

Розглядається проблема проектування інтелектуальних систем управління (ІСУ) динамічно-змінними об'єктами (ДО), що функціонують в умовах суттєвої апріорної невизначеності. Представлено аналіз існуючих підходів до побудови ІСУ ДО, методів, моделей і алгоритмів їх побудови на основі інтеграції класичних методів теорії управління і методів штучного інтелекту. В якості прикладів ДО розглядаються рухомий склад багаторежимних підприємств (ТП). Виявляється коло невирішених завдань, формулюється мета і завдання для рішення

Ключові слова: інтелектуальні системи, динамічно-змінні об'єкти, транспортні підприємства

Рассматривается проблема проектирования интеллектуальных систем управления (ИСУ) динамично-переменными объектами (ДО), функционирующих в условиях существенной априорной неопределенности. Представлен анализ существующих подходов к построению ИСУ ДО, методов, моделей и алгоритмов их построения на основе интеграции классических методов теории управления и методов искусственного интеллекта. В качестве примеров рассматриваются подвижной состав многорежимных предприятий (ТП). Выявляется круг нерешенных задач, формулируется цель и задачи для решения

Ключевые слова: интеллектуальные системы, динамично-переменные объекты, транспортные предприятия

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ НАЛАШТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Д. Ю. Зубенко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: Denis04@ukr.net

А. В. Коваленко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: AVMK@yandex.ru

О. М. Кузнецов

Кандидат технічних наук, доцент**

*Кафедра електричного транспорту***

Кафедра теоретичної і будівельної механіки*

***Харківський національний університет

міського господарства ім. О. М. Бекетова

вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002

1. Вступ

В даний час проблема проектування систем автоматичного управління динамічно-змінними об'єктами характеризується переходом від парадигми адаптивного управління до парадигми інтелектуального управління, це викликане як безперервним ускладненням об'єктів управління та умов їх функціонування, появою нових класів обчислювальних засобів (зокрема, розподілених обчислювальних систем), високопродуктивних каналів телекомунікацій, так і різким підвищенням вимог до надійності та ефективності процесів управління в умовах суттєвої апріорної і апостеріорної невизначеності. Урахування перерахованих вище факторів є можливим тільки на основі переходу від «жорстких» алгоритмів параметричної та структурної адаптації до антропоморфного принципу формування управління.

Інтелектуальне управління є міждисциплінарною предметною областю, в якій тісно переплітаються завдання і методи їх рішення, розроблені в теорії дослідження операцій, сучасної теорії управління складними динамічно-змінними об'єктами та теорії штучного інтелекту, що обумовлює внутрішню складність вирішення проблем у даній галузі, тому в ній не тільки зберігаються проблеми наукових областей «донорів»,

а й з'являються нові невирішені проблеми, викликані синергетичним ефектом їх взаємодії.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Дослідження в галузі оцінки та оптимізації складності САК динамічними об'єктами мають півстолітню історію. Разом з тим, перераховані підходи, визнаючи необхідні напрямки досліджень стосовно до САК динамічно-змінними об'єктами, не вказують формальних алгоритмів і методик синтезу ІСУ ТП на основі критерію мінімальної складності при виконанні заданих вимог до якості процесів управління в умовах невизначеності режимів роботи ТП і зміни зовнішнього середовища. В останніх публікаціях та дослідженнях відображається ця проблема, так у [1] вирішується питання діагностування, але не розглянуто питання створення повноцінної нейронної мережі. В статті [2] показано ієрархію нейронних мереж та їх класифікацію, та не відображено модульні нейронні мережі. Дослідження використання нейронних мереж в управлінні електрозабезпеченням [3] дозволяє створювати прогнозуючі моделі, але в цілому управління підприємством не показано. У [4] приведені дослідження в створенні нових комп'ютерів та систем на

основі нейронних мереж, але задачі, пов'язані з визначенням прогнозу в системі невизначеності не відображається. Також в [5] відображено проблему розробки паралельних програм на багатоядерних комп'ютерах, що є актуальним у зв'язку з нарощуванням потужності персональних комп'ютерів, але питання реалізації конкретних програм для підприємств не враховано. Обробка паралельних програм [6] дає можливість більш широко використовувати математичний апарат, але створення конкретної математичної моделі для підприємств не враховано. Також обробка багатомірних програм [7] та багатомірного аналізу інформації та інтелектуальних систем [8] не розглядається фактор прогнозування. Засоби і алгоритми математичного моделювання [9] дозволяє створити алгоритм для основних підрозділів підприємства, але не визначено підхід до створення штучного інтелекту.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є «розвиток теоретичних складових» інтелектуальних систем управління складними динамічно-змінними об'єктами на основі системного аналізу та структурної оптимізації ієрархічних рівнів управління з використанням принципу мінімальної складності, а також реалізація запропонованих підходів при побудові інтелектуальних систем управління транспортними підприємствами.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені наступні завдання:

- обґрунтування концепції побудови ієрархічних інтелектуальних систем управління складними динамічно-змінними об'єктами транспортних підприємств, що функціонують в умовах суттєвої невизначеності;
- обґрунтування методів і алгоритмів оцінки і оптимізації складності проектних рішень на різних рівнях ієрархії ІСУ ТП, а також алгоритмів синтезу алгоритмів управління виконавчого рівня ІСУ ТП.

4. Матеріали та методи дослідження загальних принципи побудови інтелектуальних систем управління дослідного об'єкта

Як відомо, опис поведінки ДО (дослідного об'єкта) в просторі станів може бути представлено у вигляді системи нелінійних диференціальних та алгебраїчних рівнянь [9]:

$$\begin{aligned} \dot{\chi} &= F(\chi, u, v); \\ u &= H(\chi, u, v), \end{aligned} \tag{1}$$

де χ – вектор стану ДО; u – вектор вимірюваних координат (виходів) ДН.

При цьому оператори F, H системи (1) можуть мати різну форму: аналітичні вирази, якісний опис (знання експертів), логіко-динамічні рівняння (гібридні системи), у вигляді програмного коду, таблиць тощо.

Об'єм доступної інформації в процесі управління ДО (1) визначає вибір класу проектованої САК. У табл. 1 представлені основні типи моделей ДО, які визначають ступінь повноти знання про поведінку ДО, тобто відображають рівень існуючої невизначеності.

Таблиця 1

Тип моделі ДО і рівнянь невизначеності

Тип моделі ДО	Доступна інформація про поведінку ДО	Реалізація	Рівень невизначеності (недостатньо інформації)
Детермінована модель (Д-модель)	Є повна інформація	Рівняння заелементної моделі	Відсутня
Інтегрована модель (І-модель)	Неповна інформація	Рівняння з інтервальним коефіцієнтом	Низький
Вірогідна (В-модель)	Статистична інформація про процеси (наявність великого вибору)	Стохастичні рівняння	Середній
Нейромережна (НМ-модель)	Статистична інформація	Нейромережні моделі	Середній
Лінгвістична (Л-модель)	Якісна інформація про поведінку ДО (мала вибірка)	Нечіткі моделі	Достатньо високий рівень
Експертна (Е-модель)	Знання експертів	База знань, машина логічного виводу	Високий

Таблиця 2

Залежність між рівнем невизначеності характеристик ДО і рівнем складності САК ДО

Рівень складності САК ДО	Рівень невизначеності характеристик ДО				
	Відсутній	Низький	Середній	Достатньо високий	Високий
Проста (неважка)	+	+	-	-	-
Достатньо складна	-	+	+	-	-
Складна	-	-	+	+	-
Дуже складна	-	-	-	-	+

В табл. 2 представлена якісна залежність рівня складності САК ДО від рівня невизначеності знань про ДО (тобто від складності ДО). В таблиці показано, що складність опису ДО прямо впливає на складність проектних рішень САК ДО.

Розглянемо деякі визначення понять складності та невизначеності запропоновані різними авторами.

Складність об'єкта (системи) управління. В [10] зазначено, що складність системи характеризується неможливістю із заданою точністю виконати аналіз і прогноз зміни стану системи. В даному випадку йдеться про неможливість забезпечення необхідної якості управління ДО з необхідною точністю на обмеженому інтервалі часу.

В [11] пропонується вважати систему складною, якщо вона має 10^4-10^7 елементів, ультраскладною – систему, що складається з 10^7-10^{30} елементів, і суперсистемою – систему з $10^{30}-10^{200}$ елементів. Однак, запропонована шкала складності не відображає складності взаємних зв'язків між елементами; таким чином, системи мають однакову кількість елементів, але різну топологію, не піддаються порівнянню.

В [12] до складних систем відносять системи, описувані на мові теоретико-імовірнісних методів. У цьому випадку побудова якісної шкали для порівняння складності різних ДО є достатньо складним завданням.

В [13] складною системою називається система, в моделі якої недостатньо точною інформації для забезпечення досягнення мети управління цією системою, тобто для забезпечення функціонування цієї системи потрібне отримання великого обсягу недостатньої інформації та побудова більш повної докладної моделі. В даному випадку також представляється скрутним побудувати шкалу складності для порівняння між собою різних варіантів побудови системи.

В [14] складність системи визначається як властивість, що характеризує технічне втілення рішень чи алгоритмів, що забезпечують досягнення основної мети (цілей) управління при заданому рівні якості управління. Таке визначення більш детальніше відображає дані ознаки стосовно до САК ДО, тому воно буде використовуватися далі при розробці методології проектування ІСУ ДО. Враховуючи, що складність є невід'ємною характеристикою проектованої системи, дане поняття має пряме відношення і до самого процесу проектування САК. При цьому основним завданням процесу проектування є побудова системи, що забезпечує необхідну якість (ефективність) процесів управління ДО при мінімальній складності проектного рішення. Дана обставина є надзвичайно важливою при проектуванні САК сучасних ДО (наприклад, ТП), що функціонують в умовах підвищеної витрати ресурсів, звичайної апіорної і апостеріорної невизначеності.

4. 2. Фактори невизначеності

Як зазначалося, фактори невизначеності значною мірою визначають складність процесу проектування та технічних рішень систем управління ДО. До основних факторів невизначеності зазвичай відносять [15]:

- неповноту проектної інформації про робочі характеристики ДО, умов його функціонування, зовнішніх і внутрішніх впливів тощо, особливо сильно цей фактор впливає на складність процесу проектування унікальних (нових) зразків ДО;

- неточність математичних моделей ДО як об'єкта управління і його підсистем, похибки вимірювально-інформаційних систем, виконавчих механізмів, алгоритмів і методик розрахунку тощо;

- нечіткість опису характеру ряду процесів, що протікають в ДО, внаслідок дефіциту доступної інформації про цілі та завдання функціонування ДО в умовах зміни ситуації управління та стану зовнішнього середовища, несприятливий вплив якої знижує ймовірність досягнення поставленої мети управління;

- можливу некоректність застосування тих чи інших підходів (методів, методик) при проектуванні САК ДО, збої, відмови апаратури і т. п.

При проектуванні САК ДО, що функціонують в умовах невизначеності (табл. 2), вони можуть розроблятися в наступних класах САК:

- роботизовані САК забезпечують малу чутливість до сигналів, параметричних і структурних збурень за рахунок належного вибору структури і параметрів САК ДО на основі методів роботизованого управління.

Слід зазначити, що проектування роботизованих САК ДО вимагає наявності аналітичної моделі ДО і досить складних алгоритмів проектування [16]:

- адаптивні САК – володіють властивостями адаптації (тобто механізмами зміни структури або параметрів керуючої частини системи) при дії дестабілізуючих факторів (передбачається, що аналітичний опис ДО і діапазон зміни її параметрів також відомі [17]);

- відмовостійкі САК – вирішується проблема забезпечення надійності управління за рахунок використання різних форм надмірності (інформаційної, структурної, алгоритмічної, функціональної і т. д.) [18].

Разом з тим, у разі високого рівня невизначеності, розподільного характеру ДО, більшого числа його взаємодіючих підсистем, складного (а часто, передбачуваного) характеру зміни зовнішнього середовища і, як наслідок, зміни самих цілей поведінки ДО, застосування зазначених вище підходів часто не забезпечує необхідну якість (ефективність) процесів управління ДО [18].

Останнім часом усе більш активно розвивається новий науковий напрям, пов'язаний зі створенням і впровадженням інтелектуальних систем управління ДО.

Інтелектуальне управління є складною міждисциплінарною предметною областю, в якій тісно переплітаються завдання і підходи, розроблення в теорії дослідженні операцій, сучасної теорії управління ДО, теорії штучного інтелекту, що обумовлює внутрішню складність вирішення проблем у даній галузі [7–17].

В даний час теоретична база проектування ІСУ ДО ще тільки формується, що знаходить своє відображення і в різних визначеннях поняття інтелектуального управління.

Так, в роботах [19] виділяються наступні ознаки інтелектуального управління:

- безперервне уточнення можливості досягнення попередньо обраних термінальних умов, заданих наміченої мети управління;

- корекція бази критеріїв, що визначає вимоги до якості управління;

- перепланування програми руху, включаючи функції датчиків входних впливів і еталонного об'єкта;

- вибір способу регулювання і поточне безпосереднє управління об'єктом.

На рис. 1 приведена структурна схема функціонування ІСУ ДО.

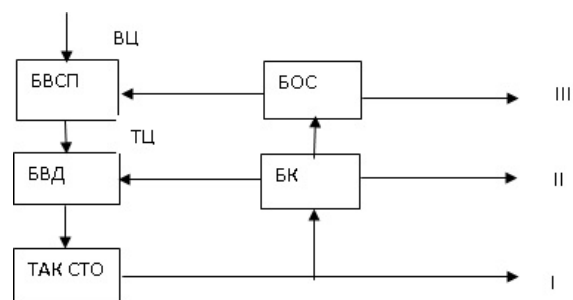


Рис. 1. Структурна схема функціонування ІСУ ДО

На рис. 1 представлена структурна схема ІСУ ДО, запропонована в [20], де ВЦ – вища мета; БВСП – блок вибору стратегії поведінки; ТЦ – поточна мета; БВД – блок вибору дій; САК – система автоматичного управ-

ліній; БОС – блок узагальнення ситуації; БК – блок класифікації; 1, 2, 3 – рівні управління ДО.

У тих випадках, коли число станів системи є кінцевим або розрахунковим, ентропія системи підраховується як [1–18]

$$H = -\sum p_i \log p_i, \quad (2)$$

де p_i – ймовірність знаходження системи в z -му стані.

Якщо відома щільність розподілу ймовірностей $f(x)$ того, що система знаходиться в стані $x \in X$, ентропія системи визначається наступним чином [11–20]:

$$H = -\int_x f(x) \log f(x) dx. \quad (3)$$

Доведено, що максимум ентропії досягається при нормальному законі розподілу ймовірностей $f(x)$. Ентропія системи, отриманої в результаті об'єднання декількох підсистем (об'єктів), дорівнює сумі їх ентропії.

5. Результати досліджень підходів до налаштування інтелектуальних систем та їх обговорення

Підводячи підсумки сказаного, можна зробити висновки про те, що рішення задач управління сучасними і перспективними ТП в інтегрованих адаптивних систем управління РС в ТП вимагає застосування принципово нових парадигм і підходів, що зумовлено різким ускладненням як самих об'єктів управління, так і більш жорсткими вимогами до ефективності керування силовою установкою і безпеки праці. Проаналізовано існуючі підходи налаштування інтелектуальних систем та отримані результати розробки концепції побудови ієрархічних інтелектуальних систем управління складними динамічно-змінними об'єктами, що функціонують в умовах суттєвої невизначеності. Результати дослідження методів і алгоритмів оцінки і оптимізації складності проектних рішень на різних рівнях ієрархії ІСУ динамічно-змінними об'єктами показали що потрібно розробляти на основі ентропійного підходу та принципу мінімальної складності. Методи, алгоритми і методики синтезу алгоритмів управління виконавчого рівня ІСУ ТП на основі нелінійних регуляторів, нейронних мереж і нечіткої логіки.

Як показує проведений в [18–20] аналіз, перспективи побудови подібних систем для 5-го і 6-го поколінь значною мірою пов'язані з можливостями застосування багаторівневих інтелектуальних систем управління і контролю. При цьому у складі алгоритмічного забезпечення САК ДО повинні з'явитися алгоритми управління, засновані на використанні знань, методів навчання, м'яких обчислень (нейронних мереж, нечіткої логіки) [15–20].

Питання використання інтелектуального управління складними транспортними системами, до яких по суті відносяться транспортні підприємства, викладені в роботах [21–23], в яких, зокрема зазначено, що у зв'язку зі значним збільшенням комп'ютерів в транспортних мережах, часто потрібні рішення завдань сумісності устаткування і проектування кооперативних додатків між пристроями, встановленими в подібного роду мережах [21]. Тому має існувати системна методологія для створення онтологій, використовуючи семантичний

аналіз, алгоритми кластеризації для пошуку та подання потрібної інформації. Завдяки такому підходу, як відзначають автори даної статті, з'являється можливість підключати нове устаткування до транспортних мережах. При цьому слід врахувати, що потенціал, яким володіють інтелектуальні транспортні системи (ІТС), забезпечує можливість істотного скорочення числа аварій, визваних людськими помилками [22]. ІТС дозволяють також вирішувати проблеми інтенсифікації процесів перетворення транспортних систем та інфраструктур [23]. Використання подібного роду підходу до управління для підприємств взагалі увазі реалізацію різних варіантів управління, загальною характерною особливістю якого є нечіткість вхідної інформації і необхідність вибору критерію оптимізації управління з ряду конкуруючих [24–26]. Так, в роботі [24] запропонований варіант математичного опису промислового об'єкта управління, що дозволяє вирішити задачу синтезу оптимального регулятора в умовах нечіткого опису вхідних параметрів з вибором в якості критерії оптимальності швидкодії системи. В роботі [25] представлені архітектури адаптивного нечіткого управління промислових систем, особливістю якої є використання нечіткого програмного забезпечення для управління, яке може бути інтегрованою в промислових переробних і комунікаційних об'єктах. Подібна система включає в себе чотири різних модуля: математичну нечітку бібліотеку, графічний інтерфейс користувача (GUI), нечіткий регулятор і промислову мережу. Дослідження [26] фокусується на розробці спостерігача на основі адаптивного управління з нечіткою нейромережевою структурою (OAFNNC), що дозволяє в режимі реального часу управляти рушієм позиціонування транспортної системи зі зворотним зв'язком по положенню.

Тим не менш, аналіз всіх наведених даних нашою думкою, що багато з існуючих рішень носять конкретний характер, орієнтований на суто прикладні аспекти застосування інтелектуальних транспортних систем. Це може означати, що цікаво дослідження питання, присвяченого розвитку теоретичних складових у їх проектуванні. При цьому об'єкти транспортних підприємств можуть розглядатися як елементи складної динамічної системи. Більш того, на перше місце виходить саме завдання обґрунтованого вибору і оптимізації алгоритмів керування ТП і його підсистемами на основі інформаційного критерію складності. Саме цьому сформульована проблема розробки напряму методологічних і теоретичних основ проектування інтелектуальних систем управління складними динамічно-змінними об'єктами на основі системного аналізу і структурної оптимізації ієрархічних рівнів управління з використанням ентропійних оцінок складності, а також запропонований варіант реалізації підходу на основі принципу мінімальної складності при побудові інтелектуальних систем управління транспортними підприємствами, слід вважати перспективним. Конкретну реалізацію цього підходу апробовано для транспортного підприємства КП «Жовтневе трамвайне депо» (м. Харків, Україна), для якого в програмі MatLab було створено спрощену нейронну мережу. Характерною рисою цієї реалізації була можливість вибору програмою рішення із генерованих по критерію мінімальної складності, де основним показником є ефективне використання ресурсів.

7. Висновки

Запропоновано концепції побудови ієрархічних інтелектуальних систем управління складними динамічно-змінними об'єктами транспортних підприємств, що функціонують в умовах суттєвої невизначеності. Серед них можна визначити багаторівневих інтелектуальних систем управління і контролю у складі алгоритмічного забезпечення. При цьому потрібно застосовувати алгоритми управління, засновані на використанні знань, методів навчання, м'яких обчислень, нейронних мереж на основі нечіткої логіки.

Показано, що для оцінки і оптимізації складності проектних рішень на різних рівнях ієрархії ІСУ дина-

мічно-змінними об'єктами перспективними є методи і алгоритми, що реалізують ентропійний підхід та принцип мінімальної складності. Обґрунтовано, що синтез алгоритмів управління виконавчого рівня ІСУ ТП можливий на основі нелінійних регуляторів, нейронних мереж і нечіткої логіки. Розроблено в програмі MatLab спрощену нейронну мережу для транспортного підприємства КП «Жовтневе трамвайне депо». Програма вибирає рішення із генерованих по критерію мінімальної складності, де основним показником є ефективне використання ресурсів.

Данні результати визначають подальший тренд в розвитку створення штучного інтелекту на базі нейронних мереж для управління транспортними підприємствами.

Література

1. Арцыбашев, А. Ю. Диагностирование приводов машин на основе нейронных сетей [Текст] / А. Ю. Арцыбашев, Ю. Р. Никитин // Acta Facultatis forestalis Zvolen. – 2014. – Т. 56, № 1. – С. 201–208.
2. Костин, Н. С. Место модульных нейронных сетей в классификации искусственных нейронных сетей [Текст] / Н. С. Костин // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2013. – № 19. – С. 91–95.
3. Синчук, О. Н. Нейронные сети и управление процессом управления электроснабжением объектов от комбинированных электрических сетей [Текст] / О. Н. Синчук, С. Н. Бойко // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 5. – С. 53–55.
4. Манжула, В. Г. Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных [Текст] / В. Г. Манжула, Д. С. Федяшов // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4. – С. 108–114.
5. Тарков, М. С. Отображение параллельных программ на многоядерных компьютерах с рекуррентными нейронными сетями [Текст] / М. С. Тарков // Прикладная дискретная математика. – 2013. – № 2 (20). – С. 50–58.
6. Колбасин, В. А. Параллельная обработка потока данных искусственными нейронными сетями на платформе CUDA [Текст] / В. А. Колбасин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 3, № 3 (51). – С. 54–57. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1560/1458>
7. Горбачев, С. В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации [Текст] / С. В. Горбачев, В. И. Сырякин. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2014. – 441 с.
8. Семенов, А. М. Интеллектуальные системы [Текст] / А. М. Семенов и др. – Оренбург: ОГУ, 2014. – 236 с.
9. Васильев, А. Н. Нейросетевые методы и алгоритмы математического моделирования [Текст] / А. Н. Васильев, Д. А. Тархов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 581 с.
10. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику [Текст] / У. Р. Эшби; пер. с англ. Д. Г. Лахути. – М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2014. – 432 с.
11. Андрейчиков, А. В. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике [Текст] / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: URSS, 2014. – 304 с.
12. Гуляев, В. А. Техническая диагностика управляющих систем [Текст] / В. А. Гуляев. – К.: Наукова думка, 1993. – 208 с.
13. Денисов, А. А. Теория больших систем управления [Текст] / А. А. Денисов, Д. М. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
14. Комарцова, Л. Г. Пейрокомпьютеры [Текст] / Л. Г. Комарцова, А. В. Максимов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 320 с.
15. Кузовков, П. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства [Текст] / П. Т. Кузовков. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
16. Нейроинформатика, её приложения и анализ данных [Текст]: матер. 22 всерос. семинара / под ред. М. Г. Садовского. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2014. – 195 с.
17. Молчанов, И. Н. Машинные методы решения прикладных задач. Алгебра, приближение функций [Текст] / И. Н. Молчанов. – К.: Наукова думка, 1987. – 288 с.
18. Машкина, И. В. Регулятор переменной структуры частоты вращения ротора газотурбинного двигателя в системе управления реактивным соплом [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. В. Машкина. – Уфа: УАИ, 1989. – 21 с.
19. Мелса, Д. Программы в помощь изучающим теорию линейных систем управления [Текст] / Д. Мелса, С. Джонс. – М.: Машиностроение, 1981. – 199 с.
20. Нетерсон, Д. Теория сетей Нетри и моделирование систем : пер. с англ [Текст] / Д. Нетерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
21. Gregor, D. A methodology for structured ontology construction applied to intelligent transportation systems [Text] / D. Gregor, S. Toral, T. Ariza, F. Barrero, R. Gregor, J. Rodas, M. Arzamendia // Computer Standards & Interfaces. – 2015. doi: 10.1016/j.csi.2015.10.002
22. Larue, G. S. Assessing driver acceptance of Intelligent Transport Systems in the context of railway level crossings [Text] / G. S. Larue, A. Rakotonirainy, N. L. Haworth, M. Darvell // Transportation Research. Part F: Traffic Psychology and Behaviour. – 2015. – Vol. 30. – P. 1–13. doi: 10.1016/j.trf.2015.02.003

23. Satunin, S. A multi-agent approach to Intelligent Transportation Systems modeling with combinatorial auctions [Text] / S. Satunin, E. Babkin // Expert Systems with Applications. – 2014. – Vol. 41, Issue 15. – P. 6622–6633. doi: 10.1016/j.eswa.2014.05.015
24. Demin, D. A. Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath [Text] / D. A. Demin // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2012. – Vol. 6. – P. 52–58.
25. Mendes, J. An architecture for adaptive fuzzy control in industrial environments [Text] / J. Mendes, R. Araújo, P. Sousa, F. Apóstolo, L. Alves // Computers in Industry. – 2011. – Vol. 62, Issue 3. – P. 364–373. doi: 10.1016/j.compind.2010.11.001
26. Wai, R.-J. Observer-based adaptive fuzzy-neural-network control for hybrid maglev transportation system [Text] / R.-J. Wai, M.-W. Chen, J.-X. Yao // Neurocomputing. – 2015. – Vol. 175. – P. 10–24. doi: 10.1016/j.neucom.2015.10.006

У даній роботі пропонується інформаційна технологія обробки аномальних вимірювань наборів сигналів у процесах, що протікають в умовах невизначеності. Для рішення цієї задачі ставиться сукупність необхідних проблем, які в цілому дозволяють збільшити точність вимірювань сигналів. Здійснена розробка математичного апарату, заснованого на теорії нечітких часових рядів і нечітких ситуацій, який вирішує завдання пошуку та усунення аномалій в наборі поточних сигналів

Ключові слова: лінгвістична змінна, нечіткі часові ряди, нечіткі ситуації, ступінь порівняння нечітких ситуацій

В данной работе предлагается информационная технология обработки аномальных измерений наборов сигналов в процессах, протекающих в условиях неопределенности. Для решения этой задачи ставится совокупность необходимых проблем, которые в целом позволяют увеличить точность измерений сигналов. Осуществлена разработка математического аппарата, основанного на теории нечетких временных рядов и нечетких ситуаций, который решает задачи поиска и устранения аномалий в наборе текущих сигналов

Ключевые слова: лингвистическая переменная, нечеткие временные ряды, нечеткие ситуации, степень сравнения нечетких ситуаций

УДК: 004.89
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56815

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н. Б. Копытчук

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: knb47@mail.ru

П. М. Тишин

Кандидат физико-математических наук, доцент*

E-mail: tik88@mail.ru

И. Н. Копытчук

Старший преподаватель*

E-mail: igor.kopytchuk@gmail.com

*Кафедра компьютерных интеллектуальных систем и сетей

Одесский национальный политехнический университет
пр. Шевченко, 1а, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

В настоящее время получили широкое развитие методы, основанные на теории нечетких множеств [1]. В отличие от вероятностных методов, где для описания процессов необходимо обработать некоторый объем статистических данных, методы, основанные на теории нечетких множеств, позволяют описывать процессы качественно, не прибегая к статистическим данным, а используя знания эксперта. При этом для применения теории множеств на практике разработаны подходы построения нечетких гибридных сетей [2] и нечетких баз знаний [3], которые формализуют нечеткие знания о конкретной предметной области.

С другой стороны, интерес для практики представляют работы, в которых теория нечетких множеств применяется для решения задач, возникающих при обработке временных рядов (ВР). Данный вопрос привел к появлению новых областей знаний, таких как нечеткие временные ряды и гранулированные вычисления. При этом для таких стандартных задач обработки ВР как прогнозирование значений временного ряда и поиск аномалий во временных рядах, можно с успехом разрабатывать подходы, основанные на применении теории нечетких множеств. Однако работы, в которых подходы, основанные на теории нечетких множеств, при обработке временных рядов недостаточно используются при разработке новых практически реализованных информационных технологиях.