною системою для організації хмарних обчислень, а також операційною системою і гіпервізором. Для захисту від атак на керуючу машину, що має вихід в інтернет, на керуючій машині необхідно встановити компоненти захисту як від зовнішніх, так і внутрішніх атак. Для визначення та запобігання розподілених атак на віртуальну машину з іншої віртуальної машини хмари потрібна взаємодія між компонентами захисту на різних вузлах (віртуальних машинах). Атаки на віртуальну машину в межах одного обчислювального вузла можна визначити і зупинити різними способами:

1. Встановити систему захисту на самі віртуальні машини.
2. Встановити систему на вузли кластера для захисту з'єднання типу «міст» (bridge), через яке відбувається мережний обмін працюючих віртуальних машин.
3. Встановити систему захисту на вузли кластера, організувавши доступ до необхідних лог-файлів віртуальних машин.
4. Встановити систему захисту на вузли кластера і розмістити у віртуальних машинах модуль, який буде проводити відправку інформації про мережні пакети системі захисту на вузлу (даний варіант має місце, якщо з якихось причин немає можливості аналізувати мережний трафік моста або обмін між віртуальними машинами проводиться не через міст).

Останній варіант вимагає доступу з віртуальної машини до вузла кластера, що підвищує рівень ризику і розширює спектр можливих атак і цілей для них. Атаки на віртуальну машину з іншої віртуальної машини хмари на іншому обчислювальному вузлі, по відношенню до атакуючих машин, можна блокувати або згаданим способом, або заборонити зв'язуватися віртуальним машинам на різних обчислювальних вузлах за допомогою відповідних мережних налаштувань. Атаки на віртуальну машину зовні, при наявності доступу до віртуальних машин, можна виявляти як на керуючій машині, так і на вузлах кластера, але запобігати краще на керуючому вузлі кластера шляхом оповіщення системи захисту, що знаходиться на ньому. Атаки на обчислювальні вузли ззовні віддаленим зловмисником можна виявляти як на керуючій машині, так і на модулях системи захисту, встановленої безпосередньо на обчислювальних вузлах. Атаки на обчислювальні вузли з віртуальної машини відбуваються лише захистом на рівні з'єднань типу «міст», вони можливі тільки у випадку видимості вузлів кластера для віртуальних машин. Найкращим захистом буде відділення адресного

простору вузлів кластера від віртуальних машин. Зазначені місця впровадження системи захисту показано на рис. 4, де NS — мережевий сенсор, AM — модулі аналізу і реакції, CM — модуль управління компонентами і SM — модуль зберігання.

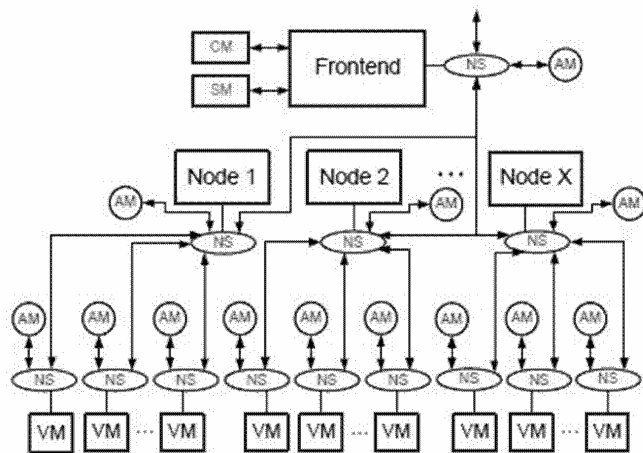


Рисунок 4 – Схема розміщення підсистем мережевого захисту

Для визначення ефективності запропонованої методики виявлення мережевих атак на системи хмарних обчислень було проведено ряд мережевих атак на експериментальний стенд. Усього було проведено шість мережевих атак, спрямованих на порушення інформаційної безпеки як керуючої машини хмари, так і віртуальних машин у її складі. Керуючій машині була привласнена приватна IP-адреса 192.168.71.88 і внутрішня IP-адреса, доступна для віртуальних машин — 10.0.0.1, яким були присвоєні адреси 10.0.0.2, 10.0.0.3 і 10.0.0.4 відповідно.

Для тестування якості розпізнавання класу «норма» використано термінал віддаленого доступу putty. Мережеві пакети класу «норма» являють собою трафік, створюваний терміналом у ході роботи віддаленого користувача з цільовою машиною, що виконує типові команди ОС. Середня повнота класифікації класу «норма» становить 100 %.

Основним напрямком атак було сканування портів (атаки класу «nmap»), для чого використовувалася утиліта Zenmap. Загальний вигляд основного вікна утиліти Zenmap наведено на рис. 5.

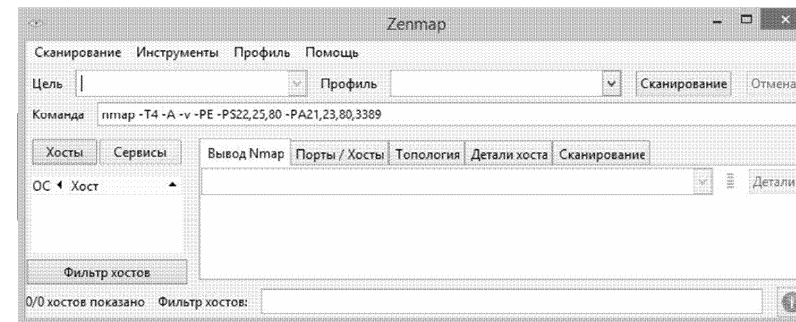


Рисунок 5 – Загальний вигляд вікна утиліти Zenmap

Дана утиліта являє собою графічний інтерфейс для програми nmap, що проводить сканування портів на віддаленій машині. Частота звернення до портів у разі атак всередині хмари була обмежена за допомогою параметра max-rate до 4000 в секунду. Дане обмеження викликано зниженням ефективності аналізатора трафіка при більшій частоті появи пакетів, що потенційно може призводити до неправильної інтерпретації ситуації або до втрати даних. Середня повнота класифікації класу «nmap» — 98,71 %.

Додатково було проведено атаку типу DDoS на сто тридцять дев'ятий мережевий порт захищеної хмарної системи за допомогою мережі з 10 комп'ютерів програмою TCP/IP DOS Attacker. Загальний вигляд основного вікна утиліти TCP/IP DoS Attacker наведено на рис. 6.

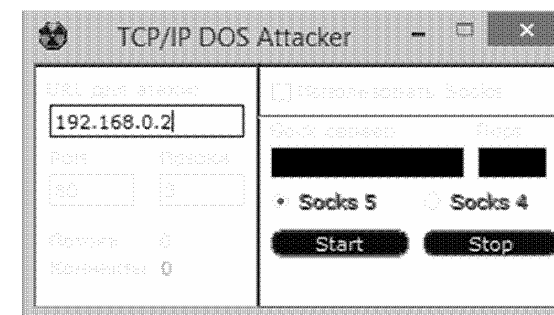


Рисунок 6 – Інтерфейс програми TCP/IP DOS Attacker

Дана утиліта організовує атаки класу Denial of Service, генеруючи великий потік мережевих пакетів на цільовий хост. Середня повнота класифікації класу «DoS» становить 99,3 %.

Висновки. Експериментальні дослідження з використанням лабораторного стенду показали високий рівень виявлення атак на основі запропонованих класифікаторів (близьке до нуля число помилок першого і другого роду у комітеті класифікаторів). Також представлено застосування методу головних компонент для скорочення розміру даних для аналізу мережевого трафіка, що дозволило поліпшити якість виявлення мережевих атак на хмарні обчислювальні системи, а також підвищити швидкодію системи за рахунок скорочення аналізованих даних.

Отримані результати перевищують деякі показники, досягнуті в роботі [2] при нейромережевому аналізі даних тієї самої бази мережевих атак. Зокрема, частка помилкового виявлення атак у цій роботі, що слугувала прототипом досліджень, становить близько 12 %. Вдалося отримати також кращі показники за деякими типами атак по повноті і точності.

У разі, якщо достатнім є визначення факту атаки, механізм нейронних мереж показує високу ефективність і може бути рекомендований для використання в області моніторингу мережевих атак на хмарні обчислення.

Результати, отримані в ході експериментів, доводять правильність розміщення мережевих сенсорів і ефективність запропонованої моделі захисту системи хмарних обчислень. У той же час експеримент виявив недостатню ефективність зазначених сенсорів у плані застосування їх для аналізу трафіка між віртуальними машинами в межах одного вузла (через відсутність мережевих затримок всередині хмари). Це говорить про необхідність зниження числа одночасно спостережуваних мережевих сесій.

Бібліографічні посилання

1. **Sravan V.** Security techniques for protecting data in cloud computing / V. Sravan, K. Maddineni. — Karlskrona : Blekinge Institute of Technology, 2011. — 75 p.
2. **Wilson D.** Knowledge extraction from KDD'99 intrusion data using grammatical evolution / D. Wilson, D. Kaur // WSEAS Transactions on Information Science and Applications. — 2007. — № 4. — P. 237—244.
3. **De Maesschalck R.** The Mahalanobis distance / R. De Maesschalck, D. Jouan-Rimbaud // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. — 2000. — № 1. — P. 1—18.
4. **Pousty S.** Getting started with OpenShift / S. Pousty, K. J. Miller. — Sebastopol : O'Reilly Media, 2014. — 105 p.

5. **Furman M.** OpenVZ essentials / Mark Furman. — Birmingham : Packt Publishing, 2014. — 110 p.

6. **Rhodes-Ousley M.** Information security (The complete reference) / Mark Rhodes-Ousley. — New York : McGraw-Hill Osborne Media, 2013. — 897 p.

7. **Li Z.** A neural network based distributed intrusion detection system on cloud platform / Zhe Li. — Toledo : The University of Toledo, 2013. — 72 p.

8. **Hesham A. I. M.** Cloud computing security, an intrusion detection system for cloud computing systems / Abdelazim Ismail Mohamed Hesham. — Pisa : University of Pisa, 2013. — 241 p.

9. **Modi C.** A survey of intrusion detection techniques in cloud / C. Modi, D. Patel, H. Patel // Journal of Network and Computer Applications. — 2013. — № 36. — P. 42—57.

Надійшла до редколегії 27.09.15

УДК 519.245; 519.674

П.О. Приставка

Національний авіаційний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ КОМБІНАЦІЙ В-СПЛАЙНІВ ДРУГОГО ПОРЯДКУ, БЛИЗЬКИХ ДО ІНТЕРПОЛЯЦІЙНИХ У СЕРЕДНЬОМУ

Отримано диференціали та їх часткові випадки для двовимірної поліноміального сплайну на основі *B*-сплайнів другого порядку. На їх основі запропоновано аналоги відомих операторів для визначення локальних особливостей цифрових зображень.

Ключові слова: сплайн, диференціали, цифрові зображення.

Получены дифференциалы и их частные случаи для двумерного полиномиального сплайна на основе *B*-сплайнов второго порядка. На их основе предложены аналоги известных операторов для определения локальных особенностей цифровых изображений.

Ключевые слова: сплайн, дифференциалы, цифровые изображения.

The paper proposes a calculation of differentials and their partial cases for two-dimensional polynomial spline based on *B*-splines of second order. Based on these, proposed analogs of known operators to determine the local characteristics of digital images.

Keywords: spline, differentials, digital images.

Постановка проблеми. Визначення локальних особливостей цифрових зображень (ЦЗ) є невід'ємною складовою обчислювальних процедур пошуку та розпізнавання об'єктів, фотограмметрії, орторектифікації даних повітряної розвідки, трекінгу цілей на цифровому відео тощо. Говорячи про особливості ЦЗ, маємо на увазі локальні, низького рівня особливості, що не пов'язані з просторовими співвідношеннями – країв об'єктів, кривизна, що подається швидкістю зміни інтенсивності освітлення у напрямку краю, – тобто такі, котрі є інваріантними відносно масштабування, обертання та, частково, відносно змін точки спостереження та інтенсивності зображення. Вони добре локалізуються як у просторовій, так і в частотній областях, стійкі до зашумлення, а індивідуальна особливість дозволяє

© Приставка П.О., 2015

пошук співвідношень особливостей об'єктів, представлених на різних зображеннях сцени [1].

Взагалі, математичною основою пошуку особливостей є різноманітний аналіз часткових похідних першого та другого порядку, які отримують, виходячи з неперервної моделі зображення. Часто у програмному забезпеченні використовують згортку їх дискретних аналогів з ЦЗ на кшталт операторів Робертса та Превіта [2]. Іншим широко вживаним підходом є аналіз похідних моделі зображення після згортки з функцією Гаусса [3–8].

Альтернативою до моделі згладженого зображення на основі гауссіана може бути модель на основі лінійних комбінацій *B*-сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому [9]. Маючи фактично аналогічні властивості в частотній області, що й функція Гаусса, *B*-сплайни більш прості в обчисленні та дозволяють побудову моделі зображення, яка за рахунок аналітичного вигляду надає можливість отримання часткових похідних, на основі яких можна будувати швидкодіючі інваріантні відносно обертань та зміни масштабу оператори пошуку особливостей ЦЗ.

Аналіз публікацій та постановка задачі. У подальшому викладенні будемо виходити з моделі реалістичних зображень, тобто результатів фото- або відеофіксації сцен. За способом реєстрації ЦЗ, дані, що його подають, за фактом є усередненими значеннями, тобто при фіксації аналогового зображення має місце наступне [9]. Нехай площа зображення визначається осями T та Q . Крок дискретизації за напрямками T , Q однаковий $h > 0$, отже, задано рівномірне розбиття $\Delta_{h,h} : t_i = ih, q_j = jh, i = \overline{0, H-1}, j = \overline{0, W-1}$, де H та W – лінійні розміри ЦЗ, що фіксується. Нехай $\phi(t, q)$ – функція імпульсного відклику системи, що реєструє $p(t, q)$ – функцію інтенсивності освітлення об'єктів просторової сцени (аналогове зображення). Тоді в силу суто технічних властивостей систем реєстрації, результатом згортки $p(t, q)$ та функції відклику буде значення, усереднене в області дискретизації, зокрема:

$$(p * \phi)(ih, jh) = \frac{1}{h^2} \int_{ih-\frac{h}{2}}^{ih+\frac{h}{2}} \int_{jh-\frac{h}{2}}^{jh+\frac{h}{2}} p(t, q) \phi(t - ih, q - jh) dt dq = \bar{p}_{i,j}.$$

Тож дискретизовані (квантовані) значення інтенсивності світлового потоку (цифрове зображення) можуть мати таке подання:

$$p_{i,j} = \bar{p}_{i,j} + \varepsilon_{i,j}, \quad i = \overline{0, H-1}, \quad j = \overline{0, W-1}, \quad (1)$$

де $\varepsilon_{i,j}$ – випадкова вада. Отже, при побудові моделі зображень за даними (1) виникає задача використовувати апроксимації, що враховують і випадкову природу даних, і фізичні властивості систем реєстрації – зокрема, оператори інтерполяційні в середньому або близькі до таких. У монографії [10] для апроксимації функції $p(t, q)$ за значеннями типу (1) у вузлах розбиття $\Delta_{h,h}$, подано лінійні комбінації B -сплайнів, що є близькими до інтерполяційних у середньому. Наприклад, сплайн-оператор нульового ступеня уточнення на основі B -сплайнів другого порядку такий:

$$S_{2,0}(p, t, q) = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} p_{i,j} B_{2,h}(t - ih) B_{2,h}(q - jh), \quad (2)$$

де (з точністю до аргументу) [11]

$$B_{2,h}(t) = \begin{cases} 0, & t \notin [-3h/2; 3h/2], \\ (3 + 2t/h)^2 / 8, & t \in [-3h/2; -h/2], \\ 3/4 - (2t/h)^2 / 4, & t \in [-h/2; h/2], \\ (3 - 2t/h)^2 / 8, & t \in [h/2; 3h/2]. \end{cases}$$

Виходячи з положення, що базис B -сплайнів є базисом Ріса, та з того факту, що фундаментальні сплайни на основі B -сплайнів [12] прямують до нуля експоненціально швидко при віддаленні від локальної (i, j) -ої області наближення, прийнятним є використання двовимірних локальних поліноміальних сплайнів на основі B -сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому в якості моделі ЦЗ.

Якщо обрати в якості моделі зображення сплайн (2), то така оцінка за певних умов є асимптотично точною. Зокрема, якщо $p(t, q) \in C^{2,2}$, $|\varepsilon_{i,j}| < \varepsilon$, $i, j \in Z$ і $\forall \varepsilon > 0$, то справедливою оцінкою буде така [10]:

$$\begin{aligned} \|p(t, q) - S_{2,0}(p, t, q)\| &\leq \frac{h_t^2}{6} \|p''_{t^2}(t, q)\| + \frac{h_q^2}{6} \|p''_{q^2}(t, q)\| + \\ &+ \frac{h_t^2 h_q^2}{36} \|p^{(4)}_{t^2 q^2}(t, q)\| + \varepsilon \cdot \|p(t, q)\| + o(h^4), \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо в якості апроксимації зображення обрати вираз (2) або будь-яку іншу комбінацію B -сплайнів такого типу:

$$S_{r,0}(p, t, q) = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} p_{i,j} B_{r,h_t}(t - ih_t) B_{r,h_q}(q - jh_q), \quad r = 2, 3, \dots, \quad (4)$$

то отримаємо модель з властивостями імпульсного нерекурсивного низькочастотного фільтра [13]. Зокрема, в роботі [12, с.102], приведено доведення, що як і функція Гаусса, будь-який B -сплайн порядку вище першого може бути використаний для визначення коротковіконного перетворення Фур'є, тож, якщо є потреба в отриманні цифрового низькочастотного фільтра ЦЗ, то достатньо в моделі (4) визначити значення сплайну у вузлах розбиття $\Delta_{h,h}$ [14].

Наприклад, якщо ввести заміну

$$x = 2(t - ih_t)/h_t, \quad |x| \leq 1, \quad y = 2(q - jh_q)/h_q, \quad |y| \leq 1, \quad (5)$$

можна подати (2) в розгорнутому вигляді [10]:

$$\begin{aligned} S_{2,0}(p, t, q) = & \frac{1}{64} \left((1-x)^2 (1-y)^2 p_{i-1,j-1} + (1-x)^2 (6-2y^2) p_{i-1,j} + \right. \\ & + (1-x)^2 (1+y)^2 p_{i-1,j+1} + (6-2x^2) (1-y)^2 p_{i,j-1} + (6-2x^2) (6-2y^2) p_{i,j} + \\ & + (6-2x^2) (1+y)^2 p_{i,j+1} + (1+x)^2 (1-y)^2 p_{i+1,j-1} + (1+x)^2 (6-2y^2) p_{i+1,j} + \\ & \left. + (1+x)^2 (1+y)^2 p_{i+1,j+1} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Далі, при потребі обробки ЦЗ, поклавши $x = 0$, $y = 0$, отримаємо лінійний оператор $L(p^{i,j})$ низькочастотної фільтрації:

$$\begin{aligned} L(p^{i,j}) = S_{2,0}(p, ih, jh) = & (p_{i-1,j-1} + 6p_{i-1,j} + p_{i+1,j+1} + \\ & + 6p_{i,j-1} + 36p_{i,j} + 6p_{i,j+1} + p_{i+1,j-1} + 6p_{i+1,j} + p_{i+1,j+1}) / 64, \\ & i, j \in Z, \end{aligned}$$

або, використовуючи запис у формі дискретної згортки послідовності $p_{i,j}$, $i, j \in Z$ з маскою фільтра γ , можна записати так:

$$L(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-1}^{i+1} \sum_{jj=j-1}^{j+1} \gamma_{ii-i, jj-j} p_{ii, jj}, \quad i, j \in \mathbf{Z},$$

де

$$\gamma = \frac{1}{64} \begin{pmatrix} 1 & 6 & 1 \\ 6 & 36 & 6 \\ 1 & 6 & 1 \end{pmatrix}.$$

В основній частині даної роботи поставимо за мету одержання часткових похідних моделі зображення на основі виразу (6), визначення часткових випадків, придатних для обробки ЦЗ, а також побудуємо на основі них оператори для пошуку особливих точок цифрових зображень.

Виклад основного матеріалу. З урахуванням заміни (5) та виразу (6), часткові похідні сплайну (2) такі:

$$\begin{aligned} S'_{2,0}(p, t, q)_t = & \frac{1}{16h_t} \left((-p_{i-1, j-1} - 6p_{i-1, j} - p_{i-1, j+1} + p_{i+1, j-1} + 6p_{i+1, j} + p_{i+1, j+1}) + \right. \\ & + (2p_{i-1, j-1} - 2p_{i-1, j+1} - 2p_{i+1, j-1} + 2p_{i+1, j+1}) y + (p_{i-1, j-1} + 6p_{i-1, j} + p_{i-1, j+1} - \\ & - 2p_{i, j-1} - 12p_{i, j} - 2p_{i, j+1} + p_{i+1, j-1} + 6p_{i+1, j} + p_{i+1, j+1}) x + (-2p_{i-1, j-1} + \\ & + 2p_{i-1, j+1} + 4p_{i, j-1} - 4p_{i, j+1} - 2p_{i+1, j-1} + 2p_{i+1, j+1}) xy + (-p_{i-1, j-1} + 2p_{i-1, j} - \\ & - p_{i-1, j+1} + p_{i+1, j-1} - 2p_{i+1, j} + p_{i+1, j+1}) y^2 + (p_{i-1, j-1} - 2p_{i-1, j} + p_{i-1, j+1} - \\ & \left. - 2p_{i, j-1} + 4p_{i, j} - 2p_{i, j+1} + p_{i+1, j-1} - 2p_{i+1, j} + p_{i+1, j+1}) xy^2 \right), \\ S'_{2,0}(p, t, q)_q = & \frac{1}{16h_q} \left((-p_{i-1, j-1} + p_{i-1, j+1} - 6p_{i, j-1} + 6p_{i, j+1} - p_{i+1, j-1} + p_{i+1, j+1}) + \right. \\ & + (2p_{i-1, j-1} - 2p_{i-1, j+1} - 2p_{i+1, j-1} + 2p_{i+1, j+1}) x + \\ & \left. + (-2p_{i-1, j-1} + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (p_{i-1, j-1} - 2p_{i-1, j} + \\ & + p_{i-1, j+1} + 6p_{i, j-1} - 12p_{i, j} + 6p_{i, j+1} + p_{i+1, j-1} - 2p_{i+1, j} + p_{i+1, j+1}) y + (-p_{i-1, j-1} + \\ & + p_{i-1, j+1} + 2p_{i, j-1} - 2p_{i, j+1} - p_{i+1, j-1} + p_{i+1, j+1}) x^2 + (-2p_{i-1, j-1} + 4p_{i-1, j} - \\ & - 2p_{i-1, j+1} + 2p_{i+1, j-1} - 4p_{i+1, j} + 2p_{i+1, j+1}) xy + (p_{i-1, j-1} - 2p_{i-1, j} + p_{i-1, j+1} - \\ & - 2p_{i, j-1} + 4p_{i, j} - 2p_{i, j+1} + p_{i+1, j-1} - 2p_{i+1, j} + p_{i+1, j+1}) x^2 y) \Big). \end{aligned}$$

Для роботи з ЦЗ дискретні аналоги $S'_{2,0}(p, t, q)_t$, $S'_{2,0}(p, t, q)_q$ при $x=0$, $y=0$ та з урахуванням $h_t = h_q = 1$ можна подати так:

$$S'_{2,0,l} = \sum_{ii=i-1}^{i+1} \sum_{jj=j-1}^{j+1} \gamma'_{l, ii-i, jj-j} \cdot p_{ii, jj}, \quad (7)$$

де

$$l = \{t, q\}; \quad \gamma'_t = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} -1 & -6 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\gamma'_q = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -6 & 0 & 6 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Неперервні часткові похідні другого порядку визначаються за виразами:

$$\begin{aligned} S''_{2,0}(p, t, q)_{t^2} = & \frac{1}{8h_t^2} \left((p_{i-1, j-1} + 6p_{i-1, j} + p_{i-1, j+1} - \right. \\ & - 2p_{i, j-1} - 12p_{i, j} - 2p_{i, j+1} + p_{i+1, j-1} + 6p_{i+1, j} + p_{i+1, j+1}) + (-2p_{i-1, j-1} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +2p_{i-1,j+1} + 4p_{i,j-1} - 4p_{i,j+1} - 2p_{i+1,j-1} + 2p_{i+1,j+1})y + \\
& + (p_{i-1,j-1} - 2p_{i-1,j} + p_{i-1,j+1} - 2p_{i,j-1} + 4p_{i,j} - 2p_{i,j+1} + p_{i+1,j-1} - 2p_{i+1,j} + p_{i+1,j+1})y^2) \\
& \cdot \\
& S''_{2,0}(p,t,q)_{q^2} = \frac{1}{8h_q^2} \left((p_{i-1,j-1} - 2p_{i-1,j} + \right. \\
& + p_{i-1,j+1} + 6p_{i,j-1} - 12p_{i,j} + 6p_{i,j+1} + p_{i+1,j-1} - 2p_{i+1,j} + p_{i+1,j+1}) + \\
& + (-2p_{i-1,j-1} + 4p_{i-1,j} - \\
& 2p_{i-1,j+1} + 2p_{i+1,j-1} - 4p_{i+1,j} + 2p_{i+1,j+1})x + \\
& + (p_{i-1,j-1} - 2p_{i-1,j} + p_{i-1,j+1} - 2p_{i,j-1} + 4p_{i,j} - 2p_{i,j+1} + p_{i+1,j-1} - 2p_{i+1,j} + p_{i+1,j+1})x^2) \\
& \cdot \\
& S''_{2,0}(p,t,q)_{iq} = \frac{1}{4h_t h_q} \left((p_{i-1,j-1} - p_{i-1,j+1} - p_{i+1,j-1} + p_{i+1,j+1}) + (-p_{i-1,j-1} + \right. \\
& + p_{i-1,j+1} + 2p_{i,j-1} - 2p_{i,j+1} - p_{i+1,j-1} + p_{i+1,j+1})x + (-p_{i-1,j-1} + 2p_{i-1,j} - \\
& - p_{i-1,j+1} + p_{i+1,j-1} - 2p_{i+1,j} + p_{i+1,j+1})y + (p_{i-1,j-1} - 2p_{i-1,j} + p_{i-1,j+1} - \\
& - 2p_{i,j-1} + 4p_{i,j} - 2p_{i,j+1} + p_{i+1,j-1} - 2p_{i+1,j} + p_{i+1,j+1})xy) \cdot
\end{aligned}$$

Відповідно, дискретні згортки операторів диференціювання другого порядку на основі моделі (2) такі:

$$S''_{2,0,l} = \sum_{ii=i-1}^{i+1} \sum_{j=i-1}^{j+1} \gamma''_{l,ii-i,jj-j} \cdot P_{ii,jj}, \quad (8)$$

де

$$l = \{t^2, q^2, tq\}; \quad \gamma''_{t^2} = \frac{1}{8} \begin{pmatrix} 1 & 6 & 1 \\ -2 & -12 & -2 \\ 1 & 6 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\gamma''_{q^2} = \frac{1}{8} \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ 6 & -12 & 6 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}; \quad \gamma''_{tq} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Знаходження особливих точок об'єктів ЦЗ на основі операторів першого порядку (7) базується на припущенні, що диференціювання визначає різку зміну інтенсивності на краях, а в кутових точках така зміна ще більша. Умова знаходження точок, де швидкість зміни функції інтенсивності ЦЗ максимальна, потребує визначення локальних максимумів перших часткових похідних, тож природним є аналіз градієнта $\nabla S_{2,0}$ зображення на основі моделі (2):

$$\nabla S_{2,0} = S'_{2,0,t} + S'_{2,0,q} = \sum_{ii=i-1}^{i+1} \sum_{j=i-1}^{j+1} g'_{(2,0),ii-i,jj-j} \cdot P_{ii,jj},$$

де

$$g'_{(2,0)} = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} -2 & -6 & 0 \\ -6 & 0 & 6 \\ 0 & 6 & 2 \end{pmatrix}.$$

Альтернативою диференціюванню першого порядку та знаходженню максимуму першої похідної є диференціювання другого порядку з подальшим знаходженням точок нуля другої похідної. При обробці ЦЗ найчастіше має використання оператор Лапласа (лапласіан) з ядром, що апроксимується диференціалами другого порядку. Виходячи з моделі (2) та операторів (8), лапласіан $\nabla^2 S_{2,0}$ на основі локального поліноміального сплайну $S_{2,0}(p,t,q)$ такий:

$$\nabla^2 S_{2,0} = S''_{2,0,t^2} + S''_{2,0,q^2} = \sum_{ii=i-1}^{i+1} \sum_{j=i-1}^{j+1} l'_{(2,0),ii-i,jj-j} \cdot P_{ii,jj},$$

де

$$lp_{(2,0)} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & -12 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Оскільки оператор Лапласа є досить чутливим до шуму, використання лапласіана на основі згладжуючих сплайнів, на кшталт $S_{2,0}(p, t, q)$, є обгрунтованою альтернативою застосуванню лапласіанів функції Гаусса. Для виявлення на основі $\nabla^2 S_{2,0}$ особливостей ЦЗ, зокрема краплеподібних структур, достатньо приділити увагу аналізу його екстремумів.

Окрім лапласіана $\nabla^2 S_{2,0}$, на основі моделі (2) можна визначити ще три диференціальних інваріанти [8] відносно локальних обертань: магнітуда градієнта $|\nabla S_{2,0}|$, детермінант Гессіана $\det H_{S_{2,0}}$ та кривизна кривої рівня масштабування $\tilde{k}(S_{2,0})$.

Зокрема, афінно коваріантний детектор структур типа крапель, що також реагує на сідлові точки, може бути поданий як мінімум та максимум детермінанта Гессіана:

$$\det H_{S_{2,0}} = S''_{2,0,t^2} \cdot S''_{2,0,q^2} - S_{2,0,tq}^2,$$

а прямолінійний та афінно коваріантний детектор кутів – як мінімум та максимум кривизни $\tilde{k}(S_{2,0})$:

$$\tilde{k}(S_{2,0}) = S_{2,0,t}^{\prime 2} \cdot S''_{2,0,q^2} + S_{2,0,q}^{\prime 2} \cdot S''_{2,0,t^2} - 2S'_{2,0,t} \cdot S'_{2,0,q} \cdot S''_{2,0,tq},$$

де оператори $S'_{2,0,t}$, $S'_{2,0,q}$, $S''_{2,0,t^2}$, $S''_{2,0,q^2}$ та $S''_{2,0,tq}$ визначаються з (7) та (8).

Для побудови дескриптора особливої точки ЦЗ, як, на зразок, у методі масштабно-інваріантних перетворень особливостей (SIFT) [15], на основі моделі (2) та операторів (7) можна запропонувати до використання такі оцінки магнітуди градієнта $|\nabla S_{2,0}|$

$$|\nabla S_{2,0}| = \sqrt{S_{2,0,t}^{\prime 2} + S_{2,0,q}^{\prime 2}}$$

та кута орієнтації $\theta_{S_{2,0}}$

$$\theta_{S_{2,0}} = \arctg \left(\frac{S'_{2,0,q}}{S'_{2,0,t}} \right).$$

Висновок. У роботі отримано перші та другі диференціали та їх часткові випадки для двовимірного локального поліноміального сплайну на основі B -сплайнів другого порядку, близького до інтерполяційного у середньому, та наведено аналоги відомих операторів для визначення локальних особливостей ЦЗ. Запропоновані оператори мають властивості, близькі до часткових випадків похідних функції Гаусса, та мають низьку обчислювальну складність, що надає право рекомендувати їх для реалізації у програмному забезпеченні обробки ЦЗ та цифрового відео, в тому числі в режимі реального часу.

Подальші дослідження можуть полягати в отриманні аналогічних операторів на основі двовимірних комбінацій B -сплайнів порядку вище другого та аналізу можливостей їх застосування в задачах обробки цифрових зображень та відео.

Бібліографічні посилання

1. **Кухаренко Б.Г.** Алгоритмы анализа изображений для определения локальных особенностей и распознавания объектов и панорам / **Б.Г. Кухаренко** // Информационные технологии – № 7. – 2011. – Приложение. – 32 с.
2. **Prewitt J.M.S.** The analysis of cell images / J.M.S. Prewitt, M.L. Mendelsohn // Annals of the New York Academy of Science. – 1966. – V. 128. – P. 1035–1053.
3. **Sobel I.E.** Camera Models and Machine Perception. PhD Thesis. / I.E. Sobel. – Stanford University, CA, 1970.
4. **Canny J.** A computational approach to edge detection / J. Canny // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – V. 8. – N 6. – P. 679–698.
5. **Marr D.C.** Theory of edge detection / D.C. Marr, E. Hildreth // Proceedings of the Royal Society of London. – 1980. – V. B207. – P. 187–217.
6. **Schmid C.** Evaluation of interest point detectors / C. Schmid, R. Mohr, C. Bauckhage // International Journal of Computer Vision. – 2000. – V. 37 – N 2. – P. 151–172.
7. **Lindeberg T.** Scale-space / Wah B., ed. Encyclopedia of Computer Science and Engineering. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons., 2009. – V. IV. – P. 2495–2504.

8. Koenderink J.J. Generic neighborhood operators / J.J. Koenderink, A.J. van Dorn // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1992. – V. 14. – N 6. – P. 597–605.

9. Приставка П.О. Модель реалістичних зображень на основі двовимірних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому / П.О. Приставка, М.О. Рябий // Наукоємні технології. – 2012. – № 3 (15). – С. 67–71.

10. Приставка П.О. Поліноміальні сплайни при обробці даних. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 236 с.

11. Лигун А.А. Асимптотические методы восстановления кривых. / А.А. Лигун, А.А.Шумейко – К. : ИМ НАНУ, 1997. – 358 с.

12. Чуи Ч. Введение в вэйлеты / Ч. Чуи; пер. с. англ. – М. : Мир, 2001. – 412 с.

13. Василенко В.А. Сплайн-функции и цифровые фильтры / В.А. Василенко, М.В. Зюзин, А.В. Ковалков – Новосибирск : Вычислительный центр СО АН СССР, 1984. – 141 с.

14. Приставка П.О. Обчислювальні аспекти застосування поліноміальних сплайнів при побудові фільтрів / П.О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – Д. : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2006. – Т.10. – С. 3–14.

15. Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints / D.G. Lowe // International Journal of Computer Vision. – 2004. – V. 60. – N 2. – P. 91–110.

Надійшла до редколегії 1.06.15

УДК 519.711

П.О. Приставка, Г.А. Шаповал

Національний авіаційний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВОГО РЯДУ ЗАЛИШКІВ ЗНАЧЕНЬ ІНДЕКСУ ГЕОМАГНІТНОЇ АКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА

Запропоновано метод прогнозування часових рядів геомагнітної активності на основі їх попередніх відліків з використанням моделей Маркова. Подано приклад застосування моделі та розв'язання задачі прогнозування на конкретних даних.

Ключові слова: марківська модель, ланцюг Маркова, геомагнітна активність, Dst-індекс, прогнозування космічної погоди.

Предложен метод прогнозирования часовых рядов геомагнитной активности на основании их предыдущих замеров с использованием моделей Маркова. Приведен пример использования модели и решения задачи на конкретных данных.

Ключевые слова: марковская модель, цепь Маркова, геомагнитная активность, Dst-индекс, прогнозирование космической погоды.

The paper proposes forecasting method of geomagnetic activity index time series based on their previous measurements using Markov model. An example of model using and task solving was given.

Keywords: Markov model, Markov chain, geomagnetic activity, Dst-index, forecasting of space weather.

Постановка проблеми. Процеси формування небезпечних явищ погоди, як свідчать сучасні дослідження, супроводжуються фізичними ефектами, що локально проявляються у земних сферах, які прийнято називати передвісниками або предикторами подій. За характеристиками цих передвісників можна судити про величину і час майбутньої ймовірної події. Відтак, здійснюючи глобальний моніторинг предикторів на поверхні і в атмосфері Землі з використанням космічних засобів дистанційного зондування Землі спільно з мережею спеціалізованих наземних станцій, можливе наукове обґрунтування та прогнозування небезпечних явищ космічної погоди.

© Приставка П.О., Шаповал Г.А., 2015

Окрім впливу на електроніку та роботу супутників, космічна погода здійснює вплив на розповсюдження радіохвиль та сигнали сучасних космічних радіосистем – навігаційних систем (GPS), систем супутникового зв'язку та ін., призводячи до порушення супутникової навігації, втрати космічного зв'язку та космічних даних. Розповсюджуються через збурену іоносферу та атмосферу, ці сигнали піддаються розсіюванню та послабленню на іоносферних неоднорідностях, що виникають у періоди сильних геомагнітних збурень та бур [1].

Супутниковий зв'язок, що забезпечує радіо- та телемовлення, Інтернет, передачу інформації та даних, піддається впливу космічної погоди через стан середовища, в якому він функціонує. Цей вплив полягає у дії космічної погоди безпосередньо на самі супутники (радіація, аномальне гальмування), у дії факторів космічної погоди на наземний сегмент (відключення електроенергії у періоди магнітних бур) та на сигнали супутникового зв'язку під час їх розповсюдження через верхню та нижню атмосферу Землі.

Наведені факти впливу сонячно-земних зв'язків на космічну техніку та технології, на космічну діяльність у цілому, а також зареєстровані екстремальні прояви космічної погоди свідчать про те, що розвиток технічних систем сягнув такого рівня, коли вплив на них з боку космічної погоди здатен призвести до серйозних катастроф та збитків. Це ставить задачу створення засобів моніторингу космічної погоди, розробки методів її прогнозування та заходів пом'якшення її впливу, а також проведення поглиблених фундаментальних досліджень сонячної активності та її дії на Землю.

Враховуючи складність внутрішньої природи явищ магнітосфери, що відображають послідовність взаємопов'язаних фізичних процесів, не завжди можна побудувати адекватну математичну модель, що буде повною мірою описувати основні динамічні властивості. Саме тому доцільно використовувати нелінійні математичні моделі, структура яких від початку невідома, а параметри залежать від експериментальних даних спостережень.

Індекс Dst є ключовим параметром, що характеризує турбулентний стан магнітосфери під час магнітної бурі [2]. Усереднена за декількома станціями варіація отримала назву storm-time variation. Поле Dst складається з декількох джерел: поля струмів, що течуть уздовж поверхні магнітосфери Землі DCF , поля кільцевого струму DR та поля струмів, що протікають в іоносфері DP . Таким чином, цей індекс визначається трьома складовими: $Dst = DCF + DR + DP$; границі

вимірювання: $-100 < Dst \leq 50$ нТл для помірних магнітних бур, $Dst \leq -100$ нТл для сильних магнітних бур.

Дані для статистичної обробки про заміри Dst -індексу були отримані з бази даних Space Physics Data Facility (SPDF), проекту Геліосферного наукового підрозділу (HSD) NASA, що містить у собі інформацію про основні характеристики стану навколоземного магнітного поля, сонячного вітру і параметри плазми з декількох космічних апаратів [3].

Аналіз публікацій та постановка задачі. Відомі моделі прогнозування, що базуються на використанні методів штучного інтелекту, не дозволяють явно розрахувати очікувану величину параметра, а лише вказують на його приналежність до якої-небудь заздалегідь визначеної області. Ще одним недоліком подібних методів є недостатній рівень надійності математичного апарату. В сучасних умовах перспективними є моделі, що базуються на теорії марківських процесів [4]. Марківські моделі мають ряд переваг у порівнянні з іншими стохастичними моделями [5]: їх легко будувати на експериментальних даних; вони не потребують розуміння внутрішніх механізмів динаміки змін системи; результати моделювання можуть бути легко представлені графічно; їх застосування не потребує великих витрат машинного часу. До недоліків моделей марківського типу можна віднести умову стаціонарності системи, необхідність отримання достатньо великого за обсягом ряду спостережень для визначення достовірних ймовірностей переходу і відсутність залежності від функціональних механізмів системи.

Ланцюги Маркова ефективно використовуються для моделювання процесів у метеорології: прогнозування погоди [6], оцінки забруднення атмосфери, зміни ландшафту та ін. Застосуванню ланцюгів Маркова при моделюванні метеорологічних процесів присвячені роботи австралійських дослідників [7–9], які теоретично та практично обґрунтували можливість застосування методик до короткострокового прогнозу погоди. Порівняння шести способів оперативного прогнозу показало, що поєднання прогнозів з використанням ланцюга Маркова другого порядку та традиційних чисельних прогнозів погоди значно підвищує точність прогнозування у порівнянні з іншими методами та може бути рекомендовано до використання в оперативній роботі.

Ланцюги Маркова показують хороші результати і при прогнозуванні опадів [10; 11]. У роботах розглянуто три модифікації

стохастичного генератора добової погоди для покращення відтворення високо- та низькочастотної мінливості у рядах метеоелементів.

У роботі [12] запропоновано модель прогнозування циклічних компонент часового ряду значень індексу геомагнітної активності Dst за допомогою сингулярного спектрального аналізу. Отримані результати дозволяють говорити про хорошу якість прогнозу циклічної компоненти, що повільно змінюється.

Метою даної роботи є дослідження ряду залишків та оцінка якості його прогнозування на основі марківської моделі.

Виклад основного матеріалу. Нехай задана послідовність (часовий ряд) $P = \{p_i\}_{i=1, N}$, де N – обсяг даних Dst-індексу за визначений часовий проміжок. Подамо вихідний часовий ряд у вигляді:

$$p(t) = p_T(t) + p_3(t),$$

де $p_T(t)$ – циклічна складова; $p_3(t)$ – ряд залишків. Введемо до розгляду систему S , яка відображає поведінку індексу геомагнітної активності за певний період. Система може знаходитися в одному з чотирьох станів S_1 , S_2 , S_3 та S_4 . Стан S_1 показує, що значення індексу знаходиться нижче першого граничного значення, тобто у проміжку $(Dst_{\min}; \alpha_1]$, стан S_2 відповідає проміжку між першим та другим граничним значенням $(\alpha_1; \alpha_2]$, S_3 – між другим та третім $(\alpha_2; \alpha_3]$, а стан S_4 – значення індексу знаходиться вище третього граничного значення, тобто у проміжку $(\alpha_3; Dst_{\max}]$. Система здійснює переходи зі стану у стан у заздалегідь невідомі моменти часу, тож маємо справу з випадковим процесом з неперервним часом. Формування інтервалів часу перебування системи у станах S_1 , S_2 , S_3 та S_4 відбувається наступним чином: від початку відліку часу t_0 до невідомого моменту t_1 (відрізок τ_0) система знаходиться у деякому стані S_i , $i = \overline{1, 4}$. Інтервал часу τ_0 має довжину, що виражена кількістю відліків часу знаходження значення Dst-індексу в проміжку $\tau_0 = t_1 - t_0$. Якщо система переходить зі стану S_1 в S_2 , то інтервал часу τ_0 віднесемо до масиву інтервалів $T_{12} = \{\tau_{12,i}, i = \overline{1, N_1}\}$, де N_1 – кількість інтервалів перебування системи S у стані S_1 . Якщо система переходить зі стану S_2 в S_1 , то τ_0 віднесемо до масиву $T_{21} = \{\tau_{21,i}, i = \overline{1, N_2}\}$, де N_2 – кількість

інтервалів перебування системи S у стані S_2 . Аналогічні міркування застосовують і для усіх інших станів та моментів часу (рис.1).

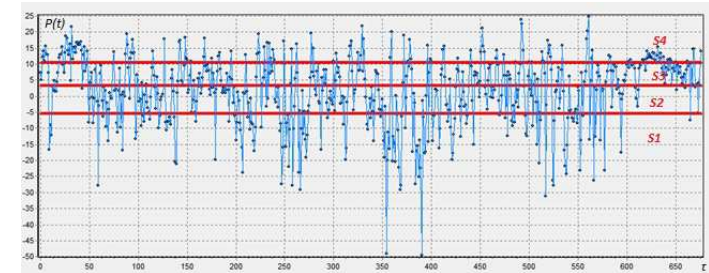


Рисунок 1 – Задання граничного значення та розбиття часового ряду на інтервали, що відповідають станам системи

Граф станів системи S має вигляд, поданий на рис.2, де $\lambda_{i,j}(t)$ – інтенсивності переходу зі стану у стан.

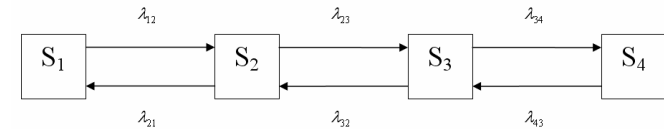


Рисунок 2 – Граф станів системи S

Дослідження поведінки системи S значно спрощується, коли виявиться, що інтенсивності $\lambda_{i,j} = const$. Остання умова є можливою, якщо розподіл інтервалів часу в масивах T_{12} , T_{21} , T_{23} , T_{32} , T_{34} та T_{43} є експоненціальним: $F(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}$, де τ – інтервал часу; λ – параметр розподілу, оцінку якого здійснюється так:

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{\sum_{l=1}^N \tau_l}$$

Аналіз закону розподілу інтервалів часу в масивах T_{12} , T_{21} , T_{23} , T_{32} , T_{34} та T_{43} будемо виконувати в наступній послідовності:

1. Для кожного з масивів T_{12} , T_{21} , T_{23} , T_{32} , T_{34} та T_{43} будується ранжований варіаційний ряд та розраховуються основні статистичні характеристики: математичне сподівання, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнти асиметрії та ексцесу [12].

2. Проводиться гістограмна оцінка та оцінка емпіричної функції розподілу ймовірностей.

3. По кожному з масивів T_{12} , T_{21} , T_{23} , T_{32} , T_{34} та T_{43} здійснюється відтворення експоненціального розподілу, тобто визначаються оцінки $\lambda_{i,j}$.

4. Виконується перевірка адекватності експоненціальної моделі розподілу на основі уточненого критерію згоди Колмогорова [13]. При цьому вважається, що модель адекватна, якщо ймовірність узгодження $P_{\text{Колм}}$ для представницьких обсягів вибірок більша, ніж 0,05.

Нижче наведено результати дослідження законів розподілу та прогнозування часового ряду залишків зі щогодинними замірами Dst -індексу. Для оцінки прогнозування часового ряду за допомогою ланцюга Маркова було використано ряд значень індексу геомагнітної активності за період з 01.01.1963 по 31.12.2012 роки, усереднений по 27 днях. Довжина ряду складає 677 позначок. Експеримент проводився для довжин вікна $L=338$. Попередньо з ряду були видалені циклічні компоненти, що показали хорошу якість прогнозу (1–3, 5–8, 11–13 компоненти), на долю яких припадає 79,134 % загальної варіабельності даних [12].

Нехай система S має три граничні межі, значення яких покладемо рівними $\alpha_1 = -4,85$, $\alpha_2 = 1,77$ та $\alpha_3 = 7,96$, що дорівнює ймовірності 0,25, 0,5 та 0,75 відповідно, тобто кількість можливих станів дорівнює чотирьом. Стан S_1 показує, що значення знаходиться нижче першого граничного значення, S_2 – між першим та другим граничним значенням, S_3 – між другим та третім граничним значенням, а S_4 – вище третього граничного значення. λ_{12} – інтенсивність переходу системи зі стану S_1 у стан S_2 , а λ_{21} – зі стану S_2 у стан S_1 , λ_{23} – зі стану S_2 у стан S_3 , λ_{32} – зі стану S_3 у стан S_2 , λ_{34} – зі стану S_3 у стан S_4 , а λ_{43} – зі стану S_4 у стан S_3 .

Зі стану S_1 у стан S_2 система переходила 44 рази, тобто масив T_1 містить 44 елементи, зі стану S_2 у стан S_1 – 48 разів і масив T_2 має 48 елементів; зі стану S_2 у стан S_3 – 52 рази, зі стану S_3 у стан S_2 – 59 разів, зі стану S_3 у стан S_4 – 41 раз, зі стану S_4 у стан S_3 – 38 разів. Гістограми відносних частот відповідних масивів подано на графіках (рис. 3).

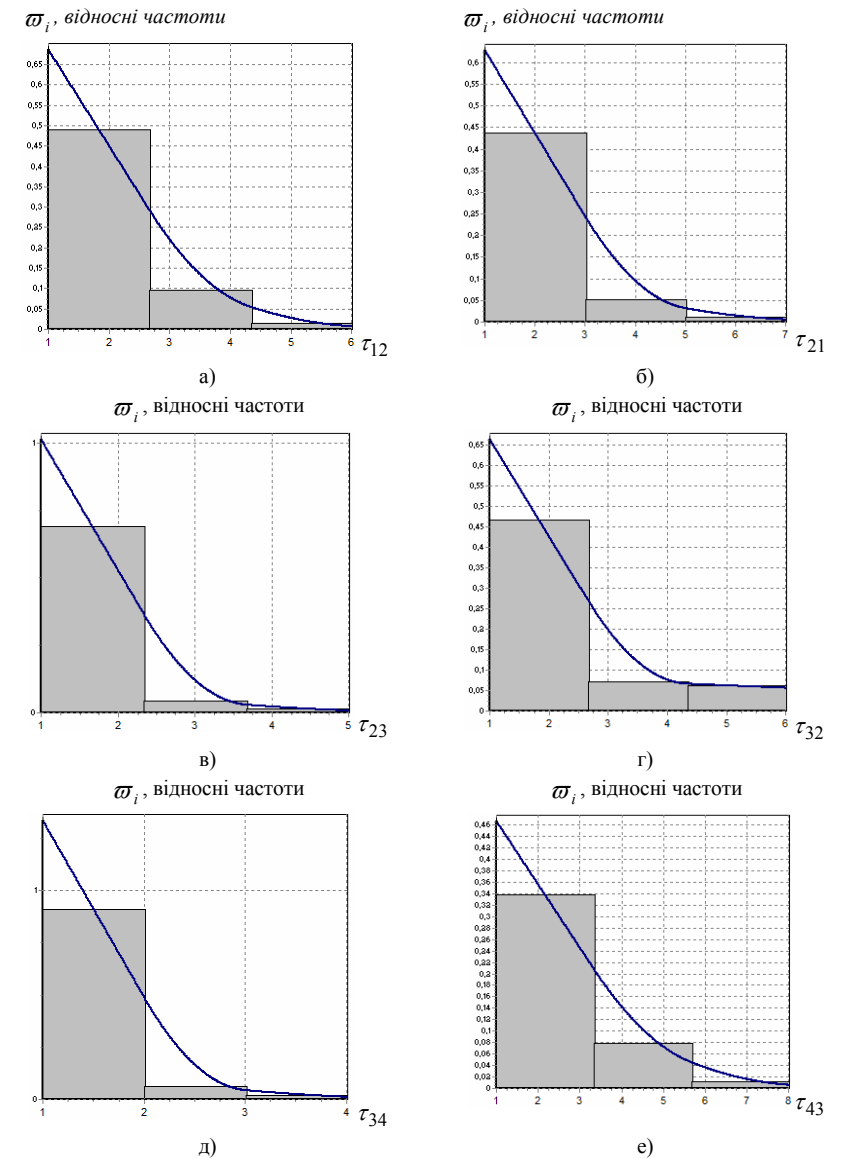


Рисунок 3 – Гістограми відносних частот

За критерієм Колмогорова та Пірсона підтверджено гіпотезу про експоненціальний розподіл інтервалів часу між переходами системи зі стану у стан, тому для знаходження інтенсивностей переходів системи можемо скористатися формулою $\lambda_{ij} = \frac{1}{\bar{\tau}_{ij}}$, де $\bar{\tau}_{ij}$ – середній час

знаходження у стані. Знайдемо середнє значення для кожного з масивів інтервалів часу та обчислимо шість значень інтенсивностей:

$$\lambda_{12} = \frac{1}{\bar{\tau}_{12}}, \lambda_{21} = \frac{1}{\bar{\tau}_{21}}, \lambda_{23} = \frac{1}{\bar{\tau}_{23}}, \lambda_{32} = \frac{1}{\bar{\tau}_{32}}, \lambda_{34} = \frac{1}{\bar{\tau}_{34}} \text{ та } \lambda_{43} = \frac{1}{\bar{\tau}_{43}}, \text{ тобто}$$

$$\lambda_{12} = 0,579; \lambda_{21} = 0,552; \lambda_{23} = 0,732; \lambda_{32} = 0,513; \lambda_{34} = 0,804; \lambda_{43} = 0,452;$$

Тепер будемо досліджувати поведінку системи у динамічному та стаціонарному режимах.

Динамічний режим:

Для знаходження ймовірностей станів системи складемо рівняння Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = -\lambda_{12}p_1(t) + \lambda_{21}p_2(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{12}p_1(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{23})p_2(t) + \lambda_{32}p_3(t), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{23}p_2(t) - (\lambda_{32} + \lambda_{34})p_3(t) + \lambda_{43}p_4(t), \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_{34}p_3(t) - \lambda_{43}p_4(t). \end{cases}$$

Гранична умова:

$$p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) + p_4(t) = 1.$$

У початковий момент часу значення індексу геомагнітної активності Dst знаходилося вище другого граничного значення та нижче третього, тобто у стані S_3 . Тоді початкові умови будуть наступними: $p_1(0) = 0; p_2(0) = 1; p_3(0) = 0; p_4(0) = 0$;

Отже, з урахуванням значень інтенсивностей переходів, маємо:

$$\begin{cases} \frac{dp_1}{dt} = -0,579p_1(t) + 0,552p_2(t) \\ \frac{dp_2}{dt} = 0,579p_1(t) - 1,284p_2(t) + 0,513p_3(t), \\ \frac{dp_3}{dt} = 0,732p_2(t) - 1,317p_3(t) + 0,452p_4(t), \\ \frac{dp_4}{dt} = 0,804p_3(t) - 0,452p_4(t). \end{cases}$$

Розв'язок рівняння для динамічного режиму подано на рис. 4.

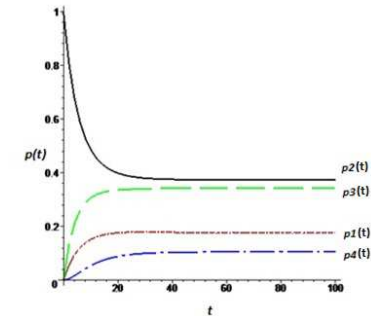


Рисунок 4 – Ймовірності станів системи S у динамічному режимі

Для стаціонарного режиму система рівнянь для обчислення фінальних ймовірностей станів матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \lambda_{21}p_2 - \lambda_{12}p_1 = 0, \\ \lambda_{32}p_3 - \lambda_{23}p_2 = 0, \\ \lambda_{43}p_4 - \lambda_{34}p_3 = 0, \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1. \end{cases}$$

Підставимо в неї значення інтенсивностей переходів та знайдемо фінальні ймовірності:

$$\begin{cases} 0,552p_2 - 0,579p_1 = 0 \\ 0,513p_3 - 0,732p_2 = 0 \\ 0,452p_4 - 0,804p_3 = 0 \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \end{cases}$$

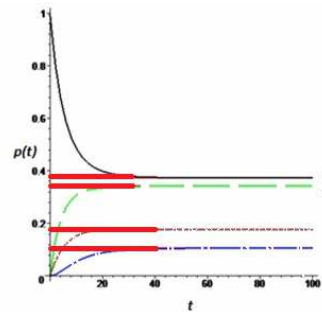


Рисунок 5 – Ймовірності станів та фінальні ймовірності системи S

У результаті отримаємо: $p_1 = 0,173$, $p_2 = 0,377$, $p_3 = 0,346$, $p_4 = 0,104$. Тобто можна зробити висновок, що у наступний момент часу найбільш вірогідним є перехід системи у стан S_2 . Загальний розв'язок системи можна подати у вигляді:

$$p_{\text{зал},l}(t+l) = \begin{cases} -0,579p_1(l) + 0,552p_2(l), l=1,2,\dots \\ 0,579p_1(l) - 1,284p_2(l) + 0,513p_3(l), l=1,2,\dots \\ 0,732p_2(l) - 1,317p_3(l) + 0,452p_4(l), l=1,2,\dots \\ 0,804p_3(l) - 0,452p_4(l), l=1,2,\dots \end{cases}$$

Тоді прогноз для $\forall t$ на l кроків вперед буде виглядати наступним чином: $p(t+l) = p_T(t+l) + p_{\text{зал}}(t+l)$, де $p_T(t+l)$ визначається згідно з роботою [12].

Висновок. У роботі запропоновано метод та побудовано алгоритм дослідження моделі системи на основі ланцюгів Маркова, яка описує поведінку індексу геомагнітної активності Dst. Досліджено поведінку моделі в динамічному та стаціонарному режимах: особливості формування масивів інтервалів часу, побудови систем рівнянь Колмогорова та їх розв'язання, знаходження фінальних ймовірностей. Подальші дослідження будуть спрямовані на апробацію експерименту для визначення сильних ($Dst < -50$) та дуже сильних ($Dst \leq -100$) магнітних бур.

Бібліографічні посилання

1. Сулейменов И. Э. Воздействие на процессы в атмосфере и проблематика геофизических вооружений. / И. Э. Сулейменов – Алматы : Изд-во Казахского нац. ун-та, 2007.

2. Schindler K. Physics of Space Plasma Activity. / K. Schindler – New York: Cambridge Univ. Press, 2007. – 508 p.

3. Архив параметров солнечной активности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>

4. Романовский В. И. Дискретные цепи Маркова / В. И. Романовский. – М. : Гостехиздат, 1949. – 436 с.

5. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии / Дж. Джефферс. – М. : Мир., 1981. – 252 с.

6. Вагер Б. Г. Оценивание и прогнозирование колебаний метеорологических элементов с использованием марковских цепей. / Б. Г. Вагер // Межвуз. сб. тр.: Численные методы в математическом моделировании гидродинамических и технологических процессов. – Л. : ЛИСИ, 1989. – С. 90–93.

7. Praedrich K. Combining predictive schemes in short-term forecasting / K. Praedrich, L. Leslie // Mon. Weather Rev. – 1987. – Vol. 115. – № 8. – P. 1640–1644.

8. Praedrich K. Evaluation of techniques for the operational, single station, short-term forecasting of rainfall at a medlatitude station / K. Praedrich, L. Leslie // Mon. Weather Rev. – 1987. – Vol. 115. – № 8. – P. 1645–1654.

9. Thyer M. A hidden Markov model for modeling longterm persistence in multi-site rainfall time series / M. Thyer, G. Kuczera // J. Hydrol. – 2003. – 275. – № 1–2. – P. 11–16.

10. Dubrovsky M. Might-frequency and low-frequency variability in stochastic daily weather generator and its effect on agricultural and hydrologic modeling / M. Dubrovsky, J. Buchtele, Z. Zalud. // Clim. change. – 2004. – 63. № 1–2. – P. 145–179.

11. Greene A. Downscaling projection of Indian rainfall using a non-homogeneous hidden Markov model / A. Greene, A. Robertson, P. Smyth, S. Triqlia // J. Meteorol. Soc. – 2011. – 137. – № 655. – P. 347–359.

12. Шаповал Г. А. Оцінка якості прогнозування циклічних компонент часових рядів значень індексу геомагнітної активності Dst з використанням сингулярного спектрального аналізу / Г. А. Шаповал. – Наукоємні технології. – 2015. – № 1 (25). – С. 93–98.

13. Приставка П. О. Аналіз даних: навч. посіб. / МОН України. / П. О. Приставка, О. М. Мацуга. – Д. : Вид-во ДНУ, 2008. – 92 с.

Надійшла до редколегії 04.11.2015

УДК 519.876.5

Н.Я. Савка, О.Л. Козак

Тернопільський національний економічний університет

ІНТЕРВАЛЬНІ МОДЕЛІ З РАДІАЛЬНО-БАЗИСНИМИ ФУНКЦІЯМИ ДЛЯ ЗАДАЧІ ВИЯВЛЕННЯ РОЗМІЩЕННЯ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА

Охарактеризовано особливості задачі виявлення зворотного гортанного нерва на хірургічній рані. Побудовано інтервальну модель з радіально-базисними функціями для оцінки відстані від точки подразнення хірургічної рани до зворотного гортанного нерва.

Ключові слова: інтервальні моделі з радіально-базисними функціями, зворотний гортанний нерв, ідентифікація, операція на щитоподібній залозі.

Охарактеризованы особенности задачи обнаружения обратного гортанного нерва на хирургической ране. Построена интервальная модель с радиально-базисными функциями для оценки расстояния от точки раздражения хирургической раны к обратному гортанному нерву.

Ключевые слова: интервальные модели с радиально-базисными функциями, обратный гортанный нерв, идентификация, операция на щитовидной железе.

The features of the problem of detection recurrent laryngeal nerve on surgical wound was characterized. Interval model of radial basis functions to assess the distance from the point of irritation surgical wound the opposite laryngeal nerve was constructed.

Keywords: interval model of radial basis functions, recurrent laryngeal nerve, identification, surgery on thyroid gland.

Вступ. При проведенні операції на щитоподібній залозі основною проблемою є виявлення зворотного гортанного нерва (ЗГН), пошкодження якого призводить до негативних наслідків, пов'язаних із дихальною системою людини. Сучасні технічні засоби для виявлення ЗГН ґрунтуються на подразненні тканин хірургічної рани змінним струмом фіксованої частоти і оцінюванні результатів подразнення на голосових зв'язках [1].

У результаті подразнення області хірургічного втручання одержуємо інформаційний сигнал, який характеризує наближеність до

зворотного гортанного нерва і вказує чи точка подразнення належить ЗГН чи м'язовій тканині. Засоби опрацювання інформаційного сигналу детально описано у праці [2]. На рис. 1 зображено схему одержання результуючого інформаційного сигналу (PIC).

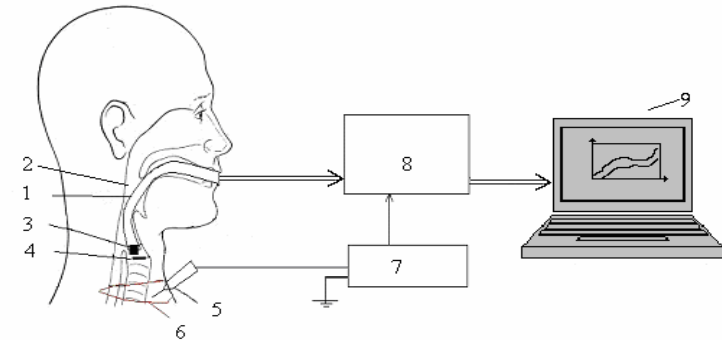


Рисунок 1 – Схема отримання інформаційного сигналу для ідентифікації гортанного нерва [2]

Як бачимо на рисунку, у дихальну трубку – 1, що розміщена у гортані пацієнта – 2, встановлено сенсор звукових коливань – 3, розміщений над голосовими зв'язками – 4. За допомогою щупа – 5 зондують тканини у хірургічній рані – 6. Щуп – 5 з'єднаний з генератором змінного струму – 7 силою 0,5–2 мА та фіксованою частотою. Стимуляція зворотного гортанного нерва призводить до скорочення м'язів гортані та натягу голосових зв'язок. Потік повітря, що проходить через дихальну трубку – 1, зумовлює звукові коливання, що фіксуються звуковим сенсором – 3, перетворюються у електричний сигнал, підсилюються підсилювачем – 8 та подаються на аудіовхід звукової картки комп'ютера – 9.

Проблемою ідентифікації ЗГН серед інших тканин хірургічної рани займалися такі науковці, як Дивак М.П., Шідловський В.О., Козак О.Л., Пукас А.В., Падлецька Н.І. Зокрема у праці [3] розглянуто метод ідентифікації ЗГН на хірургічній рані, що ґрунтується на амплітуді PIC. Проте амплітуда інформаційного сигналу достатньо велика при подразненні безпосередньо ЗГН і різко зменшується при незначному віддаленні від нього, що суттєво знижує точність зазначеного методу. У працях [4; 5] описано методи ідентифікації ЗГН, що ґрунтуються на автокореляційній функції та спектрі PIC.

Проте індивідуальні особливості гортані кожного пацієнта суттєво впливають на точність ідентифікації ЗГН за вказаними методами.

У той же час у процесі досліджень встановлено, що характеристики РІС суттєво залежать від властивостей операційної рани – типу тканини та відстані від розміщеного активного електрода на області хірургічного втручання до ЗГН [6]. Зважаючи на це, зниження ризику пошкодження ЗГН пов'язане не стільки із його ідентифікацією, а й із постійним контролем відстані від точки подразнення тканин хірургічної рани до ЗГН. У праці [7] запропоновано інтервальну модель для ідентифікації відстані до ЗГН під час операції на щитоподібній залозі, проте зазначена модель ґрунтується на амплітуді сигналу, яка не є повним індикатором типу тканин хірургічної рани, й не призначена для групи пацієнтів, що суттєво знижує її точність при ідентифікації відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН.

Із проведеного аналізу випливає, що сучасні методи ідентифікації ЗГН при проведенні хірургічної операції на щитоподібній не описують достатньою мірою властивостей хірургічної рани, оскільки спрямовані на встановлення лише типу тканини області хірургічного втручання. Таким чином, ризик пошкодження ЗГН під час проведення операції залишається високим.

З огляду на це, доцільним є застосування нових методів, які б уможливили одержати оцінку відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН і тим самим знизити ризик пошкодження ЗГН під час проведення операції на щитоподібній залозі.

Схема розв'язку задачі виявлення зворотного гортанного нерва на області хірургічного втручання.

Задачу виявлення ЗГН на області хірургічного втручання розглянемо як задачу оцінки відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН. Узагальнену схему розв'язку задачі виявлення наведено на рис. 2, де БПОІС – блок попереднього опрацювання РІС; БПМ – блок побудови інтервальних моделей; БПР – блок прийняття рішень.

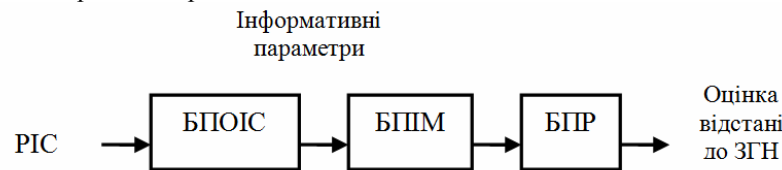


Рисунок 2 – Узагальнена схема розв'язку задачі виявлення ЗГН

На рисунку проілюстровано, що результируючий інформаційний сигнал поступає на вхід блоку попереднього опрацювання сигналів, де відбувається виокремлення його інформативних ознак. На основі інформативних ознак сигналів – вхідних та інтервальних вихідних даних із застосуванням методів ідентифікації інтервальних моделей у наступному блоці будуємо інтервальну модель. На основі побудованої інтервальної моделі приймається рішення щодо відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН.

У праці [8] обґрунтовано доцільність застосування математичних моделей з радіально-базисними функціями (РБФ) для виявлення ЗГН. Моделі зазначеного типу мають суттєві переваги, зокрема, здатність моделювати та прогнозувати нестационарні процеси, можливість навчатися на обмеженій та неоднорідній вибірці даних, висока швидкість навчання.

Математичні моделі РБФ записують у такому вигляді [9]:

$$y_j = F_j(\vec{x}) = w_{0j} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\vec{x}) = \vec{w}_j^T \vec{f}(\vec{x}), \quad (1)$$

де y_j - j -ий вихідний сигнал ($j = 1, 2, \dots, m$); $F_j(x)$ – нелінійне перетворення вхідного вектора $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ в j -ий вихідний; $\vec{w} = (w_0, w_1, \dots, w_h)^T$ – вектор невідомих параметрів; $\vec{f}(\vec{x}) = (1, f_1(x), f_2(x), \dots, f_h(x))^T$ – вектор радіально-базисних функцій; $i = 1, \dots, h$, h – кількість невідомих параметрів.

Як радіально-базисні, зазвичай, застосовують функції Гаусса. При цьому структура моделі (1) набуває вигляду:

$$y_j = F_j(\vec{x}) = w_{0j} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\|\vec{x} - \vec{c}_i\| \sigma^{-2}) = \vec{w}_j^T \vec{f}(\|\vec{x}_j - \vec{c}_i\| \sigma^{-2}) \quad (2)$$

де $\vec{c}_i$ – вектор центрів радіально-базисних функцій; σ^{-2} – стандартне відхилення (параметр згладження, параметр ширини вікна, радіус базисних функцій).

Особливості побудови характеристик інформаційних сигналів в інтервальному вигляді.

Вхідними даними для задачі виявлення ЗГН є вектор $\vec{x}$ інформативних параметрів РІС. Блок-схему алгоритму одержання інформативних параметрів РІС зображено на рис. 3. В результаті досліджень встановлено, що спектральні характеристики інформаційних сигналів, а саме – максимальна амплітуда $U_{\max}$

спектральної складової та частота $F_{U_{\max}}$, на якій зосереджена спектральна складова, є повними індикаторами типу тканини хірургічної рани, а їх одержання не вимагає значних обчислювальних витрат. Таким чином, вектор входів представляємо $\vec{x} = (x_1, x_2)$, де

$$x_1 = U_{\max}, \quad x_2 = F_{U_{\max}}.$$

У той же час бувають випадки, коли по вищезазначених характеристиках РІС точно встановити тип тканини операційної рани неможливо. Це пов'язано із індивідуальністю гортані кожного пацієнта, анатомічними особливостями щитоподібної залози, місцезнаходженням гортанного нерва, а також із відстанню від точки подразнення до ЗГН.



Рисунок 3 – Алгоритм отримання інформативних параметрів результатуючих інформаційних сигналів

У процесі експериментальних досліджень встановлено, що існують групи подібних РІС пацієнтів, інформативні параметри яких відрізняються. Зазначений випадок проілюстровано на рис. 4.

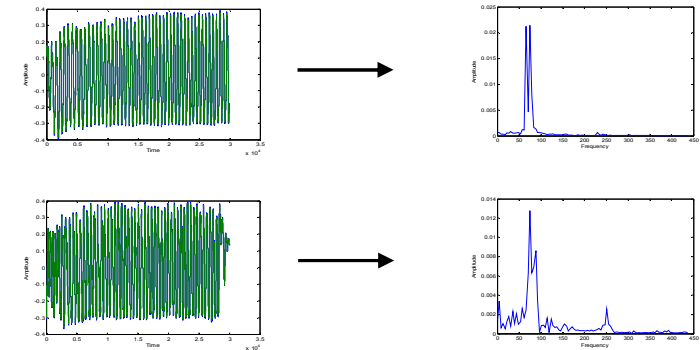


Рисунок 4 – Подібні РІС з різними інформативними параметрами

За таких умов невизначеність інформативних параметрів РІС груп пацієнтів доцільно описати деяким інтервалом. Це уможливило зменшити ризик пошкодження ЗГН під час розтину тканин хірургічної рани та зменшити час проведення операції на щитоподібній залозі.

Відстань від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН для інформаційного сигналу j -го пацієнта позначимо як y_j . У зазначеному випадку відсутній формальний опис моделі зображення вихідних даних, а також немає можливості точно визначити відстань до ЗГН на хірургічній рані експериментально. За таких умов завданням дослідника є передбачення можливих значень відстані від точки подразнення до ЗГН на хірургічній рані залежно від значень її входів $\vec{x}_j$ [1]. Природно, що точне передбачення відстані у цій ситуації неможливе, тому найдоцільніше представити вихідну змінну y_j за допомогою певних меж – інтервалів відстані. При цьому завжди справджується умова, що невідоме реальне значення відстані від точки подразнення до ЗГН $y_0(\vec{x}_j)$ належить відомому інтервалу $[y_j^-, y_j^+]$, де y_j^- , y_j^+ – нижня і верхня межі інтервалу відстані від точки подразнення до ЗГН на області хірургічного втручання.

Розглянемо детально процедуру формування інтервалів відстані до ЗГН. У загальному випадку із певного набору параметрів інформаційних сигналів впливає деякий інтервал відстані, тобто

$$\{(U_{\max})_i, (F_{U_{\max}})_i\} \Rightarrow [y_j^-, y_j^+]$$

У результаті аналізу нагромадженої бази спектральних характеристик РІС витікає, що по певному набору параметрів $(U_{\max})_i, (F_{U_{\max}})_i$ можна ідентифікувати безпосередньо ЗГН, тобто на виході інтервальної моделі з РБФ одержуємо інтервал, ширина якого дорівнює 0:

$$(U_{\max})_i, (F_{U_{\max}})_i \Rightarrow [0;0].$$

Інший набір інформативних параметрів для одного пацієнта із групи вказує, що подразнення здійснено на відстані 6–7 мм до ЗГН, для другого – 7–8 мм, а для третього – 6–8 мм і т.д., що впливає із експериментальних даних, одержаних хірургом під час операцій на щитоподібній залозі. Враховуючи зазначене, формуємо інтервали відстані:

$$(U_{\max})_1, (F_{U_{\max}})_1 \Rightarrow [6;7];$$

$$(U_{\max})_2, (F_{U_{\max}})_2 \Rightarrow [7;8];$$

$$(U_{\max})_3, (F_{U_{\max}})_3 \Rightarrow [6;8];$$

$$(U_{\max})_n, (F_{U_{\max}})_n \Rightarrow [7;8].$$

Таким чином, одержану множину параметрів РІС трансформуємо у інтервал відстані від точки подразнення до ЗГН на хірургічній рані:

$$\{(U_{\max})_1, (F_{U_{\max}})_1; (U_{\max})_2, (F_{U_{\max}})_2; (U_{\max})_3, (F_{U_{\max}})_3; \dots; (U_{\max})_n, (F_{U_{\max}})_n\} \Rightarrow [6;7] \cup [7;8] \cup [6;8] \cup [7;8] \Rightarrow [6;8]$$

Більша ніж 1 см відстань до ЗГН на хірургічній рані не становить для хірурга ризику післяопераційних ускладнень. Зважаючи на це, в результаті нормування можна стверджувати, що точка подразнення хірургічної рани знаходиться в межах $[0,1;0,3]$ ЗГН.

Оскільки вихідні дані для задачі виявлення місцезнаходження ЗГН на області хірургічного втручання представлені в інтервальному вигляді, то це вимагає побудови математичної моделі з РБФ на основі аналізу інтервальних даних.

Метод ідентифікації інтервальних моделей з радіально-базисними функціями.

У праці [10] розроблено метод ідентифікації інтервальних моделей з РБФ. Схему реалізації методу представлено на рис. 5. Суттєвою перевагою зазначеного методу ідентифікації є те, що він поєднує процедури налаштування структури інтервальної моделі на основі РБФ та одержання гарантованих інтервальних оцінок її параметрів.

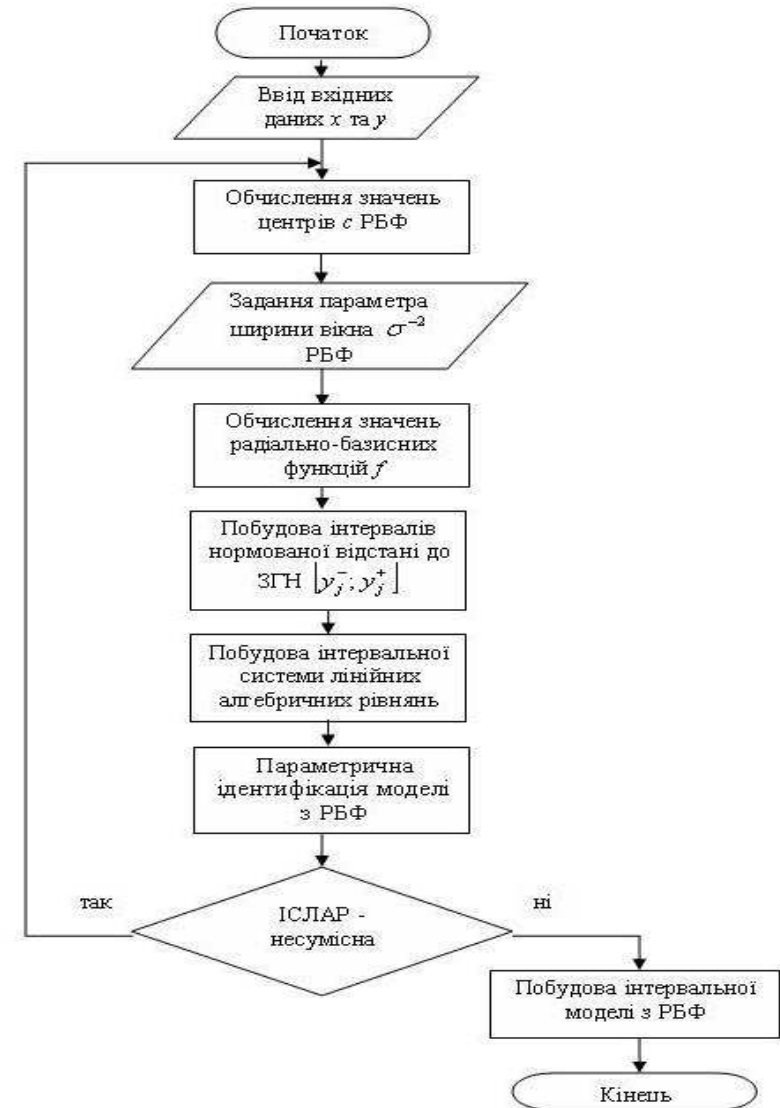


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму ідентифікації інтервальних моделей з радіально-базисними функціями

За рахунок радіально-базисних функцій структурна ідентифікація інтервальних моделей зазначеного типу суттєво спрощується. Пошук кількості базисних функцій полягає в обчисленні центрів рецепторного поля РБФ на основі методу «гірської» кластеризації. Блок-схему алгоритму субтрактивної кластеризації, що реалізує метод «гірської» кластеризації, проілюстровано на рис. 6.

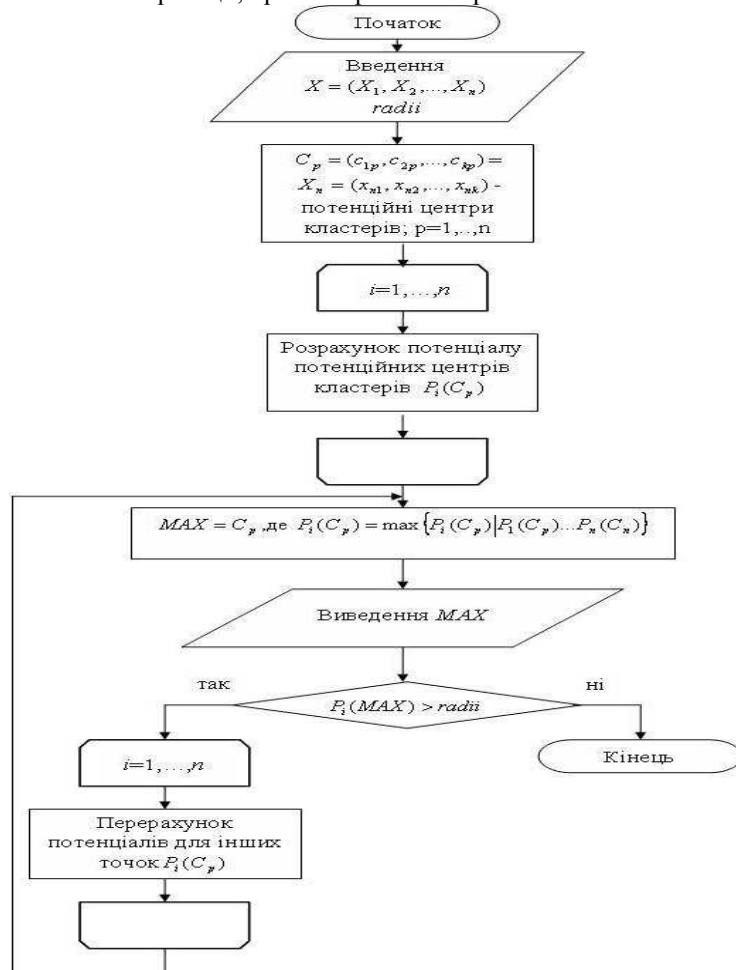


Рисунок 6 – Блок-схема реалізації алгоритму субтрактивної кластеризації

Обчисливши центри $\tilde{n} = (\tilde{n}_1, \tilde{n}_2)$, одержуємо структуру інтервальної моделі на основі радіально-базисних функцій:

$$\hat{y} = w_1 f_1(\|\tilde{x} - \tilde{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_h f_h(\|\tilde{x} - \tilde{c}_h\| \sigma^{-2}) \quad (3)$$

На основі одержаної структури моделі (3) та інтервальних вихідних даних $[y_j^-, y_j^+]$, $j=1, \dots, N$ будуємо інтервальну систему лінійних алгебричних рівнянь (ІСЛАР):

$$\begin{cases} y_1^- \leq w_1 f_1(\|\tilde{x}_1 - \tilde{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_h f_h(\|\tilde{x}_1 - \tilde{c}_h\| \sigma^{-2}) \leq y_1^+; \\ \vdots \\ y_N^- \leq w_1 f_1(\|\tilde{x}_N - \tilde{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_h f_h(\|\tilde{x}_N - \tilde{c}_h\| \sigma^{-2}) \leq y_N^+. \end{cases} \quad (4)$$

Якщо ІСЛАР (4) – сумісна, то структура інтервальної моделі з РБФ (3) є адекватною для розв'язку задачі виявлення ЗГН. У протилежному випадку ускладнюємо структуру моделі шляхом перерахунку центрів рецепторного поля радіально-базисних функцій.

Параметрична ідентифікація інтервальних моделей на основі радіально-базисних функцій зводиться до розв'язку ІСЛАР (4). За умов сумісності системи одержуємо область значень параметрів моделі Ω .

Приклад задачі виявлення розміщення ЗГН на хірургічній рані на основі інтервальної моделі з радіально-базисними функціями.

Експеримент проведено на вибірці із понад 100 інформаційних сигналів різних пацієнтів, що одержані у процесі операції на щитоподібній залозі. Опрацювавши РІС із застосуванням алгоритму, який зображено на рис. 3, отримано базу інформативних параметрів – максимальної амплітуди спектральної складової та частоти спектральної складової. У результаті аналізу сформованої бази характеристик РІС побудовано групи пацієнтів за подібними інформаційними сигналами, але різними їх інформативними параметрами.

Спираючись на вищеописану процедуру побудови інтервалів відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН, одержано вихідні характеристики для задачі виявлення розміщення зворотного гортанного нерва $[y_j^-, y_j^+]$, $j=1, \dots, 100$.

На основі вхідних експериментальних даних, у результаті реалізації алгоритму кластеризації, який представлено на рис. 6, побудовано таблицю центрів рецепторного поля радіально-базисних функцій.

Таблиця 1

Центри радіально-базисних функцій

$\bar{c}_1$	0,414	0,044
$\bar{c}_2$	0,101	0,701
$\bar{c}_3$	0,004	0,001
$\bar{c}_4$	0,830	0,211

Враховуючи вищезазначене, структура інтервальної моделі з РБФ для оцінки відстані від точки подразнення ЗГН на хірургічній рані набуде вигляду:

$$\hat{y} = w_1 f_1(\|\bar{x} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + w_2 f_2(\|\bar{x} - \bar{c}_2\| \sigma^{-2}) + w_3 f_3(\|\bar{x} - \bar{c}_3\| \sigma^{-2}) + w_4 f_4(\|\bar{x} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \quad (5)$$

На основі структури моделі (5) та експериментальних даних будемо ІСЛАР:

$$\begin{cases} 0,1 \leq w_1 f_1(\|\bar{x}_1 - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_4 f_2(\|\bar{x}_1 - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \leq 0,3; \\ \vdots \\ 0,3 \leq w_1 f_1(\|\bar{x}_{50} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_4 f_2(\|\bar{x}_{50} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \leq 0,6; \\ \vdots \\ 0,1 \leq w_1 f_1(\|\bar{x}_{100} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_4 f_2(\|\bar{x}_{100} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \leq 0,3. \end{cases} \quad (6)$$

ІСЛАР (6) виявилася сумісною, тому структура інтервальної моделі з РБФ (5) є адекватною для оцінки відстані від точки подразнення до ЗГН. У результаті розв'язування ІСЛАР із застосуванням процедур лінійного програмування одержуємо вектор гарантованих інтервальних оцінок параметрів інтервальної моделі на основі радіально-базисних функцій:

$$[\bar{w}] = ([2,2392 \ 2,3408]; [0,0022 \ 0,0841]; [0,7743 \ 0,7826]; [-0,0903 \ -1,9729]).$$

Перевірку ефективності побудованої інтервальної моделі з РБФ здійснено на основі РІС, які не досліджувалися для навчальної вибірки. Для прикладу, на рис. 7 зображено сегментований інформаційний сигнал деякого пацієнта. На рис. 8, наведеному нище, проілюстровано результат прогнозування відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН із застосуванням інтервальної моделі з РБФ.

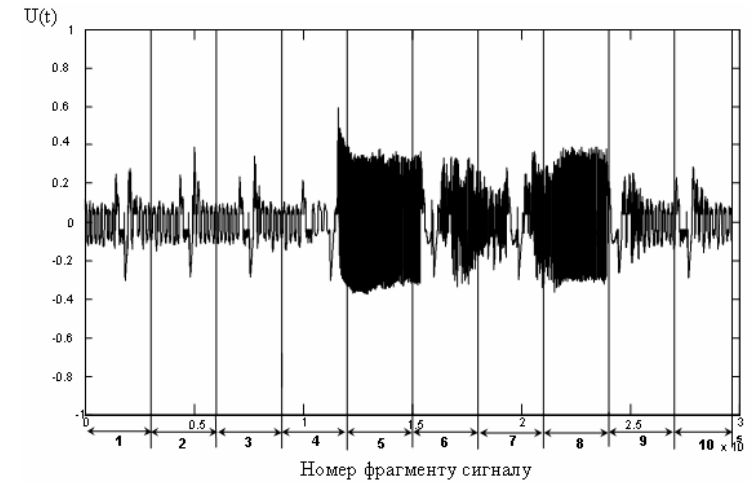


Рисунок 7 – Сегментований результуючий інформаційний сигнал деякого пацієнта

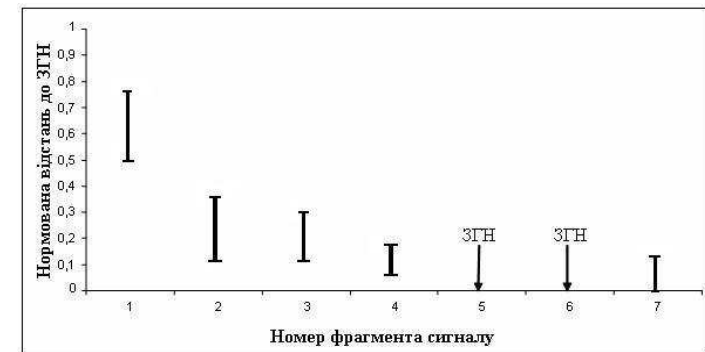


Рисунок 8 – Результат виявлення зворотного гортанного нерва на основі інтервальної моделі з радіально-базисними функціями

Як свідчать результати експериментів, інтервальна модель з РБФ не тільки класифікує тканини хірургічної рани, але й забезпечує оцінку відстані від точки подразнення до ЗГН. Побудовані інтервали нормованої відстані до ЗГН на основі інтервальної моделі гарантовано точні, але чуть закруглені. Прогнозований інтервал відстані від точки подразнення до ЗГН включає реальний експериментальний інтервал відстані, що не становить для хірурга ризику пошкодження ЗГН під

час проведення операції на щитоподібній залозі, проте час проведення операції суттєво зменшується.

Висновки. Розглянуто задачу виявлення місцезнаходження зворотного гортанного нерва на хірургічній рані із застосуванням інтервальної моделі з радіально-базисними функціями. У процесі розв'язання задачі отримано такі наукові та практичні результати:

1. Запропоновано процедуру побудови характеристик інформаційних сигналів в інтервальному вигляді.

2. Запропоновано метод та алгоритми ідентифікації математичних моделей із РБФ на основі аналізу інтервальних даних для розв'язку задачі виявлення розміщення зворотного гортанного нерва.

3. На основі реальних експериментальних даних, отриманих під час проведення операцій на щитоподібній залозі, із застосуванням методу ідентифікації інтервальних моделей із РБФ побудовано інтервальну модель на основі радіально-базисних функцій із гарантованими оцінками параметрів, яка уможливила підвищити точність виявлення зворотного гортанного нерва на області хірургічного втручання та зменшити час проведення операції.

Бібліографічні посилання

1. **Дивак М. П.** Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними : монографія. – Тернопіль: Економічна думка, 2011. – 216 с.

2. Патент України на корисну модель № 51174. Спосіб ідентифікації гортанного нерва з інших тканин хірургічної рани при проведенні хірургічних операцій на щитовидній залозі / Дивак М.П., Шідловський В.О., Козак О.Л. // Бюл. "Промислова власність". – 2010. – № 13.

3. **Козак О.Л.** Застосування методів допускового еліпсоїдного оцінювання параметрів інтервальних моделей для задачі візуалізації гортанного нерва / Козак О.Л., Дивак М.П., Пукас А.В. // Вісник нац. ун-ту "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2010. – № 680. – С.196–205.

4. **Dyvak M.** Identification the Recurrent Laryngeal Nerve by the Autocorrelation Function of Signal as Reaction on the Stimulation of Tissues in Surgical Wound / M. Dyvak, N. Padletska, A. Pukas, O. Kozak // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Proceedings of the XIIth International Conference CADSM'2013. – Lviv-Polyana-Svalyava : Publishing House of Lviv Polytechnic, 2013. – P. 89–92.

5. **Dyvak M.** Spectral analysis the information signal in the task of identification the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery / Mykola Dyvak, Natalia Kasatkina, Andriy Pukas, Natalia Padletska, // Proc. (forum catalogue) of the 13th International Workshop "Computational Problems of Electrical Engineering". – Grubow, Poland, September 5–8, 2012. – P.55.

6. **Розновський Я. Р.** Ідентифікація гортанних нервів серед тканин операційної рани / Я. Р. Розновський // Науковий вісник міжнародного гуманітарного університету [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vestnik-medicine.mgu.od.ua>.

7. **Dyvak M.** Electrophysiological method and interval model for identification the distance to reverse laryngeal nerve during surgery operation on the thyroid / Mykola Dyvak, Andriy Pukas // Computational Problems of Electrical Engineering. Proceedings of abstracts of the 15th International Conference CPEE'2014: National University "Lviv Polytechnic". – Kostryno, Zakarpattia Region, Ukraine, 2011. – P. 65.

8. **Savka N.** Intelligent Classifier Based on Radial Basis Function Network for the Task of Identification the Recurrent Laryngeal Nerve in a Surgical Wound / Nadiya Savka, Mykola Dyvak, Andriy Pukas, Vasyl Nemish // Journal of Applied Computer Science. – Poland, 2014. – Vol. 22. – No 2. – P. 55–64.

9. **Бодянский Е. В.** Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения : монография / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко; ТЕЛТЕХ. – Х. : 2004. – 372 с.

10. **Дивак М. П.** Метод ідентифікації вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних / Дивак М. П., Савка Н. Я. // Наукові праці Донецького нац. технічного ун-ту. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2012 – Вип. 15 (203). – С. 132–139.

Надійшла до редколегії 24.04.15

УДК 519.254

О.Г. Байбуз, М.Г. Сидорова, Л.П. Сидорова

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара***ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД «ANALIT»**

Запропоновано інформаційну технологію кластерного аналізу результатів моніторингу для обґрунтування пунктів спостережень, об'ємів і періодичності гідрохімічних випробувань та подано опис розробленої інформаційно-аналітичної системи моніторингу поверхневих вод «AnalIT».

Ключові слова: гідрохімічний моніторинг, кластерний аналіз, інформаційна технологія, часові ряди, прогнозування, оцінка якості.

Предложена информационная технология кластерного анализа результатов мониторинга для обоснования пунктов наблюдений, объемов и периодичности гидрохимических испытаний, а также представлено описание разработанной информационно-аналитической системы мониторинга поверхностных вод «AnalIT».

Ключевые слова: гидрохимический мониторинг, кластерный анализ, информационная технология, временные ряды, прогнозирование, оценка качества.

Information technology of cluster analysis of the monitoring results to justify the observation points, volume and frequency of hydro-chemical tests has been offered, a description of the developed information-analytical system of monitoring of surface water «AnalIT» has been submitted.

Keywords: hydrochemical monitoring, cluster analysis, information technology, time series, forecasting, assessment of quality.

Вступ. Внаслідок значного техногенного навантаження змінюються гідрохімічні процеси водних об'єктів. Тому актуальним є проведення гідрохімічного моніторингу з метою збереження, поліпшення і стабілізації якості поверхневих вод для забезпечення оптимальних умов функціонування екосистем та підвищення ефективності природно-господарського комплексу. Особливо складним є гідрохімічний моніторинг водних об'єктів у районах з підвищеним техногенним навантаженням [1].

У зв'язку з удосконаленням технологій запису і зберігання даних моніторингу спостерігається тенденція накопичення великої кількості

інформації. Виникає потреба обробки наборів даних значних об'ємів з метою виявлення прихованих у них знань, закономірностей, властивостей, тенденцій, кращого розуміння структури. Це призводить до необхідності розробки інформаційних систем та програмних засобів, що дозволять вирішувати такі задачі.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Одне з основних місць у системі гідрохімічного моніторингу займає обґрунтування пунктів спостережень, об'ємів і періодичності гідрохімічних випробувань. Основою розміщення гідрологічних пунктів спостережень, де проводяться спостереження гідрохімічних, гідрометричних та гідрологічних характеристик водостоків і водойм, є принцип основних характеристик водного режиму – рівня води і річкового стоку. Кількість і щільність розміщення пунктів спостережень визначають природно-кліматичними факторами. Використовуючи гідрохімічне районування, можна до певної міри уніфікувати водоохоронні заходи в межах виділених груп та районів. Визначивши пріоритетні водоохоронні заходи для одного об'єкта, планувати і впроваджувати їх для всієї виділеної групи. Для вирішення цієї задачі запропоновано застосовувати методи кластерного аналізу [2–3], що дозволяють поділити сукупність об'єктів на однорідні за певним формальним критерієм подібності групи (кластери). Основною властивістю цих груп є те, що об'єкти, які належать одному кластеру, подібніші між собою, ніж об'єкти з різних кластерів. Таку класифікацію можна виконувати одночасно за досить великою кількістю ознак. Крім того, методи кластерного аналізу дозволять зрозуміти структуру багатовимірних даних, спростити подальшу обробку, скоротити вихідну вибірку, виявити нетипові об'єкти, сформулювати або перевірити гіпотези на підставі отриманих результатів.

Найчастіше об'єкти моніторингу характеризуються набором досліджуваних ознак, що змінюються у часі, тобто дані для аналізу подаються у вигляді багатовимірних часових рядів [4]. Виділення однорідних груп часових рядів для подальшого їх аналізу та прогнозування в останні роки стає все більш актуальною проблемою.

Огляд існуючих інформаційних технологій показав, що майже не існує систем, орієнтованих на кластерний аналіз даних моніторингу; досить мало уваги приділено оцінюванню якості та аналізу отриманих угруповань; більшість програмних засобів не забезпечує підтримку прийняття рішень щодо вибору найкращого результату чи кількості кластерів; задача кластерного аналізу часових рядів не розглядається або розглядається частково; більшість систем потребують від користувача високого рівня кваліфікації. Таким чином, актуальною є

розробка нових інформаційних технологій кластерного аналізу результатів моніторингу.

З метою забезпечення збору, обробки, збереження та аналізу інформації про стан поверхневих вод, прогнозування його змін та розробки рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень поставлено задачу розробити інформаційно-аналітичну систему моніторингу поверхневих вод.

Основний матеріал. Для проведення інформаційно-аналітичного контролю якості поверхневих вод запропоновано ряд послідовних операцій: відбір проб; підготовка проб до їх транспортування й збереження, доставка у лабораторію; підготовка проб до аналізу безпосередньо у лабораторії; кількісний аналіз у лабораторних умовах; обробка отриманих результатів засобами розробленої інформаційної технології з метою виявлення закономірностей, властивостей, тенденцій, кращого розуміння структури.

Об'єкти моніторингу характеризуються набором досліджуваних ознак, що змінюються у часі, тобто дані для аналізу подаються у вигляді багатовимірних часових рядів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, $x_i = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}$, $i = \overline{1, N}$, де N – кількість об'єктів, $u_l^{(i)} = \{u_l^{(i)}\}$, $l = \overline{1, p}$, p – кількість ознак, $t = \overline{1, T}$, T – кількість моментів спостереження, $u_l^{(i)}$ – значення l -ї ознаки i -го об'єкта у t -й момент часу.

Структура програмного забезпечення «AnalIT» складається з п'яти основних блоків та представлена на рис. 1.

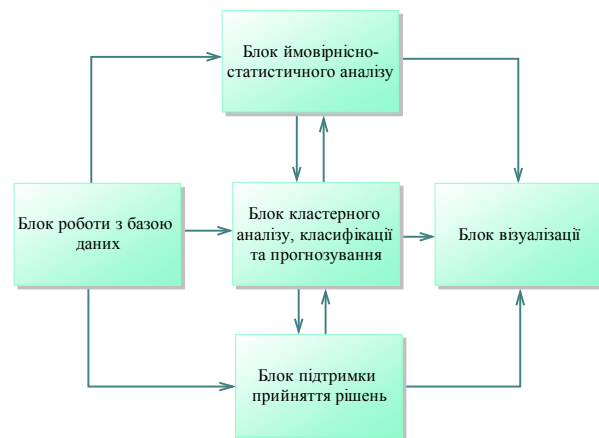


Рисунок 1 – Структура програмного забезпечення «AnalIT»

Блок роботи з базою даних. Система дозволяє завантажувати, зберігати, обробляти, редагувати дані, реалізує наступні можливості:

- формування локальних баз даних, здійснюючи запити на вибір даних за певними ознаками, моментами часу, об'єктами;
- оцінювання інформативності досліджуваних ознак методами апроксимації матриць близькості та «Гойдалки»; автоматичного вибору ознак заданої інформативності;
- проведення стандартизації даних.

Блок кластерного аналізу, класифікації та прогнозування реалізує наступні можливості:

- проведення кластеризації на основі методів: агломеративних ієрархічних ближнього зв'язку, дальнього зв'язку, центрального зв'язку, середнього зв'язку та Уорда, швидких ієрархічних методів, К-середніх у варіантах Болла-Холла та Мак-Кіна, графового методу найкоротшого незамкненого шляху, Forel та генетичного алгоритму, а також методів нечіткої кластеризації Уіндхема та Даве-Сена;
- проведення кластерного аналізу багатовимірних часових рядів;
- визначення метрики близькості між об'єктами: евклідової, манхеттенської, Чебишева, Канберра, Брея-Картіса, а також для часових рядів обчислення запропонованої авторами метрики TSS на основі коефіцієнтів кореляції та міри близькості [5];
- дослідження оптимальної кількості кластерів за критеріями якості та критерієм різниці між рівнями об'єднання на дендрограмі;
- оцінювання якості кластеризації шляхом порівняння отриманих різними методами угруповань на основі відносних критеріїв якості: Калінського – Гарабача, Данна, Беджека – Данна, суми внутрішньокластерних дисперсій за всіма ознаками, суми квадратів відстаней до центрів класів, суми внутрішньокластерних відстаней, відношення середньої внутрішньокластерної і середньої міжкластерної відстаней та проведення багатокритеріальної оцінки якості результатів кластеризації на основі відносних критеріїв якості та методів теорії прийняття рішень: Борда, Коупленда, плюралітарної процедури та множинного аналізу;
- прогнозування значень нових спостережень на основі моделей адаптивних методів прогнозування: Бокса – Дженкінса, Тейла – Вейджа, лінійного зростання з адитивною сезонністю, лінійного зростання з мультиплікативною сезонністю, експоненціального зростання з адитивною сезонністю, експоненціального зростання з мультиплікативною сезонністю, а також регресійних моделей з

можливістю вибору найкращої моделі та проведення кластерного аналізу на їх основі;

– проведення класифікації нових спостережень на основі наступних методів: байєсовського класифікаційного правила, метода найближчих сусідів, лінійної дискримінантної функції, квадратичної дискримінантної функції, методу еталонів, потенціальної функції. Здійснюється вибір найкращої класифікаційної моделі на основі ковзного контролю.

Блок ймовірно-статистичного аналізу дозволяє аналізувати як вихідні дані, так і дані кожного окремого кластера. Реалізовано наступні можливості:

– проведення первинного статистичного аналізу та обчислення комплексних індексів забрудненості води як для усіх даних, так і для кожного виявленого класу;

– відтворення одновимірних розподілів: нормального, сплайн-нормального з одним та двома вузлами склеювання, Вейбулла, рівномірного, експоненціального та вибір найбільш вірогідного типу розподілу за використанням критеріїв згоди Колмогорова та χ^2 Пірсона; визначення вірогідних меж значень показника на основі відтвореного розподілу;

– дослідження даних щодо виявлення суттєвих зв'язків поміж показниками на основі використання методів кореляційного аналізу, а саме: коефіцієнтів кореляції Пірсона, Спірмена, Кендала, кореляційного відношення з перевіркою їх значущості.

Блок візуалізації забезпечує представлення результатів аналізу у вигляді таблиць, графіків, дендрограм, гістограм, діаграм розсіювання, списків та текстових коментарів для полегшення їх інтерпретації; забезпечує зручний інтерфейс, взаємодію з користувачем у діалоговому режимі, надаючи можливість змінювати налаштування.

Покладена в основу системи технологія кластерного аналізу результатів моніторингу [6] дозволяє вирішити чотири типи задач:

1) виявлення кластерної структури об'єктів за всіма досліджуваними ознаками на певний момент спостереження;

2) знаходження угруповань моментів спостереження для кожного об'єкта, що характеризуються схожими значеннями досліджуваних показників;

3) групування об'єктів, які схожі між собою, за деякою ознакою у часовому діапазоні її змін;

4) визначення груп схожих об'єктів за всіма досліджуваними ознаками у часовому періоді спостережень.

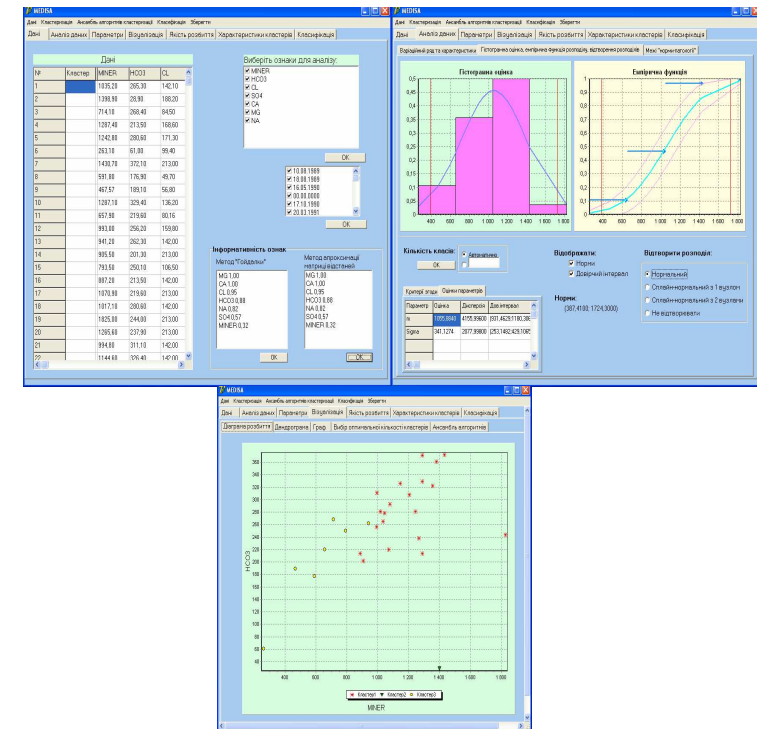


Рисунок 2 – Інтерфейс програмного забезпечення «AnallT»

На рис. 2 за допомогою діаграми станів представлено перетворення даних при кластерному аналізі багатовимірних часових рядів (БЧР), що ілюструє етапи переходу від вихідної множини до кластерів.

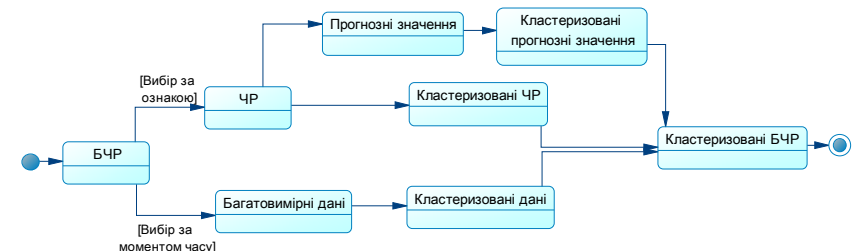


Рисунок 2 – Діаграма станів перетворення даних при кластеризації БЧР

Запропоновану технологію було застосовано до даних гідрохімічного моніторингу р. Самара (Західно-Донбаський регіон, Дніпропетровська область, Україна). Метою роботи було визначення груп контрольних створів, що характеризуються схожим хімічним складом води у р. Самара за досліджуваними компонентами для правильного планування природоохоронних заходів та керування якістю вод річки.

Проби води відбиралися у дев'яти контрольних створах: с. Коханівка (у межах населеного пункту); с. Маломиколаївка (6 км вище населеного пункту, 1 км вище скиду шахтних вод зі ставка-накопичувача б. Космінна); с. Петрівка (в межах населеного пункту, 1 км нижче скиду шахтних вод зі ставка-накопичувача б. Космінна); с. Богуслав (у межах населеного пункту); с. Тернівка (в/з Федора, 2 км нижче населеного пункту, 1 км вище скиду шахтних вод зі ставка-накопичувача б. Свідовок); с. Вербки (в межах населеного пункту, 1 км нижче скиду шахтних вод з б. Свідовок, 1 км вище скиду з очисних споруд комунального підприємства м. Павлограда); м. Павлоград, с. В'язовок (в межах населеного пункту, 1 км нижче скиду з очисних споруд комунального підприємства м. Павлограда); с. Кочережки (в межах населеного пункту) тричі на рік протягом 6 років.

Для кожної проби фізико-хімічними методами аналізу визначалися наступні показники: водневий показник (РН), розчинений у воді кисень (O_2), біохімічне споживання кисню (БСК), хімічне споживання кисню (ХСК), нітрати (NO_3), нітрити (NO_2), фосфати (PO_4), сухий залишок (СЗ), завислі речовини (ЗР), хлориди (СІ), сульфати (SO_4), аміак (NH_4), нафтопродукти (НП). Аналіз проводився на кафедрі аналітичної хімії хімічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Згідно з розробленою технологією контрольні створи були розподілені на групи за схожістю змін вмісту досліджуваного показника у пробах води; згруповані моменти спостереження, що характеризуються близькими за значеннями ознак пробами води; визначено розбиття контрольних створів на кластери за набором досліджуваних показників для кожного моменту спостереження, а також нечітке розбиття об'єктів аналізу, що враховує часові зміни ознак на всьому проміжку спостережень.

При дослідженні інформативності ознак у кожен з моментів спостереження за методом апроксимації матриці відстаней було виявлено, що усі ознаки, окрім СЗ, є інформативними, найбільшу інформативність мають наступні показники: NO_2 , PO_4 , NH_4 , O_2 , НП.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що контрольний створ, що знаходиться поблизу м. Павлограда, значно відрізняється від усіх інших майже в усі моменти спостереження. Таким чином, і в розбитті, що відповідає всьому проміжку спостережень, виділяється у окремий кластер. Також у окремий кластер виділяються контрольні створи у селах Маломиколаївці, Петрівці та Богуславі, враховуючи, що останній майже з рівною мірою приналежності відноситься до усіх кластерів.

Висновки. Запропоновано інформаційну технологію кластерного аналізу даних моніторингу. Технологія передбачає можливості кластеризації багатовимірних часових рядів, кластерного аналізу даних, що характеризують будь-який момент спостереження або часові зміни деякої ознаки, а також забезпечує оцінку якості отриманих результатів та підтримку прийняття рішень.

Розроблено інформаційно-аналітичну систему моніторингу поверхневих вод «AnallIT», ядро якої містить обчислювальні схеми кластерного аналізу, класифікації, прогнозування, підтримки прийняття рішень, ймовірно-статистичного аналізу, а також широкий спектр засобів візуалізації.

Засобами розробленої системи проведено аналіз даних гідрохімічного моніторингу р. Самара (Західно-Донбаський регіон, Дніпропетровська область, Україна). Визначено схожі закономірності зміни вмісту кожного з досліджуваних показників у пробах води контрольних створів у часовому проміжку спостережень; угруповання моментів спостереження для кожного контрольного створу, що характеризуються схожими значеннями ознак; угруповання контрольних створів за схожістю ознак у пробах води для кожного моменту спостереження, а також нечітке розбиття контрольних створів за схожістю набору досліджуваних ознак у пробах води на всьому проміжку спостережень.

Бібліографічні посилання

1. **Шерстюк Н. П.** Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу / Н. П. Шерстюк, В. К. Хільчевський – Д. : ТОВ «Акцент ПП», 2012. – 263 с.
2. **Мандель И. Д.** Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М., 1988. – 176 с.
3. **Миркин Б. Г.** Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений: обзор / Б. Г. Миркин. – М. : Изд. дом НИУ «Высшая школа экономики», 2011. – 88 с.

4. **Хеннан Э.** Многомерные временные ряды / Э. Хеннан. – М. : Мир, 1974. – 576 с.

5. **Байбуз О. Г.** Інформаційна технологія нечіткої кластеризації багатовимірних часових рядів на прикладі гідрохімічного моніторингу ріки Самара / О. Г. Байбуз, М. Г. Сидорова // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 4. – С. 11–18.

6. **Байбуз О. Г.** Інформаційна технологія кластеризації даних у часовому періоді спостережень / О. Г. Байбуз, М. Г. Сидорова // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 4. – С. 59–66.

Надійшла до редколегії 15.11.15

УДК 656.7.052.001.57 (045)

В.І. Чепіженко, В.О. Волкогон

Національний авіаційний університет, м.Київ

РОЛЬ СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ CNS/ATM СИСТЕМ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ АВТОНОМНИХ ПОЛЬОТІВ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ

Розглянуто сучасні концепції трансформації системи CNS/ATM, пов'язані з автономним польотом повітряних кораблів (ПК). Виявлено основні недоліки та обмеження в існуючих концепціях. Запропоновано шляхи забезпечення автономних польотів повітряних кораблів в єдиному аеронавігаційному просторі.

Ключові слова: *концепція, безпека, політ, трафік, автономність польоту, трансформації системи.*

Рассмотрены современные концепции трансформации системы CNS / ATM, связанные с автономным полетом воздушных кораблей (ВК). Выявлены основные недостатки и ограничения в существующих концепциях. Предложены пути обеспечения автономных полетов воздушных кораблей в едином аэронавигационном пространстве.

Ключевые слова: *концепция, безопасность, полет, трафик, автономность полета, трансформации системы.*

The modern concepts of system transformation CNS / ATM related with autonomous flight of aircraft (PC) were reviewed. The basic drawbacks and limitations in existing concepts were detected. The ways of ensuring autonomous flight of aircraft in the in uniform airnavigation space were proposed.

Keywords: *concept, security, flight, traffic, autonomous flight, the transformation of the system.*

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток авіації за останні десятиріччя призвів до різкого зростання кількості польотів ПК, які одночасно знаходяться у повітряному просторі (ПП). При цьому політ повинен здійснюватися з більшою ефективністю, безпекою та економічністю, що може бути забезпечено підвищенням рівнем автономності бортових засобів розв'язання конфліктів між ПК.

© Чепіженко В.І., Волкогон В. О., 2015

Проблеми безпеки польотів ПК і трансформації глобальної аеронавігаційної системи є багатогранними та складними. По-перше, на це впливає постійна зміна економічної ситуації у світі, по-друге, зростає конкуренція на ринку повітряних перевезень [11].

При збільшенні автономності повітряного судна частину функцій з організації та управління повітряним рухом і забезпечення безпечної траєкторії руху ПК переходить до бортових систем літака. У перспективі, при реалізації таких концепцій як Free Flight, A³, TCAS, S&A, ADS-B та ASAS, бортові системи будуть відігравати основну роль у плануванні польоту і забезпеченні безпечної траєкторії. Це потребує розробки нових методів та концепцій, які дозволять здійснювати політ з більшою ефективністю, безпекою та економічністю при збільшенні кількості ПК в обмеженому повітряному просторі.

Існуючі концепції спрямовані на підвищення ефективності виконання польотів, надання ПК можливості виконувати польоти в межах спеціально виділеного повітряного простору за довільними маршрутами, але не задовольняють сучасні вимоги безпеки повітряного руху (ПР), оскільки відсутня повна автономність руху ПК та не забезпечується надійне розв'язання конфліктних ситуацій в ПП.

Постановка цілей статті. Метою даної статті є визначення місця та ролі концепцій трансформації системи управління рухом ПК у забезпеченні автономних польотів при виконанні вимог безпеки польотів ПК у сучасній CNS/ATM системі, виявлення недоліків існуючих концепцій та шляхи їх усунення.

Основний матеріал. Проведений аналіз доступних джерел інформації показує, що існуючі концепції, пов'язані з автономністю польоту, такі як: Free Flight, A³, TCAS, S&A, ADS-B та ASAS, є недосконалими. Це обумовлено тим, що системи такого рівня – це багатоаспектні комплексні системи з ієрархічною схемою організації, які містять технічні, організаційні, інформаційні, керуючі, соціотехнічні й ергатичні компоненти. Дані концепції здатні вирішувати тільки часткові проблеми безпеки ПР. Результати останніх досліджень виявили певні існуючі недоліки та обмеження даних концепцій при реалізації автономного польоту [4–7].

Під автономним польотом надалі будемо розуміти політ, при якому функції та задачі вирішення конфліктів ПК та забезпечення безпеки польоту покладено на бортову апаратуру та пілотів.

В якості основних концепцій розглянемо (рис.1):

- A³ (Autonomous Aircraft Advanced)
- Free Flight

- S&A(See & Avoid)
- TCAS(Traffic Collision Avoidance System)
- ASAS(Airborne Separation Assurance (Assistance) System)
- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)

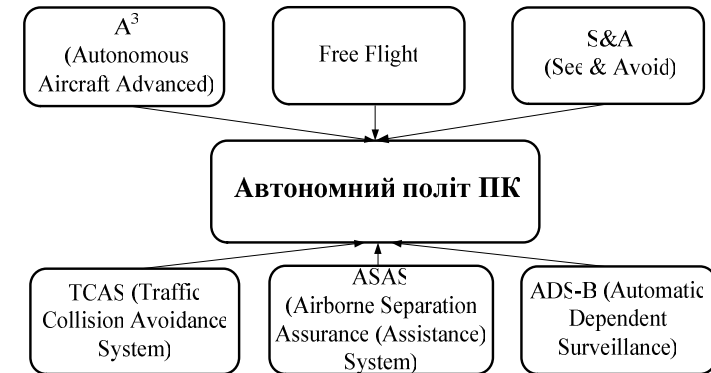


Рисунок 1 – Концепції автономного польоту ПК

Останнім часом світове авіаційне співтовариство значну увагу приділяє концепції УПР під назвою «Free Flight» (Free Flight – «вільний політ»). Ця концепція є першою практичною спробою систематизувати й об'єднати в єдиний комплекс засоби УПР, що з'явилися в останні роки, і має за основну мету надати екіпажам повітряних суден свободу оперативного вибору траєкторії руху по маршруту, швидкості і профілю. При цьому автономність, характерна для візуального польоту, повинна ефективно поєднуватися з надійністю безпечного розведення повітряних суден, що забезпечується технікою польоту за приладами. Основна ідея «Free Flight» полягає в абсолютно новому підході до управління повітряним рухом і вкладає новий зміст у поняття «політ за приладами» [4]. Детальне опрацювання концепції в даний час проводиться на рівні державних комітетів і робочих груп з представниками авіакомпаній.

Переваги даної концепції в тому, що для авіакомпаній світу «Free Flight», в разі успішного впровадження, обіцяє економію до 5 млрд. доларів щорічно за рахунок зниження витрати палива і витрат часу. Для авіаційних органів концепція дає можливість з найменшими витратами модернізувати застарілі системи УПР. «Free Flight» надасть екіпажам повітряних суден можливість вільно вибирати траєкторію

польоту за маршрутом, швидкість і профіль, причому навіть більшою мірою, ніж це дозволяють правила візуальних польотів.

Виходячи з вищезазначеного можна сказати, що дана концепція дозволить звільнитися від обмежень, накладених системами УПР за умови виконання повітряних перевезень настільки, наскільки це дозволять вимоги безпеки та технічний прогрес. Дана концепція не розглядає використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що можна віднести до одного з недоліків. Однак за даною концепцією центр ваги щодо прийняття рішення про розв'язання конфліктів між ПК зміщено у бік диспетчера. З іншого боку, остаточне рішення щодо розв'язання конфліктів у повітрі згідно з існуючою нормативною базою покладається на пілота. Це може спричинити неузгодженість рішень між пілотом і диспетчером. Характерним прикладом цієї неузгодженості є катастрофи В-737 та Ту-154 у 1985 році.

Концепція А³ (Autonomous Aircraft Advanced) передбачає виділення зон повітряного простору, в якому повітряні судна (ПС) будуть застосовувати самоешелонування, тобто автономні польоти. Екіпаж працюватиме без нагляду та підтримки диспетчера, та при обмеженому русі ПК у транспортних потоках. Користувачі повітряного простору повинні самостійно приймати або генерувати траєкторію свого руху, яка найкращим чином відповідає їх цілям. Обмеження в самостійному виборі траєкторії вводяться тільки для прогнозованих скупчень ПК, або для безпеки навколишнього середовища.

Концепція операцій А³ ділить повітряний простір на наступні категорії: контрольований, неконтрольований та повітряний простір для автономних польотів, де за ешелонування відповідає користувач повітряного простору (рис. 2).

Одним з недоліків розглянутої концепції є її залежність від SWIM (System Wide Information Management) середовища. Ця залежність поширюється як на польоти за маршрутом, які визначаються від точки виходу із зони підходу (ТМА) на вильоті ПК до точки входу в ТМА на прибутті, а також на роботу наземних засобів.

Дана концепція найбільш відповідає вимогам автономного польоту, але вона потребує великих часових та економічних затрат для вдосконалення та впровадження її в дію.

На сьогоднішній день для зменшення ризику зіткнень повітряних суден використовується система попередження небезпечних зближень літаків у повітрі – TCAS (Traffic Collision Avoidance System). Існують різні варіанти даної системи. ICAO рекомендує застосовувати систему TCAS II від 01.01.2003, так як вона на даний момент повністю

відповідає стандартам ACAS та встановлена на більшості комерційних повітряних суден. TCAS II є обов'язковою системою для літаків – у Європі (TCAS II v.7.1) для літаків, з кількістю пасажирів більше за 11 або з максимальною злітною масою більше ніж 5700 кг та в США (TCAS II v.6.04) із загальною кількістю пасажирів більше ніж 30 [7].

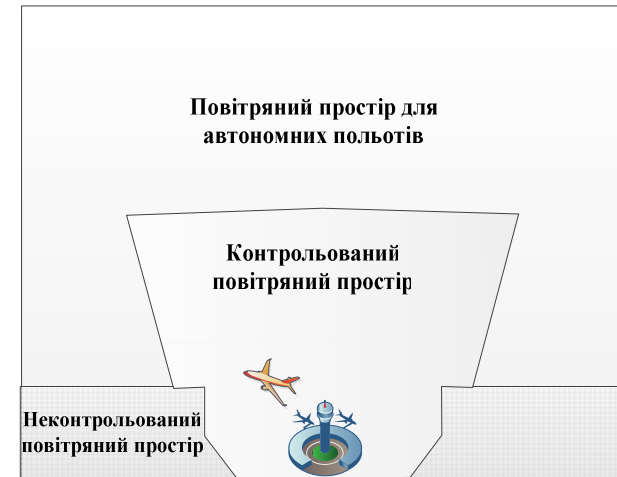


Рисунок 2 – Зображення категорій повітряного простору за концепцією А³

Система TCAS II може виявляти повітряні судна на відстанях до 40 миль, видає інформацію про повітряну обстановку і прямі рекомендації щодо усунення виниклої конфліктної ситуації. Система одночасно може відстежувати до 30 повітряних суден і для трьох одночасно видавати команди з вирішення конфліктної ситуації. Система видає дві команди:

- TA (Traffic Advisory) – попереджувальний сигнал, який означає, що конфліктуючий літак увійшов у захисну зону і треба бути готовим до видачі команди RA;

- RA (Resolution Advisory) – команди для негайних дій щодо запобігання зіткненню [6].

У той час як перевага використання TCAS є незаперечною, ця система має ряд істотних обмежень:

- TCAS може видавати вказівки тільки по вертикальному ешелонуванню;

- система УПР не отримує вказівок, виданих TCAS суднам, тому авіадиспетчери можуть не знати про такі вказівки, і навіть давати суперечливі вказівки, що є причиною вагання екіпажів;

- для ефективної роботи системи TCAS необхідно, щоб цією системою були оснащені всі літаки, так як літаки виявляють один одного по відповідачам;

- система не може виявити літаки, не обладнані RBS-відповідачами (транспондерами, що використовують режим А + С). Якщо датчики конфліктного літака з якоїсь причини не видають даних про свою висоту, то TCAS може не ідентифікувати їх на дисплеї;

- з метою виправлення конфліктної ситуації система видає команди для еволюцій тільки у вертикальній площині, маневри в горизонтальній площині поки залишаються для неї неможливими [2].

В рамках дослідженого проекту «iFly» [5] Eurocontrol здійснив спробу розробити нову бортову систему безпечного ешелонування ASAS (Airborne Separation Assurance (Assistance) System). ASAS – це бортова система, яка дозволяє екіпажу підтримувати безпечне ешелонування власного літака з одним та більше літаків і надає потрібну інформацію про повітряний рух у ПП. Однією з базових функцій ASAS є поліпшення ситуаційної поінформованості екіпажу (Situational Awareness), що полягає у наданні йому всієї необхідної інформації про повітряний рух навколо власного ПК для прийняття правильних та своєчасних рішень щодо забезпечення ешелонування з іншими літаками.

Концепцією передбачається, що відстань між літаками буде скорочена, а це, у свою чергу, потребує розробки системи запобігання потрапляння ПК у супутний слід. Алгоритми функціонування ASAS у загальному вигляді ще не стандартизовані. Це пояснюється складністю переходу до нових принципів розподілу відповідальності між диспетчером та пілотом щодо підтримки безпечного ешелонування ПК. Вищезазначене можна віднести до основних недоліків.

Розглянемо нову технологію радіомовного автоматичного залежного спостереження ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast), яке є вдосконаленим методом ADS (Automatic Dependent Surveillance). ADS-B-технологія, впроваджувана в даний час FAA на території США і в інших країнах, що дозволяє пілотам у кабіні літака і диспетчерам на наземному пункті «бачити» трафік руху повітряних суден з більшою точністю, ніж це було доступно раніше, і отримувати аеронавігаційну інформацію [1].

ADS-B також передає в реальному часі погодні інформації пілотам. Ця інформація значно розширює обізнаність пілота про ситуацію і підвищує безпеку польотів. Найкраще те, що доступ до ADS-B-інформації безкоштовний і вільний для всіх. Будь-який користувач, що знаходиться в повітрі або на землі в межах дальності радіомовної передачі, може обробляти і використовувати цю інформацію у своїх цілях. Ця інформація може бути використана не лише наземними службами УПК, але і бортовими системами попередження зіткнень ACAS (Airborne Collision Avoidance System).

Переваги ADS-B:

- низька вартість, висока точність і висока швидкість оновлення даних;

- система ADS-B складається з мережі відносно простих радіостанцій, дешевих, простих в установці і використанні в порівнянні з радаром, які потребують обслуговування механіки та обладнання обробки сигналів;

- ADS-B точніше визначає координати літака і його ідентифікатор. система ADS-B видає інформацію від літака приблизно кожну секунду, на відміну від радарної системи, де час оновлення інформації становить 12 сек, що визначається швидкістю повороту антени радара;

- ADS-B має більш високу точність визначення координат, що дозволяє ущільнити трафік і зробити його більш ефективним у районах високої завантаженості;

- також перевагою системи є повне покриття території. Обладнання ADS-B можна встановлювати в районах, де використання радарного обладнання не представляється можливим. Наприклад, таке обладнання встановлено на нафтових вишках у Мексиканській затоці, що істотно підвищує безпеку та ефективність повітряного руху над цим районом.

Недоліки ADS-B:

- відсутність будь-яких засобів захисту при передачі даних, як, наприклад, шифрування і міцний криптопідпис;

- можливість посилати в ефір підроблені дані або підмінювати інформацію у справжніх пакетах даних;

- сторона, приймаюча дані пакети, не може бути впевнена ні в дійсності пакета, ні в ідентифікації відправника.

Незважаючи на існуючі недоліки, система ADS-B спроможна вирішувати проблему забезпечення автономного польоту в частині

надання інформації про координати просторового положення ПК та інші параметри польоту.

Розглянемо наступну концепцію «Побачити та уникнути» S&A (See & Avoid). Мета даної концепції полягає в забезпеченні безпеки польотів та в покращенні візуального виявлення, перегляду та уникнення конфліктів. Ця програма допомагає льотному екіпажу уникати зіткнення ПК, коли УПР не передбачено (наприклад по правилах візуальних польотів (ППП) / правилах польотів за приладами (ПВП) у класах D і E повітряного простору, та в класі G).

Ця концепція не передбачена для великої інтенсивності ПР. Встановлено, що існує високий ризик зіткнення ПК у завантаженому повітряному просторі, коли літак не отримує попередження про наявність інших повітряних суден і покладається виключно на концепцію S&A. Покладатися виключно на принципи концепції S&A, щоб уникнути зіткнень між ПК, не варто. Дана концепція не може, сама по собі, забезпечити нашу безпеку. Якби вона могла, не було б ніякої необхідності в TCAS.

Шляхи забезпечення автономних польотів ПК в єдиному аеронавігаційному просторі ґрунтуються на таких етапах:

1. Розроблення технологій для забезпечення і контролю заданого рівня безпеки польотів.

2. Удосконалення структури повітряного простору.

3. Розроблення нового бортового та наземного обладнання.

Висновки. Таким чином, за результатом аналізу існуючих концепцій розвитку системи управління повітряним рухом можна зробити такі висновки:

1. Концепції покликані одночасно підвищувати ефективність виконання польотів згідно з потребами авіакомпаній та спрямовані на надання можливості літакам виконувати польоти в межах спеціально виділеного повітряного простору за довільними маршрутами. Концепції Free Flight, A³ та S&A – проекти, які потенційно здатні привести до революційних змін у світовій системі організації та управління повітряним рухом. Однак задоволення потреб авіакомпаній через надання їм певної свободи у плануванні траєкторії руху ПК несе в собі також і труднощі при забезпеченні безпеки польотів та підвищує складності розв'язання конфліктних ситуацій між літаками.

2. Необхідно розробити універсальний системний метод, який забезпечить автономність кожного ПК шляхом синтезу і видачі пілоту ефективних безконфліктних траєкторій руху ПК в умовах наявності множинних конфліктів з іншими ПК.

Бібліографічні посилання

1. "FAA Announces Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Architecture" (Press release). // FAA Office of Public Affairs. July 1 - 2002. APA 27-02. Retrieved 2011-02-21.

2. **Doc.** ICAO 9863-AN/468. Руководство по бортовой системе предупреждения столкновений (БСПС) – 1-е изд. – Монреаль, ICAO, 2006. – 245 с.

3. **Eurocontrol.** CARE/ASAS Action Plan 1. Principles of Operation for the Use of Airborne Separation Assurance Systems. Ver.7.1. – 2001. – 52 p.

4. **Hoekstra J.M.** Conceptual design of Free Flight with airborne separation assurance / Hoekstra J.M., R.N.H.W. van Gent, R.C.J. Ruigrok // AIAA "Guidance, Navigation and Control Conference". – Boston. – 7–13 August 1998. – P. 35–42

5. **iFly: ASAS Self Separation – Airborne Perspective** [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.asas-tn.org/towards-asas-gn/session-3/3_ifly_2.pptx

6. **iFly: Deliverable D1.3 Autonomous Aircraft Advanced (A³) ConOps** [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ifly.nlr.nl/documents/D1.3_Final_3.0_29_Jan_2010.pdf

7. **Kuchar J. K.** Prototype conflict alerting logic for free flight / J. K. Kuchar, L. C. Yang // Proc. 35th AIAA Aerospace Science Meeting & Exhibit. – 1997. – Vol. 20. – 4. – P. 768–773.

8. **Система TCAS.** Предупреждение столкновений самолетов в воздухе [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://avia-simply.ru/sistema-tcas/>

9. **Харченко В.П.** Класифікація конфліктних ситуацій між літальними апаратами та вибір зон безпеки / Харченко В.П., Кукуш О.Г., Бабак Є.А., Закора С.А. // Вісн. НАУ. – 2002. – № 3. – С. 79–88.

10. **Чепиженко В.И.** Энергетико-потенциальный метод гарантированного разрешения поликонфликтов столкновения динамических объектов / В.И. Чепиженко // Кибернетика и вычислительная техника. – 2012. – № 168. – С. 54–61.

11. **Чепиженко В.І.** Енергетико-потенціальне управління повітряним рухом в середовищі CNS/ATM / В.В. Павлов, В.П. Харченко, В.І. Чепиженко // Вісник НАУ. – 2011. – № 4. – С. 10–19.

Надійшла до редколегії 14.05.15

УДК 681.515: 519.7: 62-52

С.М. Мацюк, В.И. Корниенко

*Национальный горный университет***СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ
ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Запропоновано методику структурно-параметричної ідентифікації нелінійних динамічних процесів, що включає процедури генерування структур, селекцію моделей та оптимізацію їхніх параметрів. Для розв'язання задачі ідентифікації використовуються алгоритми глобальної та локальної оптимізації.

Ключові слова: динамічні процеси, селекція моделей, оптимізація, інтелектуальне прогнозування.

Предложена методика структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических процессов, включающая процедуры генерирования структур, селекцию моделей и оптимизацию их параметров. Для решения задачи идентификации используются алгоритмы глобальной и локальной оптимизации.

Ключевые слова: динамические процессы, селекция моделей, оптимизация, интеллектуальное прогнозирование.

The method of structural-parametric identification of nonlinear dynamic processes, including the procedures for generating structures, selection of models and optimization of their parameters has been proposed. To solve the identification problem the algorithms of global and local optimization are used.

Keywords: dynamic processes, model selection, optimization, intellectual forecasting.

Введение. Сложные динамические объекты управления (ОУ) имеют нестационарные параметры, нелинейные зависимости и стохастические переменные, что обуславливает наличие у них разных динамических режимов функционирования. К таким ОУ относятся, например, подвижные объекты, технологические процессы рудоподготовки (дробление и измельчение) и др.

Для управления ими используется априорная информация в виде математической модели ОУ как на стадии проектирования, так и в процессе функционирования. Поэтому важной проблемой создания эффективных систем управления является идентификация ОУ.

© Мацюк С.М., Корниенко В.И., 2015

Постановка задачи. Процесс структурно-параметрической идентификации включает операции определения структуры, оценки и оптимизации параметров модели ОУ [1]. Первые две операции решаются путем генерирования (с помощью базисных функций) моделей-претендентов разной сложности и настройки их параметров с последующей селекцией лучших из них по избранным критериям (результат – оптимальная структура). Операция определения оптимальных параметров решается методами параметрической оптимизации путем уточнения полученных ранее значений параметров по критериям регулярности на всей выборке исходных данных (результат – оптимальная модель).

При этом актуальными проблемами является выбор базисных функций, в терминах которых осуществляется идентификация, выбор способа генерирования и селекции структур разной сложности (метод структурной оптимизации), а также выбор метода параметрической оптимизации и эффективных критериев селекции и оптимизации.

Традиционно для аппроксимации базисных функций используются полиномы Лежандра, Колмогорова – Габора и др. [2–3]. Коэффициенты этих полиномов образуют неизвестные параметры, значения которых выбираются так, чтобы наилучше отвечать наблюдаемым временным реализациям.

Более продуктивным является использование нейронных сетей (НС) или гибридных НС с нечеткой логикой, которые являются универсальными и эффективными аппроксиматорами.

Эффективным методом структурно-параметрической идентификации является метод группового учета аргументов (МГУА) [2–3]. Его алгоритмы реализуют схему массовой селекции путем генерирования моделей – частных описаний (скрещивание) и отбора лучших из них (селекция). Но значительной проблемой применения МГУА является правильное соотношение сложности модели с объемом обучающей выборки.

Синтезированная модель ОУ, которая правильно передает динамику одного режима функционирования, может быть неадекватной к описанию другого режима. Поэтому необходима реализация адаптивной идентификации ОУ в процессе функционирования системы управления.

Таким образом, нерешенной задачей является разработка малозатратных и эффективных методик структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических ОУ, которые имеют переменные режимы функционирования.

Цель статьи. Разработка методики структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических ОУ в классе прогнозирующих нейросетевых моделей на базе композиции методов глобальной и локальной оптимизации, а также оценка эффективности применения этой методики на примере технологического процесса рудоподготовки.

Идентификация нелинейных динамических процессов. Жесткие требования к знанию статистических свойств временных рядов экспериментальных сигналов в системах управления ограничивают возможности методов математической статистики, теории распознавания образов, теории случайных процессов и др.

Многие реальные процессы не могут адекватно быть описаны с помощью традиционных статистических моделей, поскольку являются существенно нелинейными и имеют или хаотичную, или квазипериодическую, или смешанную динамику [4].

Для построения и реализации структуры динамической прогнозирующей модели ОУ могут использоваться разные подходы. При этом известно [5], что нелинейная динамическая система (модель ОУ) может быть представлена путем композиции линейного динамического (ЛДЗ) и нелинейного статического (НСЗ) звеньев, например, в виде модели Винера – Гаммерштайна (Wiener – Hammerstein), которая приведена на рис. 1.

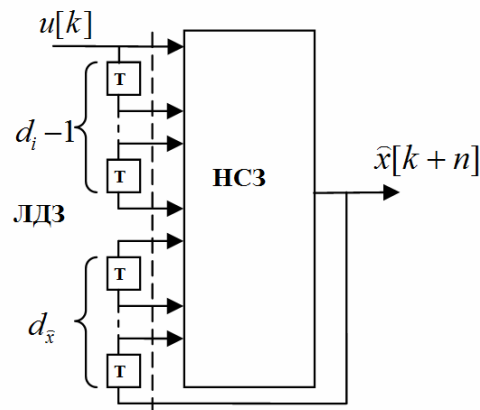


Рисунок 1 – Структура Винера–Гаммерштайна прогнозирующей модели нелинейного динамического ОУ

Здесь $u[k]$, $\hat{x}[k+n]$ – вход процесса и оценка прогноза его выхода; k, n – текущий такт времени и глубина прогноза. ЛДЗ является линиями задержки, величины которых (глубина памяти) определяются размерностью входных $d_i - 1$ и выходных $d_{\hat{x}}$ переменных [6], а в качестве НСЗ могут использоваться как традиционные средства (полиномы Лежандра, Вольтерра, Колмогорова – Габора и др.), так и интеллектуальные (НС, гибридные НС с нечеткой логикой и др.).

Задача идентификации ОУ формулируется таким образом [7]: на основании экспериментального множества функций (временных рядов) возмущений, управлений и выходов в условиях помех определить структуру (обобщенную функцию $F_{\hat{x}}$) и вектор параметров $a_{\hat{x}}$ модели ОУ, которая достаточно точно (в смысле некоторого критерия) аппроксимирует его относительно входных и выходных величин во всем функциональном пространстве.

Формирование оценки структуры $F_{\hat{x}}$ (структурная идентификация) и параметров $a_{\hat{x}}$ (параметрическая идентификация) модели ОУ осуществляется на основе векторов сигналов наблюдения путем минимизации принятого функционала $J\{F_{\hat{x}}, a_{\hat{x}}\}$.

В общем случае функционал $J\{F_{\hat{x}}, a_{\hat{x}}\}$ полимодальный (имеет несколько локальных минимумов), что требует использования методов глобальной оптимизации, среди которых наиболее эффективными являются поисковые методы [8]. В них алгоритм поиска оптимального решения связывает следующие друг за другом решения таким образом, чтобы получить новое лучшее решение.

В алгоритмах прямого случайного поиска (ПСП) задаются направления поиска и определяются значения функционала J в точках $\Psi(j) \pm \gamma \zeta$. Решение состоит в выборе шага в направлении уменьшения этого функционала:

$$\Psi(j+1) = \Psi(j) - \omega \zeta \{J[\Psi(j) - \gamma \zeta] - J[\Psi(j) - \gamma \zeta]\} \quad (1)$$

где $\Psi(j) \in \{F_j, a_j\}$ – значения функции и параметров на j -м шаге поиска; ω, ζ, γ – параметры, которые определяют сферы принятия решения (ω), сбора информации (γ) и единичное случайное направление (ζ). В общем случае параметры в (1) могут изменяться – адаптироваться к процедуре поиска и виду гиперповерхности принятого функционала.

Развитием поисковых методов являются эволюционные алгоритмы, среди которых наиболее распространены генетические алгоритмы (ГА), моделирующие развитие биологической популяции на уровне геномов: мутации структуры и параметров $\delta\Psi$, их скрещивание (размножение) [9]:

$$\Psi(j+1) = \Psi(j) + \delta\Psi(j) \quad (2)$$

и правило отбора, что позволяет обнаруживать их благоприятные вариации, с помощью которых строится последовательность улучшенных решений.

Большинство задач, решаемых при помощи ГА, имеют один критерий оптимизации. Многокритериальная оптимизация (МО) основана на отыскании решения, одновременно оптимизирующего более чем одну функцию. В этом случае ищется некоторый компромисс, в роли которого выступает решение, оптимальное в смысле Парето. При МО, использующей ГА, выбирается не одна хромосома, представляющая собой оптимальное решение в обычном смысле, а множество хромосом, оптимальных в смысле Парето. Пользователь имеет возможность выбрать оптимальное решение из этого множества:

$$m \cdot \Psi(j+1) = m \cdot [\Psi(j) + \delta\Psi(j)], \quad (3)$$

где $m \geq 2$ – число рассматриваемых критериев.

Для идентификации эффективны внешние критерии, адекватные задаче построения моделей с минимальной дисперсией ошибки прогноза, которые делятся на критерии регулярности и критерии несмещенности [2].

Критерий регулярности основан на разделении данных на обучающую A и проверочную B выборки:

$$J_{reg} = \frac{\|x_B^*[d+n] - \hat{x}_B[d+n]\|}{\|x_B^*[d+n]\|}, \quad (4)$$

где $x_B^*, \hat{x}_B$ – экспериментальные и полученные по модели значения выхода ОУ; d – глубина памяти, n – глубина прогноза. Оптимизация модели осуществляется на обучающей, а проверка ее эффективности (величины ошибки) на проверочной выборке. Вся выборка $N = A + B$.

Более стойкими к помехам являются критерии минимума смещения (несмещенности). Например, критерий несмещенности, основанный на анализе решений, имеет вид:

$$J_{см} = \frac{\|\hat{x}_A[d+n] - \hat{x}_B[d+n]\|}{\|x^*[d+n]\|}, \quad (5)$$

где $\hat{x}_A, \hat{x}_B$ – выходы моделей ОУ, которые обучены на выборках A и B соответственно. Вычисление критерия $J_{см}$ осуществляется на всей выборке N .

Критерий минимума смещения позволяет выбрать модель, наименее чувствительную к изменению множества точек, по которым она получена. Такая модель должна давать одинаковые результаты на выборках A и B . Поэтому этот критерий рекомендуется для решения задач структурной идентификации.

Выбор метода локальной (параметрической) оптимизации определяется выбором типа базисных функций.

Для прогнозирующих систем на базе НС наилучшие качества показывает гетерогенная сеть, которая состоит из скрытых слоев с нелинейной функцией активации нейронов и выходного линейного нейрона [10].

Базисная функция в виде НС прямого распространения (НСПР) со скрытым слоем представляется как [10]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\theta \in P} F_l \left\{ \sum_{l \in Q} v_l[\theta] \cdot F_y \left(\sum_{m \in Q} v_{l,m}[\theta] \cdot y_m[k-\theta] \right) \right\}, \quad (6)$$

где P – множество глубин памяти соответствующих входов; F_l – активационная функция выходного слоя НС; Q – множество входов нейронов; l – порядковый номер входа выходного слоя НС; v_l – весовые коэффициенты выходного слоя; F_y – активационная функция нейронов скрытого слоя; m – порядковый номер входа НС; $v_{l,m}$ – весовые коэффициенты связи m -го входа и l -го нейрона; y_m – вход НС.

Параметрами настройки (обучения) этой НС являются $\{v_l, v_{l,m}\} \subset a_{\hat{x}}$.

В общем случае структурными характеристиками НС (6) являются $\{T_s, P, F_y, F_l, r_s, M_{po}\} \subset F_{\hat{x}}$, где T_s – тип структуры, $r_s \subset Q$ – размер скрытого слоя, M_{po} – метод параметрической оптимизации (функция обучения НС).

К НСПР относятся персептроны, каскадные НС, вейвнеты и др.

Базисная функция в виде НС с радиальными базисными функциями (РБФ) представляется как [10]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\theta \in P} F_l \left\{ \sum_{l,m \in Q} v_l \cdot F_y(\vartheta_l, \|y_m[k-\theta] - v_l\|) \right\}, \quad (7)$$

где ϑ_l, v_l – параметры РБФ -го нейрона скрытого слоя.

Параметрами настройки НС (7) являются $\{v_l, \vartheta_l, v_l\} \subset a_{\hat{x}}$, а ее структурными характеристиками – $\{T_s, P, F_y, F_l, r_s, M_{po}\} \subset F_{\hat{x}}$.

Теоретически системы с нечеткой логикой и НС эквивалентны друг другу, однако на практике у них есть свои преимущества и недостатки. В связи с этим получили развитие гибридные НС, в которых выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения НС. Такие системы не только используют априорную информацию, но могут приобретать новые знания и для пользователя являются логически прозрачными [11].

Базисная функция в виде гибридной НС с нечеткой логикой (Anfis) представляется как [10]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\theta \in P} \sum_{m \in Q} \beta_m[\theta] \cdot \alpha_m[k-\theta], \quad (8)$$

где $\beta_m[\theta] = U_m^{-1}(\alpha_m[\theta] / \sum_m \alpha_m[\theta])$;

$\alpha_m[k-\theta] = T_n \{L_{l,m}(y_m[k-\theta])\}$; $U = U(a_U)$; $L = L(a_L)$.

Здесь U_m^{-1} – функция, обратная функции принадлежности промежуточного выхода m сети с параметрами a_U ; α_m – значение промежуточного выхода; T_n – произвольная t -норма моделирования логической операции «И»; $L_{l,m}$ – функция принадлежности нечеткого правила l входа m с параметрами a_L .

Параметрами настройки НС (8) являются $\{a_U, a_L\} \subset a_{\hat{x}}$, а структурными характеристиками – $\{T_s, P, F_y, F_l, r_s, M_{po}\} \subset F_{\hat{x}}$, где $r_p \subset Q$ – количество правил разложения по входам.

Процесс обучения НС представлен на рис. 2.

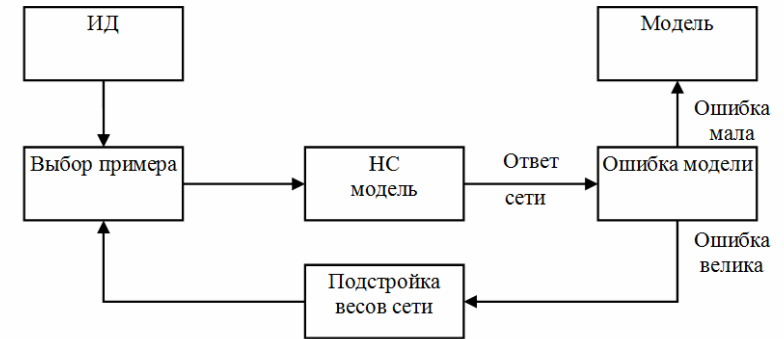


Рисунок 2 – Процесс обучения НС

Идентификация параметров (обучение) НСПР (6) осуществляется с помощью градиентных алгоритмов обучения: алгоритмов метода сопряженных градиентов, алгоритмов обратного распространения ошибки или квазиньютоновских алгоритмов. При обучении НС с РБФ (7) сначала определяются центры и отклонения для радиальных элементов, после чего оптимизируются параметры линейного выходного слоя. Обучение гибридной НС (8) выполняется аналогично НСПР (6) путем оптимизации параметров функций принадлежности с помощью гибридного алгоритма или алгоритма обратного распространения ошибки [12]. Преимуществом этих алгоритмов параметрического обучения НС является их простота и быстроедействие, а недостатком – их локальность.

Моделирование. Рассмотрим разработку интеллектуальной прогнозирующей модели процесса крупнокускового дробления руд (ККД), выходной координатой которого является содержание в дробленной руде класса +100 мм Γ_{+100} .

Решение задачи структурно-параметрической идентификации процесса ККД выполнялось с помощью разработанных программ в среде Matlab.

Для идентификации процесса ККД в качестве входных сигналов использовались экспериментальные временные последовательности средневзвешенной крупности Γ_{ex} и крепости Kp входной руды, а также управляющего воздействия – размера разгрузочной щели дробилки $\mathcal{U}$.

При этом в соответствии с динамическими свойствами процесса ККД глубина прогноза составляла $n = 3$ такта (для компенсации запаздывания и времени на выработку и реализацию управляющего воздействия), а глубина памяти – 4 такта. Погрешность измерения переменных процесса ККД не превышала 10 %, а размер реализаций составил $N = 60$ тактов (порций руды).

При идентификации в качестве глобальных методов оптимизации применялись ПСП и ГА. При этом использовалась структура моделей Винера – Гаммерштейна (см. рис. 1) с базисными функциями в виде НС: каскадной НСПР (6), НС РБФ (7) и НС Anfis (8).

Результат структурно-параметрической идентификации процесса ККД приведен на рис. 3.

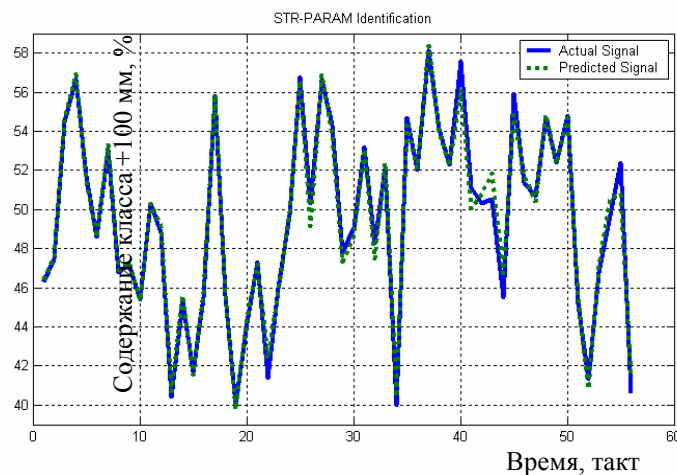


Рисунок 3 – Результат идентификации процесса ККД

В целом установлено, что минимуму критерия несмещенности (3.19) для процесса ККД отвечают базисные функции в виде каскадной НСПР. При этом количество нейронов в скрытом слое

составляет 26, функция активации скрытого слоя – сигмоидальная, выходного слоя – линейная, алгоритм обучения НС – метод Флетчера – Ривса (Fletcher – Reeves).

Модели в виде НС с РБФ (7) требуют гораздо меньше вычислений, но их значение критерия (5) существенно выше, что можно объяснить плохой прогностической способностью этих НС.

Модели в виде НС с нечеткой логикой Anfis (8) имеют достаточную точность, но у них очень низкое быстродействие при размерностях вектора входов больше 5 (суммарное количество входов модели ККД составляет 10).

В качестве меры точности параметрической идентификации модели оптимальной структуры использовался критерий регулярности (4), значение которого для модели процесса ККД составило 0,0357.

Адекватность полученной интеллектуальной прогнозирующей модели процесса ККД проверялась по непараметрическому критерию знаков [13]. Установлено, что разработанная модель с идентифицированными структурой и параметрами адекватна с уровнем значимости 0,01 динамике процесса ККД.

Выводы. Предложена методика структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических процессов, включающая процедуры генерирования структур, селекцию моделей и оптимизацию их параметров. При этом для решения задачи идентификации используются алгоритмы глобальной и локальной оптимизации.

В целом это позволяет получить интеллектуальные прогнозирующие модели нелинейных динамических процессов повышенной точности.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку алгоритмов управления сложными процессами с использованием предложенной методики структурно-параметрической идентификации.

Библиографические ссылки

1. **Корниенко В.И.** Интеллектуальные методы структурно-параметрической идентификации технологических процессов рудоподготовки / В.И. Корниенко, А.В. Пивоварова // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – 2008. – Вып. 80. – С. 71–77.
2. **Ивахненко А.Г.** Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. – К. : Техніка, 1975. – 312 с.

3. **Mueller J.-A.** Self-Organising Data Mining. An Intelligent Approach To Extract Knowledge From Data. / J.-A. Mueller, F. Lemke. – Berlin, Dresden, 1999. – 225 p.

4. **Кузнецов С.П.** Динамический хаос / С.П. Кузнецов. – М. : Физматлит, 2002. – 296 с.

5. **Nelles O.** Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural and Fuzzy Models / O. Nelles. – Berlin : Springer, 2001. – 785 p.

6. **Малинецкий Г.Г.** Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. – М. : Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с. – ISBN 5-8360-0110-3.

7. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. – М. : Наука, 1987. – 712 с.

8. **Holland J.H.** Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence / J.H. Holland. – London : Bradford book edition, 1994. – 211 p.

9. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.Н. Сергеев– Х. : Основа, 1997. – 112 с.

10. **Кузнецов Г.В.** Композиційна структурно-параметрична ідентифікація нелінійних динамічних об'єктів керування / Г.В. Кузнецов, В.І. Корнієнко, О.В. Герасіна // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2009. – № 5. – С. 69–75.

11. **Круглов В.В.** Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М. : Физматлит, 2001. – 224 с.

12. Нейронные сети. MATLAB 6 / под ред. В.Г. Потемкина. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496с.

13. **Ван дер Варден Б.Л.** Математическая статистика / Б.Л. Ван дер Варден. – М. : Изд-во иностр. лит., 1960. – 436 с.

Надійшла до редколегії 12.11.15

УДК 179.90

А.А. Чугай

Днепропетровский гуманитарный университет

ГОЛОГРАММНАЯ ТЕОРИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

Проведен обзор существующих моделей памяти. Описана голографическая модель биологической памяти и ее преимущества перед другими существующими моделями биологического хранения информации. Изложенная гипотетическая голограммная теория принципа работы биологической памяти может послужить моделью в явном виде для специалистов в области искусственного интеллекта, разработчиков информационных технологий, стать предметом математического и компьютерного моделирования процесса голограммного запоминания информации, а также разработки алгоритма синтезированной биоэлектронной быстродействующей объемной памяти.

Ключевые слова: память, биологическая память, теории памяти, нейронное запоминание, межнейронные связи, голографическая память, нейроглии, биоголограммная память.

Проведено огляд існуючих моделей пам'яті. Описано голографічну модель біологічної пам'яті та її переваги перед іншими існуючими моделями біологічного зберігання інформації. Викладена гіпотетична голограмна теорія принципу роботи біологічної пам'яті може послугувати моделлю в явному вигляді для спеціалістів в області штучного інтелекту, розробників інформаційних технологій, стати предметом математичного і комп'ютерного моделювання процесу голограмного запам'ятовування інформації, а також розробки алгоритму синтезованої біоелектронної швидкодіючої об'ємної пам'яті.

Ключові слова: пам'ять, біологічна пам'ять, теорії пам'яті, нейронне запам'ятовування, міжнейронні зв'язки, голографічна пам'ять, нейроглії, біоголограмна пам'ять.

The review of existing models of memory has been conducted. The holographic model of the biological memory and its advantages over other existing models of biological data storage has been described. The holographic memory theory considered in the paper can be used as explicit model for specialist in the field of artificial intelligence, developers of information technologies, can be a subject for mathematical and computer modelling of holographic memorizing process and also developing of algorithm of synthetic bioelectric fast volumetric memory.

© Чугай А.А., 2015

Keywords: *memory, biological memory, memory theories, neural memorizing, cross-neuron links, holographical memory, neuroglyphs, biogram memory.*

Введение. Память – важнейшая определяющая характеристика жизнедеятельности человека и всех биологических существ. Запоминание входящей информации, её хранение, последующее воспроизведение и забывание – суть памяти. Память живых существ – это совокупность биоэнергетических и психоэнергетических моделей действительности, внесенных в отделы мозга, которые выполняют основные действия в процессе запоминания поступающей информации к бессознательному, последующей её семантической обработки и коррекции на сознательном уровне, запоминание, сохранение, воспроизведение осознанной информации и забывание.

Исследование принципа работы биологической памяти человека – одна из главных проблем физиологии нервной системы. Распознавание принципа её работы важно для создания искусственной памяти большого объема. В положительных результатах этих исследований заинтересованы: вычислительная математика и микропроцессорная техника, кибернетика, создатели искусственного интеллекта и др.

Распознавание принципа работы биологической памяти – актуальнейшая проблема современности. С её разрешением решаются многие прикладные задачи вычислительной техники, кибернетики, микропроцессорной электроники и др.

Основная часть. Существуют различные теории памяти – психологическая, физиологическая, физическая, электрическая, электромеханическая, химическая, биохимическая, голографическая. Отображают ли существующие теории разносторонние подходы к обсуждаемому вопросу? Несомненно. Они взаимно дополняют и обогащают друг друга, так как в известной мере адресуются различным фазам памяти, освещают разные стороны этой сложной проблемы.

Психологический уровень изучения механизмов памяти хронологически старше других и представлен в науке наиболее многочисленными теориями. Первая группа психологических теорий составляет так называемое ассоциативное направление. Его центральное понятие – понятие ассоциации – обозначает связь, соединение – и выступает в качестве обязательного принципа всех психических образований. Т.е., если определённые психические образования возникли в сознании одновременно или непосредственно друг за другом, то между ними образуется ассоциативная связь и повторное появление какого-либо из элементов этой связи

обязательно вызывает в сознании представление всех её элементов. Наиболее решительная критика ассоциативной теории памяти велась с позиции теории гештальтизма. Элементарному подходу ассоцианистов к явлениям сознания гештальтизм представляет, прежде всего, принцип синтеза элементов, принцип первичности целого по отношению к его частям. В современной науке всё большее признание приобретает деятельностная психологическая теория. Основной тезис этой теории (в противопоставлении с ранее рассмотренными) – образование связей между различными представлениями определяется не тем, каков сам запоминаемый материал, а прежде всего тем, что с ним делает субъект. Как видим, психологические теории памяти гипотетические, они вообще не рассматривают механизмы процесса запоминания информации.

Физиологическая теория механизмов памяти связана с учением И.П. Павлова – о закономерностях высшей нервной деятельности. Положения учения И.П. Павлова получили дальнейшее развитие в физиологической и физической теориях памяти. По И.П. Павлову, материальной основой памяти является кора больших полушарий головного мозга, ее пластичность и способность к образованию рефлексов. Создание связи между новым и ранее закрепленным содержанием является условным рефлексом и составляет физиологическую основу акта запоминания. В образовании, закреплении и угасании временных нервных связей заключается физиологический механизм памяти.

К физиологической теории присоединяется физическая теория памяти, проникающая в нейрофизиологический уровень ее механизмов. Согласно этой теории, прохождение возбуждения через определенную группу клеток (нейронов) оставляет физический след, который предопределяет механические и электрические изменения в месте соединения нервных клеток (синаптических связях). Изменения облегчают повторное прохождение информационного импульса знакомым путем. Эти воззрения ещё называются теорией нейронных моделей.

В начале XX столетия наиболее распространённой была теория механического изменения формы и размеров нейронов, как элементарных запоминающих ячеек, под воздействием биосигналов информации. Этот принцип использует искусственная магнитострикционная память.

Открытие Бергером и его учениками в 1920 году электрической активности мозга, положившее начало электроэнцефалографии, привело к созданию простой электрической теории запоминания.

Поступающая в мозг информация воплощается в индивидуальную систему электрических цепей, которая охватывает много нейронов. Каждому следу запоминания соответствует своя индивидуальная электрическая цепь. Электрическая теория объясняла непрерывную электрическую активность мозга. Однако она не могла дать ответы на ряд существенных вопросов.

Анализ морфологических исследований указывает на роль субклеточного (молекулярного) и клеточного уровней в осуществлении функции памяти. Появилось морфофизиологическое направление и биохимический подход. Последний касается изучения белкового синтеза, который, очевидно, играет значительную роль в процессах памяти и роли медиаторных систем, осуществляющих передачу возбуждения в нервной системе.

В 1962 г. Д. Макконел, на основании результатов исследования с плоскими червями – планариями, сделал вывод: информация хранится в молекуле РНК.

Нейрофизиологический уровень изучения механизмов памяти на современном этапе всё больше сближается и иногда прямо смыкается с биохимическим. Это подтверждается исследованиями, проводимыми на стыке этих теорий. На основании результатов исследований возникла теория о двухступенчатом характере процесса запоминания. На первой ступени (непосредственно после воздействия раздражителя) в мозге, на клеточном уровне, происходит кратковременная электрохимическая реакция, вызывающая обратимые физиологические изменения в нейронах. На второй ступени происходит биохимическая реакция с образованием новых белковых веществ – протеинов. Первую ступень считают физиологическим механизмом кратковременного запоминания, вторую ступень считают механизмом долговременной памяти, приводящей к необратимым химическим изменениям в нейронах – долговременная память.

Сторонники химической теории памяти считают, что специфические химические изменения в нейронах, которые происходят под воздействием биоэлектрических импульсов, поступающих от рецепторов, и лежат в основе механизмов процесса закрепления, сохранения и воспроизведения следов, а именно: различные перегруппировки ионов натрия белковых молекул нейронов и, прежде всего, нуклеиновых кислот. ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) считается носителем генетической (наследственной) памяти: она содержит генетические коды организма, определяя генотип. РНК (рибонуклеиновая кислота) – основа онтогенетической индивидуальной памяти. Возбуждение

нейронов повышает содержание в них РНК, и неограниченное количество изменений ее молекул является базой хранения большого количества следов возбуждения. Не исключается способность РНК проявлять резонансные свойства – резонировать на «знакомые» раздражители, не отвечая на иные воздействия, и составляет биохимический механизм памяти. Изменения структуры РНК ученые связывают с долговременной памятью.

Если в физиологической теории учёные пытаются подойти к механизмам памяти на уровне функциональных систем и дают анализ различных фаз памяти, то сторонники биохимических теорий адресуются, главным образом, к процессам хранения следа на нейронном уровне. Согласно биохимическим теориям, основное значение в хранении мозгом информации принадлежит изменениям химического состава нуклеиновых кислот и белков соответствующих нейронов. Биохимикам и генетикам удалось доказать, что передача информации по наследству осуществляется с помощью РНК и ДНК. В отличие от генетической памяти, главная роль в процессах индивидуальной памяти биохимики приписывают молекулам РНК.

Однако, несмотря на огромное количество работ, посвящённых проблеме биологической памяти, ещё не существует, на настоящее время, законченной теории, раскрывающей принцип работы памяти, которая удовлетворительно объясняла бы процессы, лежащие в основе работы биологической памяти. Рассмотренные отдельные теории освещают лишь разные стороны этого сложнейшего процесса на основании скромных результатов исследований.

Во всех рассмотренных теориях биологической памяти запоминающей ячейкой является нейрон и нейронные связи. Что же всё-таки запоминает нейрон: бит информации или целый образ? Совершенно неизвестен механизм образования следов памяти на нейронном уровне. Неизвестно как осуществляется «запись» и организовывается извлечение следов памяти. Ещё не определён участок мозга, который можно было бы с уверенностью считать местом хранения информации. И является ли нейрон действительно основным элементом памяти? Более вероятно, что хранение информации обеспечивается не самим изменением внутренней реорганизации нейронов под воздействием биоэнергетических импульсов, а многочисленными межнейронными синаптическими связями, межсинаптической средой, а сам нейрон выполняет функцию избирательного или селективного коммутатора. Тогда как синапс активного нейрона находит синапс пассивного нейрона. Что потом происходит с пассивным нейроном? Предполагают, что нейрон не

единственно возможный кандидат на роль элементарной единицы памяти. Исследования на клеточном уровне сводятся, в основном, к изучению роли связи синапсов и нейроглий, которым уделяется все большее внимание. Если раньше, после работ Хидена, основное направление исследований сводилось к изучению кодирования информации на молекулярном уровне и связывалось с РНК, то в настоящее время центр тяжести перенесен на синаптический процесс.

В начале XX века испанский микроанатом Сантьяго Рамон-и-Кахал, исследуя клеточную структуру мозга, показал, что в структуре мозга можно выделить клетки двух типов: нервные клетки (нейроны) и массу клеток как бы склеивающих нейроны. Галамбос, исследуя тело мозга, тоже обратил внимание на то, что, кроме нейронов с отростками (их 10...20 млрд. в головном мозге), имеются ещё глиальные клетки двух видов, отличающихся размером – макроглии и микроглии. Они в 10 раз меньше нейронов и их число превышает число нейронов в 10 раз, т.е. 500 млрд. Глиальные клетки заполняют межнейронное пространство и составляют тело мозга. В чём состоит главная функция большей части клеток глии, пока неизвестно. Им приписывают довольно неопределённые «хозяйственные» функции. Галамбос предположил, что, помимо питающей функции, клетки нейроглии являются хранителями информации, поступающей в организм из внешней и внутренней среды. Но несмотря на простоту и логичность этой гипотезы, фактов, подтверждающих её, немного.

Анализируя существующие в настоящее время теории памяти, предпочтение отдаётся физической – голографической теории памяти, суть которой состоит в голографическом запечатлении информации в ещё не установленных участках головного мозга. Правда, ещё нет однозначного объяснения принципа образования голографического изображения в нейронных структурах. Мы гипотетически полагаем, что запоминающим микроэлементом является клетка нейроглии пирамидальной формы.

Сигнальный импульс рецептора-селектора, синусоидальный и биполярный, имеет нестационарные: длительность, амплитуду, частоту и фазу. Попадая в определённый центр головного мозга, сигнал детектируется (расчленяется) на положительную и отрицательную полуволны. Положительная полуволна направляется на один нейрон, а отрицательная – на другой. Возбуждённые нейроны образуют синаптическую связь через нейроглиальный межнейронный промежуток. При этом полуволны сигнала, объединяясь, своей энергией воздействуют на тела нейроглий. Поражаемые энергией

сигнала, они позиционируются в нейроглиальном пространстве по форме сигнала и, создав нейроглиальный образ, цепенеют. Время оцепенения зависит от силы энергопоражения. По мере мгновенного распространения колебательного процесса в нейроглиальной среде, который описывается уравнением гармонической функции

$$x = a \sin(\omega t + \varphi),$$

где x – мгновенное значение переменной величины, a – амплитуда, ω – циклическая частота, φ – начальная фаза, $(\omega t + \varphi)$ – полная фаза, формируется из пирамидальных нейроглий голографическое нейроглиальное изображение образа – материальное голографическое запоминание, информативность которого по мере удаления от эпицентра снижается. Оболочки задействованных нейроглий в этом процессе электризуются и создают электроголограммный образ сигнала, который навсегда сохраняется в электростатическом голограммном поле – накопительная бессознательная память. Эта память автоматически фиксирует и навсегда запоминает всю поступающую информацию от сознания и рецепторов.

Голографическая организация памяти является основой голограммной памяти и при пропадании голографического образа голограммный тоже исчезает. Голографические образы могут со временем медленно затухать, по мере выхода задействованных нейроглий из состояния оцепенения и возвращения в исходное положение – процесс забывания сознательной памяти. Эпизодическая образная стимуляция голографического образа поддерживает образное позиционирование нейроглий, сохраняя информационный голографический образ. После кончины организма жизнеобеспечение нейронов и нейроглий медленно прекращается, голографическое поле прекращает свое существование и голографическая память пропадает. Голограммная память, будучи психической энергией, не пропадает и не рассеивается, а покидает черепную полость, сворачивается в шар и как информационная безтелесная излучающая психоэнергетическая сущность возвращается в единое биоэнергетическое психоинформационное поле – ноосферу, по Вернадскому, или к видовому (человеческому) Богу, по религиозному. При появлении человеческого утробного плода со сформировавшейся нервной системой, которая уже образовала собственную биологическую колебательную систему с частотой ноосферной души, на резонансном принципе душа, вселяясь в нервную систему утробного организма, оживляет его и

закладає всю свою інформацію в його головний мозг, забезпечиває життєдіяльність і онтогенез.

Выводы. Таким образом, проведен обзор существующих моделей биологической памяти. Описана голографическая модель биологической памяти и ее преимущества перед другими существующими моделями биологического хранения информации.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Гавришук Світлана Вікторівна – аспірант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Юрчишин Володимир Миколайович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Красцький Володимир Миколайович – студент Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Городнича Катерина Олександрівна – аспірантка Одеського національного політехнічного університету.

Крісілов Віктор Анатолійович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету.

Карпов Олег Миколайович – д-р. техн. наук, професор, професор кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара

Луценко Олег Павлович – асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Мацуга Ольга Миколаївна – канд.техн. наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Дудукіна Світлана Олександрівна – канд. мед. наук, лікар-анестезіолог відділення анестезіології та інтенсивної терапії № 2, в тому числі для нейрохірургічних хворих, комунального закладу «Дніпропетровська обласна клінічна лікарня імені І.І. Мечникова».

Кобеляцький Юрій Юрійович – д-р. мед. наук, професор, завідувач кафедри анестезіології та інтенсивної терапії державного закладу «Дніпропетровська державна медична академія».

Михайлів Володимир Ігорович — аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Приставка Пилип Олександрович — д-р. техн. наук., професор, завідувач кафедри прикладної математики ІДС Національного авіаційного університету.

Шаповал Ганна Анатоліївна — аспірант кафедри прикладної математики ІДС Національного авіаційного університету.

Савка Надія Ярославівна — здобувач наукового ступеня кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету.

Козак Олександра Леонідівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету.

Байбуз Олег Григорович — д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Сидорова Лариса Петрівна — канд. хім. наук, доцент, доцент кафедри аналітичної хімії Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Сидорова Марина Геннадіївна — канд. техн. наук, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Чепіженко Валерій Іванович — д-р. техн. наук, професор, професор кафедри аеронавігаційних систем, старший науковий співробітник, директор Інституту аеронавігації Національного авіаційного університету, м. Київ.

Волкогон Вікторія Олексіївна — аспірантка кафедри аеронавігаційних систем, Інституту аеронавігації Національного авіаційного університету.

Мацюк Сергій Михайлович — аспірант, асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем ДВНЗ «Національний гірничий університет».

Корнієнко Валерій Іванович — д-р. техн. наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем ДВНЗ «Національний гірничий університет».

Чугай Анатолій Олександрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри загальної психології Дніпропетровського гуманітарного університету.

ЗМІСТ

Гавришук С.В., Юрчишин В.М., Красецкий В.М. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЗАВОДНЕННЯ НАФТОВОГО ПОКЛАДУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКО–ЛІНГВІСТИЧНОЇ МОДЕЛІ	3
Крислов В.А., Городничая Е.А. МАСШТАБЫ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	15
Карпов О.Н. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ, АРТИКУЛЯЦИИ И МИМИКИ В РЕЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	24
Луценко О.П. ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЙМОВІРНІСНИХ ТОРГОВЕЛЬНИХ СИСТЕМ	27
Мацуга О.М., Приставка П.О., Дудукіна С.О., Кобеляцький Ю.Ю. МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ МОМЕНТІВ КРИТИЧНОЇ ПАРЦІАЛЬНОЇ НАПРУГИ ГАЗІВ АРТЕРІАЛЬНОЇ КРОВІ ПІД ЧАС ГІПОТЕРМІЇ	37
Михайлів В.І. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДАНИХ У ХМАРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	52
Приставка П.О. ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ КОМБІНАЦІЙ В-СПЛАЙНІВ ДРУГОГО ПОРЯДКУ, БЛИЗЬКИХ ДО ІНТЕРПОЛЯЦІЙНИХ У СЕРЕДНЬОМУ	67
Приставка П.О., Шаповал Г.А. ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВОГО РЯДУ ЗАЛИШКІВ ЗНАЧЕНЬ ІНДЕКСУ ГЕОМАГНІТНОЇ АКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА	78
Савка Н.Я., Козак О.Л. ІНТЕРВАЛЬНІ МОДЕЛІ З РАДІАЛЬНО-БАЗИСНИМИ ФУНКЦІЯМИ ДЛЯ ЗАДАЧІ ВИЯВЛЕННЯ РОЗМІЩЕННЯ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА.....	89
Байбуз О.Г., Сидорова М.Г., Сидорова Л.П. ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД «ANALIT»	103
Чепіженко В.І., Волкогон В.О. РОЛЬ СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ CNS/ATM СИСТЕМ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ АВТОНОМНИХ ПОЛЬОТІВ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ	112

Мацюк С.М., Корниенко В.И. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	121
Чугай А.А. ГОЛОГРАММНАЯ ТЕОРИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ	132
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	140

Наукове видання

**АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ТОМ 19

Збірник наукових праць

Українською, російською та англійською мовами

Редактор А.В. Шерстюк
Технічний редактор А.В. Шерстюк
Коректор А.В. Шерстюк

Підписано до друку 20.12.2015. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$. Папір друкарський.

Друк плоский. Ум. друк. арк. 7,21. Ум. фарбовідб. 7,21. Обл.-вид. арк.
7,96. Тираж 100 прим. Вид. №1793. Замовлення №

Свідоцтво Державної реєстрації ДК № 289 від 21.12.2000р.
Видавництво Дніпропетровського національного університету,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.

Віддруковано в друкарні Ліра М.
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Наукова, 5.

Свідоцтво ДП №14 від 13.07.2000 р.