

ІНТЕРВАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ЛІНГВІСТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Анотація. В статті розглянуті питання побудови розбиття множини значень часового ряду на інтервали для побудови лінгвістичних моделей.

Ключові слова: лінгвістичне моделювання, інтервальна математика, інтервальний підхід, лінгвістизація.

Вступ

Процес побудови лінгвістичних моделей в тому числі включає застосування інтервального підходу для розбиття множини значень часового ряду. Для формування розбиття пропонується використання елементів інтервальної математики.

Постановка проблеми

Перетворення чисельних образів до символного вигляду, який можна використовувати для вирішення певного кола складних задач, й є основною метою лінгвістичного моделювання.

Лінгвістичне моделювання — комплекс методів, методик та алгоритмів, які використовують процес перетворення числових масивів інформації до лінгвістичних послідовностей, на основі яких відновлюється формальна граматика.

Лінгвістична модель — побудована на основі лінгвістичного моделювання сукупність символних (лінгвістичних) послідовностей за обраними параметрами лінгвістизації та відновлена на її основі формальна граматика.

Лінгвістичне моделювання треба розглядати як специфічний вид математичного моделювання для обробки даних у символному (не чисельному) вигляді [1].

Головна ідея переходу від множини чисельних значень до певного символного алфавіту є розбиття цієї множини на чисельні інтервали.

Аналіз досліджень і публікацій

Першим науковцем, який звернувся до інтервальних обчислень прийнято вважати Архімеда, що використовував двосторонні наближення для обчислення числа «пі» [2].

Інтервальний підхід пов'язаний з основами інтервальної математики, перші принципи обчислення двосторонніх границь були викладені в роботах Сунаге Г. та Канторовича Л.В. [3,4].

Мета роботи

Метою даної статті є розгляд інтервального підходу для розбиття множини чисельних даних часового ряду у межах підготовки до відображення чисельних даних до певного символічного алфавіту. Такий процес надалі будемо називати інтервалізацією.

Деякі елементи формалізації інтервального підходу

Зрозуміло, що при найпростішій схемі лінгвістизації потужність відповідної абетки повинен бути не набагато меншою, ніж сама послідовність часового ряду.

Нехай X та Y - дві частково впорядкованих множини. Позначимо через $B(X)$ та $B(Y)$ множини усіх підмножин множин X та Y .

Множина, на якій задано відношення порядку, має назву впорядкованої, якщо відношення порядку визначено для будь-яких двох його елементів, а частково впорядкованою у протилежному випадку.

Частково впорядкована множина називається структурою, якщо будь яка її двоелементна підмножина має точну верхню та нижню межу, а повною структурою, якщо кожна її непуста підмножина має такі точні межі.

Кожну з множин X та Y будемо вважати умовно повними структурами та позначати $S(X)$ та $S(Y)$. Відношення порядку будемо позначати через $\leq$.

Якщо $a, b \in S(X)$ та $a \leq b$, то множину $I(a, b) = [a, b] = \{x \in X, a \leq x \leq b\}$, будемо називати інтервалом на $S(X)$. Множину усіх інтервалів на структурі $S(X)$ будемо позначати $\mathcal{I}_{S(X)}$. При цьому, якщо $X = \mathbb{R}^1$ – множина дійсних чисел, то $\mathcal{I}_{\mathbb{R}^1}$ – множина закритих

інтервалів на прямій дійсних чисел. В такому випадку $\mathcal{I}_{\mathbb{R}^1}$ називають інтервальним числом.

З основ інтервальної математики нам відомі співвідношення $X \subseteq \mathcal{I}_{\mathcal{S}(X)} \subseteq \mathcal{B}(X)$ та $Y \subseteq \mathcal{I}_{\mathcal{S}(Y)} \subseteq \mathcal{B}(Y)$.

Якщо підмножина $A \subseteq X$ - обмежена, то інтервал $I(A)$, який визначається за правилом $I(A) = [\inf_{\mathcal{S}(X)} A, \sup_{\mathcal{S}(X)} A]$, будемо називати поданням зовнішнього інтервалу множини A .

Якщо наша множина X утворює поле, то в $\mathcal{I}_{\mathcal{S}(X)}$ можна ввести інтервальні арифметику:

$[a, b] * [c, d] = \{x * y | a \leq x \leq b, c \leq y \leq d\}$, де $* \in \{+, -, \times, :\}$. Для кожної з приведених операцій маємо наступні співвідношення:

$$[a, b] + [c, d] = [a + c, b + d],$$

$$[a, b] - [c, d] = [a - c, b - d],$$

$$[a, b] \times [c, d] = [\min(a \times c, a \times d, b \times c, b \times d), \max(a \times c, a \times d, b \times c, b \times d)]$$

$$[a, b] : [c, d] = [a, b] \times \left[\frac{1}{d}, \frac{1}{c}\right], 0 \notin [c, d].$$

Крім цих операцій для вирішення наших задач буде мати зиск операція «конкатенація», яка визначається для суміжних інтервалів. Суміжними інтервалами будемо називати інтервали вигляду

$$[a, b], [c, d] \subseteq X, b = c, a < b, c < d.$$

Операцією конкатенації двох суміжних інтервалів будемо називати інтервал

$$[a, b] \oplus [c, d] = [a, d] \{x | a \leq x \leq b \vee c \leq x \leq d\}, a < d, b = c.$$

На множині усіх інтервалів також можна ввести відношення порядку та відношення тотожності. Якщо маємо інтервали $I[a, b]$ та $I[c, d]$, то між ними є відношення порядку $I[a, b] < I[c, d]$, якщо $b \leq c$. Інтервали $I[a, b]$ та $I[c, d]$ будуть тотожними $I[a, b] = I[c, d]$, якщо $a = c, b = d$.

Нехай $X = \{x_i | x_i \geq 0, x_i \leq m\}_{i=1, \dots, M}$, $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_M$.

Потужність цієї множини $\dim\{X\} = M$. Назвемо інтервалізацією рівня n множини X представлення у вигляді $X = \bigcup_{i=1}^n I[a_i, b_i]$, де $I[a_1, b_1] < I[a_2, b_2] < \dots < I[a_n, b_n]$, при цьому

$$\dim\{X\} = \sum_{i=1}^n \dim\{I[a_i, b_i]\}.$$

Нагадаємо деякі співвідношення, які вводять для інтервалів [4].

Шириною інтервалу $I[a_i, b_i]$ будемо називати величину $\omega(a_i, b_i) = b_i - a_i$.

Серединою інтервалу $I[a_i, b_i]$ є полусума меж інтервалу $m(a_i, b_i) = \frac{b_i - a_i}{2}$. Медіана інтервалу розраховується за формулою $med(a_i, b_i) = a_i + m(a_i, b_i)$.

Абсолютна величина інтервалу $I[a_i, b_i]$ знаходиться за відношенням

$$|I[a, b]| = \max\{|a_i|, |b_i|\}.$$

Крім того, $\mu(I[a, b]) = \min\{|a_i|, |b_i|\}$, $\sigma(I[a, b]) = \frac{|a_i| + |b_i|}{2}$.

Відстанню між інтервалами $I[a_i, b_i]$ та $I[a_j, b_j]$ називається величина

$$\rho(I[a_i, b_i], I[a_j, b_j]) = \max\{|a_i - a_j|, |b_i - b_j|\}.$$

Виродженим інтервалом будемо називати інтервал із співпадаючими верхньою та нижньою межами, який за традицією обоюдно з дійсним числом.

Повертаючись до процедури інтервалізації, зауважимо, що в основному ми будемо розглядати інтервали, які не є виродженими. При цьому у найпростішому методу лінгвістизації можна було б звести усе до того, що усі значення часового ряду (або його різниць) є виродженими інтервалами та інших інтервалів немає.

Нас будуть цікавити певні випадки, які відображують наступні типи інтервалізації:

- коли інтервали рівнозначні;

- логарифмічні інтервали;
- коли інтервали рівно ймовірнісні;
- інтервали за певним розподілом ймовірностей (нормальним, бета-розподілом, Пуасона, Дирихле та ін.).

При рівнозначній інтервалізації N -того рівня множини X маємо:

$$\omega(a_1, b_1) = \omega(a_2, b_2) = \dots = \omega(a_N, b_N).$$

При рівноймовірній (або рівночастотній) інтервалізації маємо

$$\dim\{I[a_1, b_1]\} = \dim\{I[a_2, b_2]\} = \dots = \dim\{I[a_i, b_i]\} = \dots = \dim\{I[a_N, b_N]\}$$

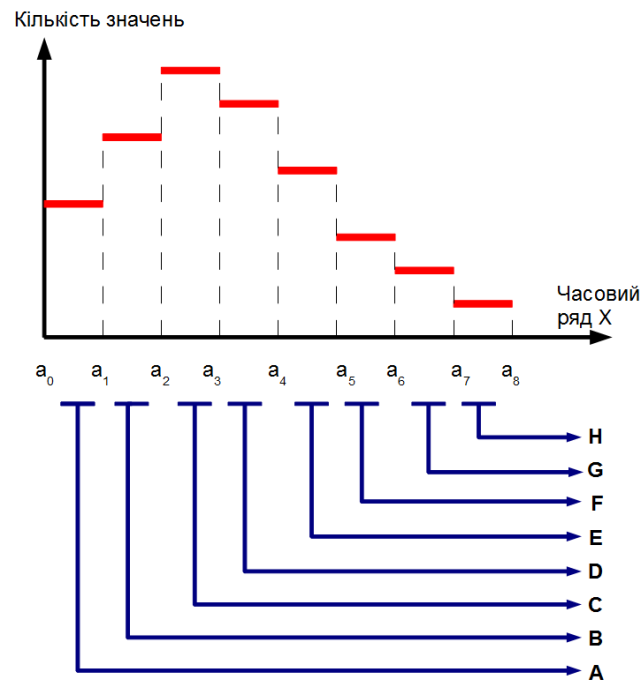


Рисунок 1 - Схема перетворення чисельних даних до символічного вигляду

На рисунку 1 представлена умовна схема лінгвістизації при рівнозначній інтервалізації. Інтервалізація дає множину інтервалів $I[a_0, a_1], I[a_1, a_2], \dots, I[a_7, a_8]$. За віссю абсцис розташовані впорядковані значення часового ряду та інтервали. За віссю ординат ранжується кількість значень часового ряду, що потрапили до відповідного інтервалу. Кількість елементів, які потрапляють до певного інтервалу (значення часового ряду можуть повторюватися) будемо позначати через $D\{I[a_i, a_{i+1}]\}$. Кількість інтервалів – $M < N$. Легко бачити, що сума

$$\sum_{i=0}^{M-1} D\{I[a_i, a_{i+1}]\} = N.$$

Тепер ми можемо ввести поняття частотності інтервалу $I[a_i, a_{i+1}]$ на часовому ряду потужності N :

$$v_{i,i+1} = v[a_i, a_{i+1}] = \frac{Df[I[a_i, a_{i+1}]]}{N}.$$

Легко довести, що $\sum_{i=0}^{M-1} v_{i,i+1} = 1$, а враховуючи, що для усіх i $v_{i,i+1} > 0$ будемо мати аналогію аксіоматики теорії ймовірностей.

Зауважимо, що для рівноймовірнісного випадку будемо мати

$$v_{0,1} = v_{1,2} = \dots = v_{i,i+1} = \dots = v_{M-1,M} = \frac{1}{M}.$$

Висновки

Були розглянуті більш докладніше класичні методи в переломлюванні до маніпулювання інтервалами. Стаття буде присвячена заповненнями з сучасних досягнень математичної статистики інтервальних даних, тобто коли статистичні дані не числа, а інтервали, як у нашому випадку інтервалізації часових рядів.

Тут маємо найпростіший підхід щодо моделі групування даних, згідно якої деяке значення x замінюється на найближче з множини I . Але виникає проблема у тому випадку, коли відстані від x до двох найближчих елементів множини I десь рівні, то природним було би ввести рандомізацію при виборі заміною чого числа.

Таким чином ми звернулися до того випадку, коли наші дані замінюються інтервалами, де працює інтервальна математика, про арифметичні операції якої було докладно викладено у статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баклан И.В. Лингвистическое моделирование: основы, методы, некоторые прикладные аспекты // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.10 — 19.
2. Moore R.E. Interval analysis. – Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1966.
3. Sunaga T. Theory of an interval algebra and its application to numerical analysis // RAAG Memoirs. – 1958. – Vol. 2, Misc. II. – P. 547-564.
4. Канторович Л.В. О некоторых новых подходах к вычислительным методам и обработке наблюдений // Сибирский Математический Журнал. – 1962. – Т. 3, No. 5. – С. 701-709.

УДК 669.162.2:669.162.275.2:681.3.008.6

Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, А.Ю. Гринько, А.Ю. Степаненко

**АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ШЛАКОВЫМ
РЕЖИМОМ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ**

Аннотация. Изложены функциональные возможности и особенности развития алгоритмических и программных средств системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки «Шлак». Особое внимание уделено программной архитектуре системы и проблемам, возникающим при ее дальнейшей разработке и внедрении. Описан системный подход к модернизации системы на основе шаблона «Слои», что позволяет повысить гибкость, открытость, удобство сопровождения и скорость расширения приложений программной разработки.

Ключевые слова: архитектура программного продукта, шаблон проектирования программного обеспечения, чугуны, шлак.

Актуальность. Metallургическая промышленность является одной из важнейших базовых отраслей отечественной экономики, и в тоже время, наиболее ресурсоемкой и энергозатратной. Одним из эффективных направлений снижения энергоресурсозатрат является мотивированный и обоснованный выбор оперативно-технологическим персоналом режимов работы металлургических агрегатов, обеспечивающих требуемые значения показателей по: загрязнению окружающей среды, расходу материалов и ресурсов, износу оборудования.

Создание информационных технологий и компьютерных систем, охватывающих новейшие достижения науки и техники, а также аккумулирующих знания ведущих специалистов (экспертов) конкретных задач отрасли, является одной из стратегических задач экономического развития металлургической промышленности.

Постановка задачи. В работе предлагается развитие алгоритмических и программных средств системы контроля и управления шлаковым режимом «Шлак».

Изложение материала. Система «Шлак» создана на базе фундаментальных разработок в области физико-химического моделирова-

ния расплавов и технологических приемов ведения плавки в доменных цехах с целью обеспечения технологов инструментальными средствами для выбора оптимального шлакового режима доменной плавки в нестабильных сырьевых условиях для получения кондиционного чугуна с минимальными энергетическими и сырьевыми затратами [1,2].

Система базируется на принципиально новом подходе к стабилизации шлакового режима и критериев управления, учитывающих механизм формирования процессов шлакообразования в зависимости от интегральных параметров, характеризующих свойства шихтовых материалов с учетом их полного химического состава, а также дутьевого режима, характеризующего состояние фурменной зоны.

Система обеспечивает (рис.1):

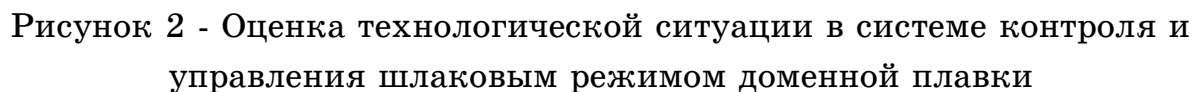
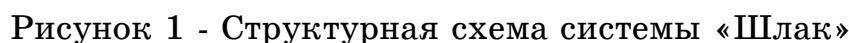
- выбор базового шлакового режима, обеспечивающего выплавку чугуна заданного качества, по разработанному способу ведения доменной плавки, в соответствии с которым основность конечного шлака CaO/SiO_2 устанавливается в зависимости от соотношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$;

- контроль качества чугуна и шлакового режима доменной плавки по комплексу физико-химических и технологических свойств шлака (серопоглотительной способности, вязкости, температур начала и конца кристаллизации; энтальпии (теплоемкости) при температуре хорошей текучести, поверхностного натяжения) в ретроспективе и для указанного выпуска (подсистема «Контроль»);

- оценку кристаллизационной способности расплавов и расчет нормативного минералогического состава шлака с целью направленного минералообразования шлаков, обеспечивающего снижение содержания серы и кремния в чугуне и уменьшение расхода кокса;

- контроль теплового состояния горна по комплексным показателям дутьевого режима (теоретическая температура горения, глубина проникновения дутья по оси фурменной зоны, энтальпии шлака, содержания кремния и углерода в чугуне);

- выбор рационального состава шихты на этапе формирования загрузки на основе прогнозирования состава и свойств чугуна и шлака по показателям шихты и дутьевого режима, оценка технологической ситуации и выдача управляющих рекомендаций (рис.2) (подсистемы «Прогноз» и «Диагностика»);



11

ной логики относится к 2001 году – выбор данной среды разработки представляется совершенно логичным. Данная интегрированная среда разработки предоставляет разнообразные инструменты для упрощения конструирования графического интерфейса пользователя, что на протяжении многих лет позволяло быстро модернизировать и видоизменять систему «Шлак» под конкретные нужды различных комбинатов, требования заказчиков (технологов на печах, инженеров лабораторий, научных сотрудников и т.д.), в соответствии с новыми полученными знаниями и т.д. Недостатком разработки системы «Шлак» в среде Delphi является то, что на одной форме находятся и компоненты, отвечающие за работу с базой данных, и визуальные компоненты, а логика находится прямо в обработчиках событий кнопок. Такая организация программного кода сложилась также и в результате классических представлений об архитектуре программного обеспечения на время начала разработки продукта. Таким образом, что в одном из многочисленных модулей системы «Шлак» оказались смешаны различные функции: и код SQL-запросов, и элементы интерфейса пользователя, и элементы логики (рис. 3).

Такой подход удобен для разработки небольших приложений, реализующих одномоментные расчеты, несложные статические алгоритмы. Несмотря на кажущуюся быстроту реализации простых задач, такой подход не может являться надежной основой для разработки крупного и даже среднего проекта. В ходе модернизации программной архитектуры системы «Шлак» нами был реализован подход, который описывается шаблоном проектирования «Слой» [3]. Идея шаблона проектирования «Слой» формулируется следующим образом: необходимо разделить приложение на слои согласно выполняемым им функциям, и поместить эти слои один над другим, так, чтобы функции, выполняемые внутри слоев, могли взаимодействовать только с функциями того же слоя и нижнего слоя. При этом клиент взаимодействует только с самым верхним уровнем. Для приложений, подобных системе «Шлак», общий вид слоев, на которые обычно разбивается приложение, представлен на рисунке 4.



Рисунок 3 – Условная схема модуля приложения

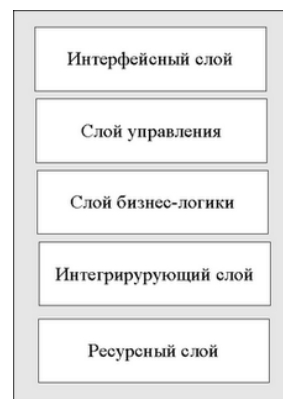


Рисунок 4 – Обобщенное представление приложения согласно шаблону проектирования «Слои»

Реализация данного шаблона в качестве архитектуры программного кода системы «Шлак» позволило нам сделать ее более гибкой – т.е. в короткий срок с минимальными трудозатратами на процесс написания программного кода реагировать на получение новых знаний, расширяющих функциональность нашего программного продукта.

Так, например, в части алгоритмических средств система «Шлак» была усилена расчетом нормативного минералогического состава шлака с целью направленного минералообразования шлаков, обеспечивающего снижение содержания серы и кремния в чугунах и уменьшение расхода кокса. Функционал контроллера, обеспечивающего данный алгоритм применительно к соответствующему объекту реализован, естественно, в слое бизнес-логики. И отображение информации в пользовательском интерфейсе благодаря расслоению приложения не вызывает проблем (рис. 5).

» Графики свойств		
» Таблица свойств		
Свойства шлага Минералогические свойства		
№ п/п	Наименование	
1	Олигит (CaS) 2400°C	2.33
2	Троилит (FeS) 1190°C	0.21
3	Альбандин (MnS) 1610°C	0.13
4	Альбандин (MgS) 2500°C	0.20
5	Фаялит (2FeOSiO ₂) 1208°C	0.44
6	Теофрит (2MnOSiO ₂) 1345°C	0.29
7	Волластонит (CaOSiO ₂) 1544°C	19.45
8	Ларнит (CaOSiO ₂) 2130°C	15.19
9	Геленит (2CaOAl ₂ O ₃ SiO ₂) 1590°C	22.35
10	Ожернянит (2CaOMgO ₂ SiO ₂) 1454°C	39.41
11	Мелилит 1403°C	61.76
» Динамика		

Рисунок 5 - Отображение информации о минералогических свойствах шлага в системе «Шлак»

Выводы. Описанное развитие программных средств системы «Шлак» позволило нам сделать ее более гибкой – т.е. в короткий срок с минимальными трудозатратами на процесс написания программного кода реагировать на получение новых знаний, расширяющих функциональность нашего программного продукта. Как результат – разработчики системы «Шлак» имеют возможность более быстрого реагирования на требования и пожелания пользователей системы, а сама системы становится прозрачной и управляемой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тогобицкая Д.Н. Автоматизированная система контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки / Д.Н. Тогобицкая, П.И. Оторвин, А.И. Белькова, А.Ю. Гринько // *Металлург.* – Москва. - 2004. – №4. – С.43-46.
 2. Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., Хамхотко А.Ф., Степаненко Д.А. Опыт создания и внедрения системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки в шихтовых и технологических условиях заводов Украины / Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, А.Ф. Хамхотко, Д. А. Степаненко // *Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии».* – Днепропетровск – 2009. – Вып.19. – С. 100–112.
 3. Мартин Фаулер. Архитектура корпоративных программных приложений / Фаулер Мартин. Издательский дом "Вильямс", 2006. – 404С.
- Джимми Нильсон. Применение DDD и шаблонов проектирования: проблемно-ориентированное проектирование приложений с примерами на C# и .NET / Джимми Нильсон. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 560С.

Н.Л. Дорош, Ю.О.Храпач

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ АНАЛІЗУ І ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. Представлені результати розробки програмного засобу для обробки зображень у системі MatLab. У програмному засобі використовується ієрархічне представлення результатів обробки RGB - зображень, можлива окрема обробка R, G, B-шару і збірка їх в повнокольорове RGB-зображення. Зберігається історія обробки.

Ключові слова: цифрове зображення, bmp-формат, інвертування, контрастування, вимірювання лінійних розмірів виділених елементів, візуалізація зображень у вигляді дерева, послідовна обробка, збереження проміжкових зображень.

Постановка проблеми. При обробці зображень виникає необхідність опробування багатьох методів [1]. Досліднику треба проводити послідовну обробку різними методами. При цьому необхідно зберігати велику кількість файлів графічного формату, серед яких є і такі, які потребують подальшого аналізу і обробки. Для зручності роботи з зображеннями доцільно мати такий програмний засіб, який би дозволяв не тільки проводити аналіз зображень, а був би зручним при виборі їх, у тому числі і таких, які вже частково оброблені.

Програмний засіб, який запропоновано, є покращеною версією інформаційної системи [2] і може бути використаний не тільки для обробки ангиографічних зображень, а і для будь-яких зображень, які представлені у bmp-форматі.

Аналіз останніх досліджень. Як відомо, для обробки зображень зручно використовувати інструмент “Image” системи MatLab. За допомогою функцій інструменту “Image” можна виконати фільтрацію, сегментацію і інші засоби обробки зображень [1]. З огляду літератури зрозуміло, що методи обробки зображень достатньо відомі і використовуються у різних напрямках.

Формулювання цілей статті. Ціллю роботи було створення зручного програмного засобу, за допомогою якого можна буде проводити аналіз зображень, а також наочно проводити вибір зображення, або фрагмент його після часткової обробки для подальшої обробки.

Основна частина. Об'єктом досліджень є будь-яке зображення, яке представлено у форматі bmp-файлу. Для проведення аналізу необхідно завантажити bmp-файл. На рисунку 1 наведено вид екрану після завантаження кольорового зображення. У лівій частині показано дерево для завантаження одного з R, G, B-шарів. Таким чином, особливістю програмного засобу є можливість роботи з цілим зображенням, а також з одним з R,G,B-шарів (кожний шар можна використовувати окремо).

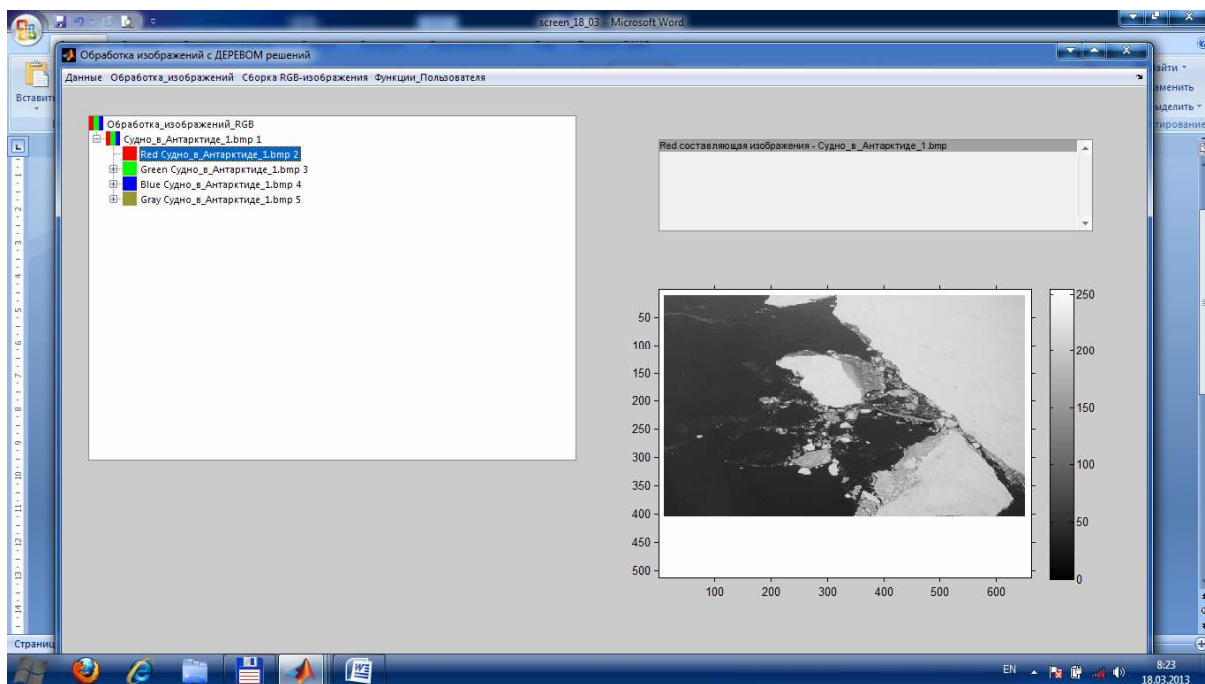


Рисунок 1 - Вид екрану після завантаження зображення

Для кожного шару можливо виконати команди обробки меню «Обработка изображений». На рисунку 2 наведено вид екрану прикладу виконання команди «Инвертировать изображение» для шару «Red».

Зображення, яке отримано в результаті інвертування, можна зберегти в дереві і використовувати для проведення подальшої

обработки. Наприклад, до нього можна застосувати функцію контрастування.

На рисунку 3 показано вигляд екрана після застосування функції контрастування з певним значенням коефіцієнта гамма.

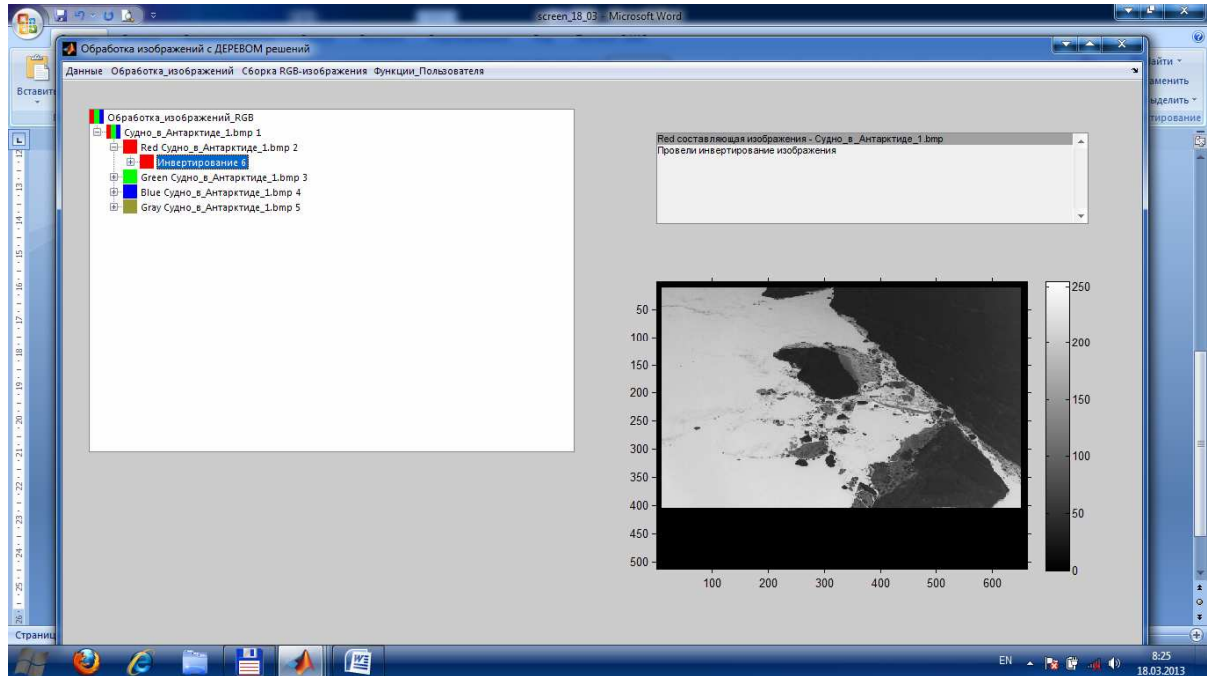


Рисунок 2 - Вид экрана після виконання функції інвертування

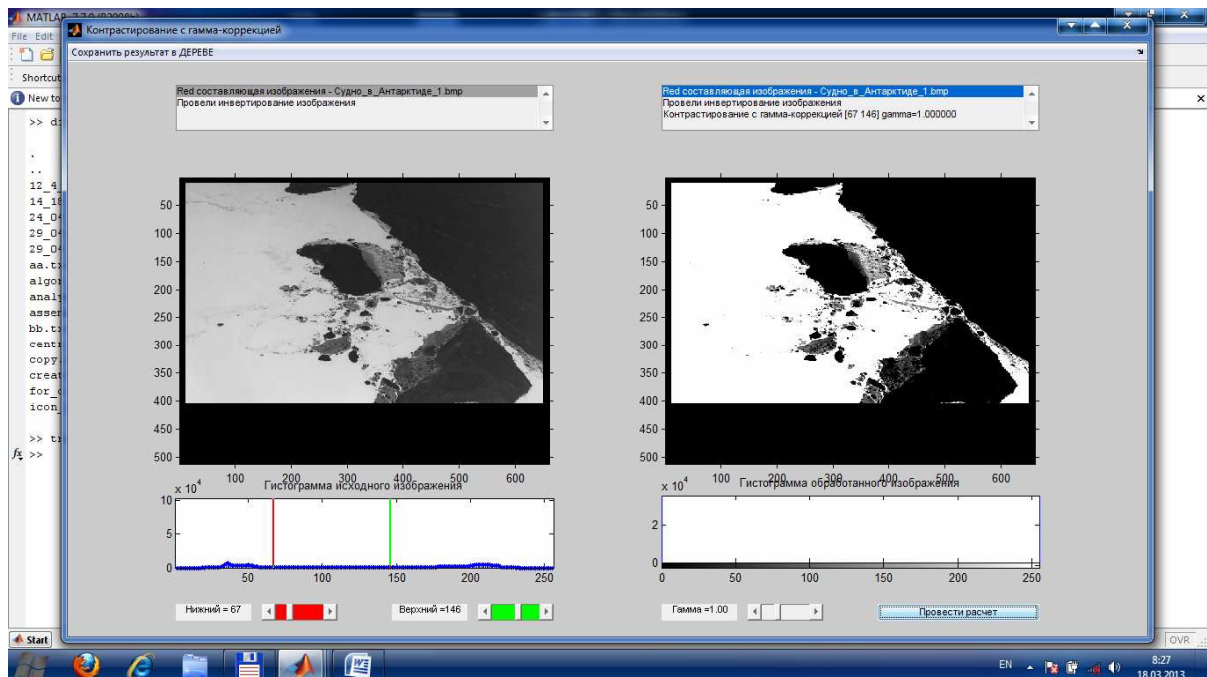


Рисунок 3 - Вид экрана після виконання функції контрастування

Після обробки кожного з R, G, B-шарів можна зібрати їх в одне зображення і зберегти в дереві. На рисунку 4 показаний вигляд екрана з новим (обробленим) зображенням.

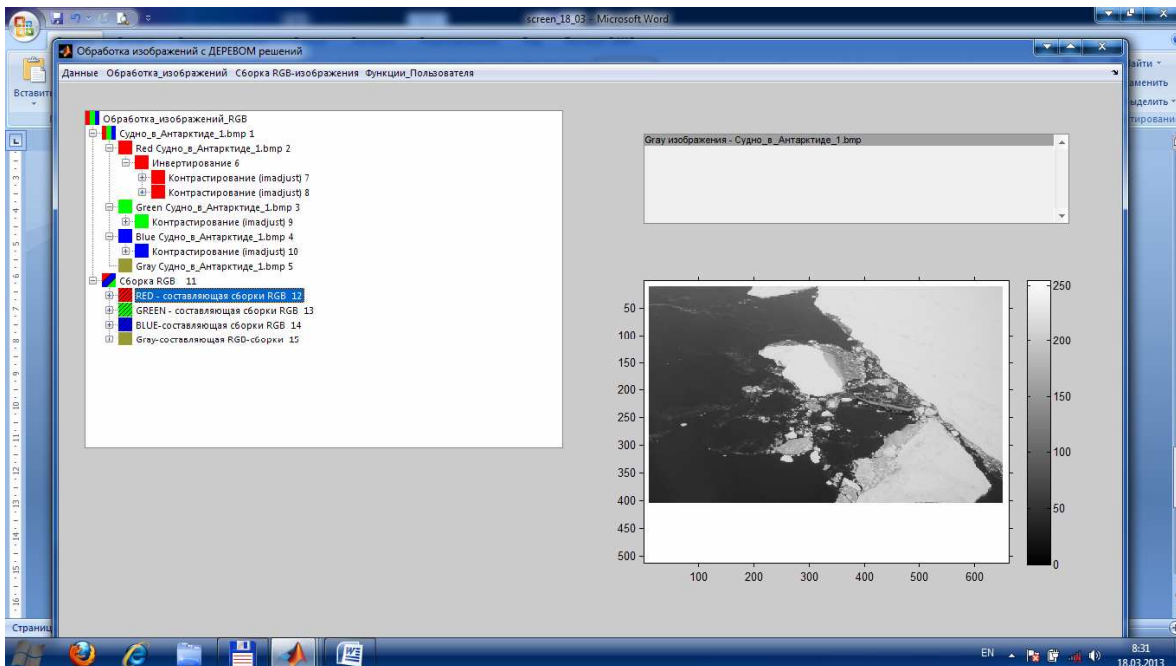


Рисунок 4 - Демонстрація зборки R, G, B-шарів в нове зображення

Висновки. Розроблено програмний засіб для аналізу цифрових кольорових зображень, які представлені у bmp-файлі. Програмний засіб дозволяє провести обробку зображення наступними засобами: інвертувати зображення, виконати гамма-корекцію, визначити лінійні розміри ділянки, створити з RGB-зображення напівтонові складові, провести збірку RGB-зображення і отримати нове зображення. При цьому будь-який з проміжних результатів може бути збережений і наочно представлений у вигляді дерева. При розробці програмного засобу було використано недокументовані функції MatLab [3].

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. – М.: Техносфера, - 2006г. – 616с.
- 2 Дорош Н. Л., Храпач Ю. А. Программное средство для распознавания цифр на изображениях// Материалы международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта» (ISDMCI'2012). – Херсон: ХНТУ, 2012. – С. 353-355.
- 3 <http://undocumentedmatlab.com>

Т.Н. Дубовик, В.А. Семёнов

К ВОПРОСУ ОБ АДАПТАЦИИ И НАСТРОЙКЕ МОДЕЛЕЙ ОБУЧЕНИЯ

Анотація. Запропонована стаття присвячена вирішенню актуальної задачі: підвищення якості освіти шляхом розробки навчального середовища з використанням навчальних тренажерів. Адаптація навчального матеріалу дозволяє обґрунтувати обидва основні режими роботи комп'ютерного тренажера — контролюючий і навчальний. В якості нового навчального елемента розглянута особливість колективної роботи учнів з використанням технологій інтернет-форумів. Розглянуто необхідність налаштування різних моделей учнів — учасників форумів.

Ключові слова: комп'ютерний тренажер, ергатична система, система ситуаційних задач, візуалізація вивчаємих об'єктів та процесів, дидактичні принципи, системний підхід.

Введение. При разработке моделей, используемых в процессе построения компьютерных тренажеров, должны быть учтены и использованы различные аспекты, определяющие качество и особенности обучения, характеристики модели обучаемого, особенности изучаемого материала, способ и темп его подачи, наборы тестов для определения параметров модели обучаемого, дидактические принципы, которые положены в обоснование применения компьютерных тренажеров как элемента поддержки обучения.

Основная часть. Составной частью является модель знаний и умений в изучаемой предметной области. Она является фундаментом цепочки "модель учащегося — система воздействий (упражнений) — реализация в компьютерном тренажере". В процессе настройки параметров тренажера необходимо учесть психолого-педагогическую мотивацию использования методов компьютерной поддержки обучения. Последняя определяется на основе психолого-педагогического для оценки уровня мотивации применения компьютерной технологии.

При настройке моделей естественным образом должны учитываться различные структурные компоненты модели, которые связы-

вают в единый понятийный комплекс такие элементы как: основные понятия, структурные элементы; связи, обеспечивающие объективизацию других понятий; элементарные модели деятельности обучающегося; обобщенные понятия на основе системы умственных и практических действий; необходимый комплекс алгоритмов различного назначения. Очевидно, что алгоритм реализуется в системе ситуационных задач как одноходовых, так и многоходовых. Применение таких подходов соответствует применению принципа учета дидактической сложности учебного материала.

Поэтому, следует считать основными условиями обучения формирование системных знаний и умений обучаемых на основе настроек структурной модели учебных предметов с ведущей единицей содержания — "системой понятий". Сюда относятся: включение в содержание учебного материала и в процесс обучения в качестве объекта и средства усвоения, — структурную модель учебного материала; поэтапные настройки для раскрытия образовательной сути структурной модели в процессе обучения на основе системы задач: организация, на основе адаптированной системы задач и модели, самостоятельной учебно-познавательной деятельности обучаемых, направленное на приведение материала к системному виду; самостоятельное построение учащимися структурных моделей основных понятий и их систем по аналогии со структурной моделью учебного материала.

В качестве нового учебного элемента следует рассмотреть особенности коллективной работы учащихся с использованием технологий интернет-форумов. Очевидно, в этой компоненте модели обучения возникает необходимость настройки различных моделей обучаемых — участников форумов. В этой связи возникает также необходимость изучения влияния характеристик психологической совместимости участников процесса группового освоения учебного материала. Этот элемент требует отдельной постановки задачи исследования для оценки эффекта применения такой учебной технологии, которая, по-видимому, в значительной мере будет содержать и креативную составляющую.

Очевидно, что такой подход отражает структурную организацию деятельности специалиста в модели учебного материала. Принцип учета дидактической сложности является вспомогательным, т.к. полностью определяется вышеописанными принципами. Однако, он

требует введение некоторых понятий и определений, т.к. его применение к системам конкретных задач в образовании может оказаться весьма специфичным. Это относится как к теоретическим знаниям, так и практической деятельности инженера.

В основе любой учебной дисциплины, как науки, лежит система понятий, которые определяют целесообразную модель учебного предмета. В основе деятельности инженера лежит необходимость решения профессиональных задач, которая требует проявления всех профессиональных умений, знаний и навыков. Система задач и модель учебного материала отражают все эти знания и умения. На основании всего вышесказанного можно предложить следующую классификацию ситуационных задач (по функциональному признаку).

Элементарная задача направлена на закрепление, проверку, самостоятельную деятельность обучаемого в рамках одного понятия. Для ее решения может потребоваться не одно действие, а система действий, но результат будет относиться только к одному понятию, умению.

Сложная задача — комплексная задача, которая в общем случае включает в себя элементарные ситуационные задачи по различным темам. Эти ситуационные задачи объединяются по принципу комплементарности состояния.

При настройке моделей следует иметь в виду, что схема учета дидактической сложности может быть представлена сбалансированной матрицей, состоящей из необходимых доз теоретических знаний, системы элементарных ситуационных задач, направленных на закрепление умений, навыков, и сложной задачи, которая интегрирует элементарные (схема "ромашки").

Предлагаемая схема имеет следующие особенности. Во-первых, она отражает алгоритмы деятельности инженера в категории действий, навыков, умений, знаний. Элементарные знания, умения, навыки составляют инвариантный концепт темы и определяют ее облик. Поэтому система ситуационных задач отражает на начальном уровне все необходимые знания, умения, навыки, но требует начальной настройки с учетом параметров модели обучаемого. Во-вторых, возможно рассмотрение задач по "горизонтали" и "вертикали". Горизонтальное изменение состава задач проходит по пути углубления и закреп-

ления определенного модуля знаний, а вертикаль обеспечивает охват всех модулей, составляющих концепт темы.

При таком подходе теоретическая доза учебного материала охватывает горизонталь и должна удовлетворять следующим критериям: адаптацию параметров модели конкретного учащегося, самодостаточности, учета связей, поддержки "горизонтالي" системы задач. "Вертикаль" теоретических доз составляет предметную область темы. Таким образом, линейная структура теоретических доз учебного материала в скрытом виде обеспечивает и горизонтальную, и вертикальную составляющие.

Адаптация учебного материала позволяет обосновать оба основных режима работы компьютерного тренажера — контролирующий и обучающий. Применение контролирующего режима не вызывает вопросов, т.к. принципиально ничего нового в его применении нет. При обучающем режиме применение структурной модели позволяет построить сценарий обучения, опираясь на "задачный подход", модифицированный учетом достигнутого уровня знаний и физиологических параметров. В этом случае генеральное перемещение по системе задач с целью контроля осуществляется по вертикали, переход на следующую "линию" задач возможен только при успешном прохождении в предыдущей. При ошибочном ответе в пределах горизонтали обучаемому предлагается соответствующая вертикали теоретическая доза или ее часть. Таким образом, в основу адаптации системы задач по сути положены следующие известные принципы: дидактической целесообразности; постоянной ориентации на конечный результат; системного подхода, учета дидактической сложности системы задач, учета параметров модели обучаемого [11].

Набор навыков определяет вид ситуационных задач, которые не отличаются по общей структуре от рассмотренной выше. Задачи первого уровня сложности представляют собой ситуацию, требующую применения знаний привычной ситуации. В этих случаях тренажер представляет собой тренажер аппаратного типа и служит для обучения и проверки обычного минимума навыков. Задачи повышенного уровня сложности представляют собой ситуации обычного типа с усложнениями, которые могут возникать на практике. В этом случае целесообразно использовать тренажеры программно-аппаратного типа. В качестве аппаратной компоненты можно использовать настоя-

щие модули доступных технических систем в виде специальных стендов, сопряженных с компьютерной моделью обучаемого. При моделировании ситуации на тренажере программно-аппаратного типа целесообразно имитировать реальную ситуацию, которая может возникнуть в производственной деятельности при выборе и применении неправильного метода. Основной массив умений находится в плоскости теоретических знаний и умений, поэтому ситуационная задача порождает здесь преимущественно систему умственных действий обучаемого. Она позволяет использовать в этом случае тренажер программного типа.

Источниками для построения систем задач служат соответствующие методические материалы по изучаемым дисциплинам, однако в процессе отработки тренажерных технологий эти материалы могут претерпевать некоторые изменения и должны подвергаться соответствующей апробации на основе доказательных экспериментов.

Одним из аспектов выбора параметров системы "ученик-тренажер", являются оценка параметров, характеризующих такую систему как эргатическую. Естественно, модель обучающей системы как эргатической системы, как и любая иная модель, является отображением лишь части свойств моделируемой системы. Ограниченность модели диктует и ограниченность задач, решаемых ею в том или ином динамическом процессе. Имеются ввиду задачи исполнения ряда моторных функций, а также учета нестационарности реакции ученика и изменения структуры действий в зависимости от изменений, происходящих в процессе обучения [12].

Получение моделей пользователя обучающей системы означает наступление статистической стабильности его характеристик. Это дает возможность определения описывающих его функций. При построении моделей системы на динамическом уровне исследуемая система может быть описана дифференциальными уравнениями. Исследование свойств модели на таком уровне абстрагирования позволяет эффективно использовать развитый аппарат теории и техники оптимальных систем для формирования оптимальной модели взаимодействия системы и субъекта обучения при использовании соответствующих критериев оптимизации. В качестве критериев оптимизации выступают длительность и качество обучения.

Возможно применение упрощенных линейных моделей на уровне передаточных функций, но такой подход позволяет получать практические результаты лишь для весьма коротких промежутков времени и при достаточно однородном изучаемом материале. В то же время известно, что сложные, многоблочные модели с перекрестными связями, хотя и могут быть более обоснованными для описания такого взаимодействия, которое является по сути процессом подобным процессам, протекающих в эргатической системе, все же обладают весьма низкими показателями: они чрезвычайно инерционны, требуют больших затрат на реализацию, имеют много потенциальных источников погрешностей и поэтому недостаточно эффективны. Главное в этих моделях — отсутствие однозначного психофизиологического обоснования на поведенческом уровне [7].

Динамическое описание эргатической системы означает, что применительно к условиям процесса настройки и обучения в данной системе деятельность учащегося может быть отображена стационарными или квазистационарными процессами-реакциями. При этом имеется в виду такое описание, которое позволяет строить модели, функционирующие синхронно с исследуемым процессом.

Определение моделей ученика, как «звена» эргатических систем, основано, как правило, на использовании статистических характеристик реакции учащегося как «черного ящика» на квант информации (воздействия). Метод «воздействие — реакция» в той или иной мере присущ большинству методов построения модели рассматриваемого типа. Методику построения модели можно представить в такой краткой форме:

- на основании изучения реакции учащегося на заданный информационный стимул задается структура модели (порядок дифференциального уравнения или передаточной функции) [8];

- настраиваются параметры заданной модели передаточной функции и, как правило, последовательно с ней связанного экспоненциального звена, имитирующего задержку реакции учащегося; настройка осуществляется следующими способами:

- а) с помощью определяемых экспериментально спектральных плотностей выходного сигнала учащегося и входного сигнала системы, а также взаимной спектральной плотности этого сигнала и выходного сигнала [10];

б) с применением беспойсковых систем настройки, основанных на вычислителях коэффициентов влияния (критериев чувствительности) приращений параметров априори заданной передаточной функции на выходной сигнал (или сигнал ошибки) системы [5,9];

в) с применением сложных моделей переменной структуры [4], в которых используется несколько линеаризованных моделей нелинейных блоков, подключающихся в общую замкнутую цепь или выключающихся из нее в зависимости от априорно установленных условий адаптации учащегося в данной системе, которая моделируется.

Стабильность характеристик учащегося, модель которого формируется, — понятие статистическое. Данный процесс при этом характеризуется квазистационарными функциями поведения. Аналогичными функциями поведения, очевидно, должна характеризоваться и модель. Тогда можно говорить о квазистационарном процессе с настраиваемой моделью.

Такой процесс характеризуется следующими свойствами [10]:

а) поведение ученика удовлетворяет правилам остановки процесса обучения в соответствии с заданным критерием.

б) минимальный уровень локальной меры качества усвоения материала Y_{min} таков, что при этом

$$|Y_{min} - Y_{пор}| < \eta_Y, \quad (1)$$

где η_Y — допустимое отклонение; $Y_{пор}$ — пороговый уровень локальной меры;

в) минимальный разброс локальных оценок относительно порогового уровня таков, что

$$|\sigma_{max} - \sigma_{min}| < \eta_\sigma, \quad (2)$$

где η_σ — допустимое отклонение по разбросу;

г) внешние воздействия $f(t)$ парируются изменением Δq_i параметров модели, так что

$$|x(q_i) - x(f)| < \eta_q, \quad (3)$$

где η_q — допустимая погрешность компенсации;

д) период t_π парирования моделью внешнего воздействия $f(t)$ таков, что

$$|x(t_\pi, q_i) - x(t_\pi, f)| < \eta_t, \quad (4)$$

где η_t — допустимая погрешность, вызванная временной задержкой компенсации.

В соответствии с определением квазистационарного процесса динамическая модель системы должна обладать свойством параметрической настройки, практически синхронной с соответствующим динамическим процессом. Это обстоятельство не позволяет применять развитые методы оптимизации, в частности градиентные методы, хорошо используемые для оптимальной настройки таких систем. Практика настоятельно ставит задачи разработки таких моделей систем, которые на определенных этапах проектирования или отработки объектов, с которыми должны работать люди, позволят учесть его переменные характеристиками и индивидуальные особенности.

Общие принципы построения моделей поведения изложены в ряде работ [2, 3]. Так как построение моделей поведения связано с определением динамических характеристик статистической обработкой экспериментальных данных, то в теории моделей используются методы статистической динамики систем управления и обработки данных [1].

Модель. Будем считать, что обучающая система, реализующая квазистационарный эргатический процесс, по меньшей мере, допускает справедливость соотношений, получаемых в результате разложения функции $X(t)$ в степенной ряд по параметрам q_i , $i = \overline{1, m}$. Динамическая система, описывается дифференциальным уравнением n -го порядка [10]:

$$F(x^{(n)}, x^{(n-1)}, \dots, \dot{x}, x, t, q_1, q_2, \dots, q_m) = f(t), \quad (5)$$

где $q_1, q_2, \dots, q_m$ — минимальное число параметров, которыми определяется система; $f(t)$ — внешнее воздействие. На вход системы подается некоторое учебное (возмущающее) воздействие $\theta(t)$.

Определение значений параметров $q_1^*, q_2^*, \dots, q_m^*$ системы, при которых для произвольной функции $\theta(t)$ реакция системы аналогична реакции системы (5), по сути, является параметрической компенсацией внешнего воздействия.

$$F(x^{(n)}, \dots, x, t, q_1^*, q_2^*, \dots, q_m^*) = f(t) + \theta(t), \quad (6)$$

В соответствии с [6] можно предполагать, что целенаправленные действия человека в квазистационарном режиме регулируются

механизмами, внутренними по отношению к схеме «воздействие — реакция», функционирование которых, для такой схемы, может быть представлено как параметрическая компенсация.

Решение задачи параметрической компенсации разработанными в настоящее время способами может производиться следующим образом. Вводится критерий совпадения решений уравнений (5) и (6). В системе (5) берутся произвольные значения параметров q_i , выбранные тем или иным способом. Далее, используя различные модификации градиентных методов, ищут такие значения параметров, при которых выбранный критерий совпадения принимает требуемое экстремальное значение.

Выводы. В качестве нового учебного элемента рассмотрено особенности коллективной работы учащихся с использованием технологий интернет-форумов. в этой компоненте модели обучения созданы настройки различных моделей обучаемых — участников форумов. Изучены влияния характеристик психологической совместимости участников процесса группового освоения учебного материала. Этот элемент требует отдельной постановки задачи исследования для оценки эффекта применения такой учебной технологии, которая, по видимому, в значительной мере будет содержать и креативную составляющую.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алпатов А.П. Интеллектуальные управляющие информационные системы / А.П. Алпатов, Ю.А. Прокопчук, В.В. Костра, И.А. Пилипченко // Сб. трудов межд. конф. по автоматическому управлению “Автоматика – 2000”. – Львов: ГосНИИ информационной инфраструктуры, 2000. – Т.6. – С. 20–24.
2. Аткинсон Р. Введение в математическую теорию обучения/ Р. Аткинсон, Г. Бауэр, Э. Кротерс. М., «Мир», 1969. – 486 с.
3. Буш Р. Стохастические модели обучаемости/ Р.Буш, Ф.Мостеллер. М., Физматгиз, 1962. – 483 с.
4. Быховский М. Л. Чувствительность и динамическая точность систем управления. — Изд. АН СССР, «Техническая кибернетика», вып. 3, –1964. С.130—143.
5. Запорожец А. В. Избранные психологические труды в 2-х томах.- М., 1986. 316 с.
6. Венгер Л. А., Мухина В. С. Психология. М., 1988. - 336 с.
7. Лефевр В. А. Формула человека: контуры фундаментальной психологии. – М., Прогресс, –1991. –109 с.

8. Монмоллен М., Системы «человек и машина». М., «Мир», –1973. – 256 с
9. Симонов П. В. Физиологические особенности положительных и отрицательных эмоциональных состояний. М., «Наука», 1972, 136 с.
10. Таран В. А. Эргатические системы управления. М., «Машиностроение», –1976. –188 с.
11. Дубовик Т.Н. Особенности разработки адаптивных компьютерных тренажеров. Вестник Черкасского государственного технологического университета, –№4.–2010–С. 98–105.
12. Сергеева О.В., Дубовик Т.Н., Использование тренажеров для учебной среды. Вестник Черкасского государственного технологического университета, –№3.–2010–С.136–140.

Т.А. Желдак, В.В. Слесарев, Д.О. Воловенко

ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ В СКЛАДІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СППР ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ РОЗКИСЛЕННЯ СТАЛІ В КОНВЕРТЕРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація: В статті викладено один з можливих підходів до оптимізації витрат розкислювачів у металургійному виробництві, що заснований на експертній системі. Навчання системи відбувається на прикладах вдало виконаних плавок. В якості механізмів добування знань запропоновані мережі Байєса та дерева рішень.

Ключові слова: мережі Байєса, дерева рішень, прийняття рішень, розкислювачі, знання, керування, правила.

Вступ. У якості вихідних матеріалів при виробництві сталі використовуються рідкий або твердий чавун, металобрухт, а також розкислювачі, легуючі та шлакоутворюючі матеріали. При переділі чавуну і металобрухту в сталь вирішуються декілька основних задач: плавлення і нагрівання шихти до температури, що забезпечує проведення наступних операцій (зазвичай 1600-1650°C), рафінування сталі від шкідливих домішок (зазвичай до них відносять сірку, фосфор, водень і азот), легування і, нарешті, одержання з рідкої сталі сталевого зливка або безперервнолитої заготовки [1].

Нагрів до заданої температури і часткове рафінування та легування виконується в сталеплавильних агрегатах, зокрема, у киснево-му конвертері, кінцеве рафінування і легування – в сталерозливних ковшах після випуску плавки з агрегату за допомогою спеціалізованих установок, а розлив – через виливниці або на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Постановка проблеми. Випущена з конвертера рідка не розкислена сталь містить значну кількість розчиненого кисню. Зниження температури металу під час розливу і при кристалізації супроводжується зменшенням розчинності кисню, що призводить до утворення та виділення оксиду вуглецю, отримання пухиристих виливків і не-

щільних зливків [2]. Першою задачею розкислення є зменшення вмісту розчиненого в сталі кисню і зв'язування його в міцні сполуки, котрі не дають газоподібних виділень при затвердінні металу. Інша задача – максимальне видалення з рідкої сталі продуктів розкислення, що утворюються (неметалічних включень). Останні характеризуються відмінними від основного металу фізичними властивостями, що викликає утворення місцевої концентрації напружень, сприяє контактній утомі металів, є причиною міжкристалічних зламів, руйнування і виходу деталей, що труться. Для отримання сталі високої якості вміст неметалевих включень має бути не більше 0.005-0.006% [1].

Найбільш поширеними розкислювачами сталі є кремній, марганець і алюміній. У деяких випадках застосовують кальцій, хром, ванадій, церій, титан. Водночас, у вітчизняній металургійній практиці найчастіше застосовуються феросиліцій, силікомарганець та феромарганець. Всі вони мають різну розкислювальну здатність та якість виведення (кремній найкраще зв'язує кисень, хоча його оксиди найгірше виводяться з розплаву), а також ціну. Оскільки ціна феросплавів є достатньо суттєвою часткою собівартості готової сталі, актуальною бачиться задача оптимізації кількості феросплавів, що використовуються в ході розкислення.

Дана задача є однією з функцій інтегрованої системи керування багатоетапним металургійним виробництвом, основні підходи до структури та принципів функціонування якої викладені в [3] та [4]. Зокрема, система повинна реалізовувати принцип оптимальності кожного з етапів виробництва для отримання оптимального за узагальненим економічним критерієм плану технологічного процесу [5].

Узагальнено керування технологічним процесом на етапі розкислення представлено схемою на рис. 1.

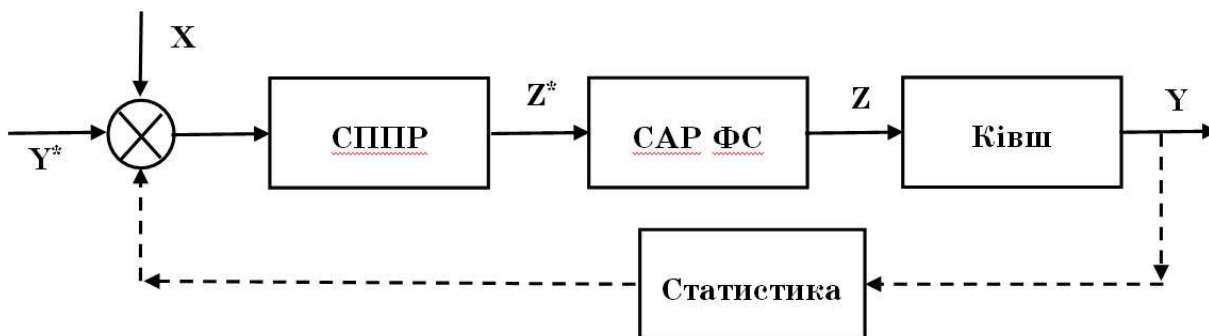


Рисунок 1 – Схема системи керування процесом розкислення

У якості входів для системи підтримки прийняття рішень (СППР) керування процесом розкислення виступає низка параметрів, які обумовлені маркою сталі, що виготовляється (вектор Y^*), а також параметри сталі в конвертері (вектор X , який у загальному випадку є збуренням). В залежності від значень компонентів цих векторів СППР формує керуючий вплив (вектор Z^*) як завдання на кількість розкислювачів різного вигляду, що подаються у ківш. Завдання відпрацьовується замкненою системою автоматичного регулювання феросплавного тракту (САР ФС), яка складається з регулятора, дозатора, системи засувок і датчиків [5]. Відібрані феросплави (вектор Z) додаються у ківш на початковій фазі випуску сталі з конвертера, що сприяє максимальному засвоєнню розкислювачів сталевим розплавом і зменшує їх витрату в зоні шлаку [1]. В результаті керування маємо вектор Y , що описує хімічний склад отриманої сталі.

На рисунку 1 легко помітити головну особливість системи керування розкисленням: вона є розімкненою і використовує принцип керування за завданням. Використання в процесі роботи існуючої системи будь-якого зворотного зв'язку неможливе, оскільки до того часу, коли будуть отримані числові характеристики, що описують вихід, сенс керуючого впливу втрачається – сталь стає холодним зливком, у якому процеси розкислення завершені.

Існуючі методики, що використовуються на виробництві [1, 2], передбачають застосування емпіричних формул для розрахунку основних розкислювачів залежно від їх хімічного складу, заданої марки сталі, вмісту вуглецю, кремнію й марганцю перед повалкою та видом розливки – буде сталь розливатися киплячою чи спокійною. Цільові значення вмісту в готовій сталі як вуглецю, так і легуючих елементів (вектор Y^*) задані як середні значення діапазону, припустимого для даної марки за стандартом. Подібні формули отримані з певним запасом і не передбачають економії феросплавів.

Мета дослідження: запропонувати механізм використання позитивного попереднього досвіду розкислення сталі шляхом добування знань з бази даних плавов і включення їх до системи підтримки прийняття рішень, увівши таким чином зворотний зв'язок у систему керування розкисленням.

Основний матеріал. Системи підтримки прийняття рішень, що використовують інтелектуальний, у тому числі нечіткий висновок

використовуються в металургії, зокрема, у виробництві феросплавів. У [6] запропоновано математичну модель процесу нечіткої оптимізації складу багатокомпонентної шихти та методи і алгоритми, що підвищують якість передбачення наслідків керуючого впливу в умовах невизначеності щодо структури та параметрів процесів і дії неконтрольованих збурень. Таким чином, за допомогою нейро-нечіткої моделі визначається оптимальний за економічним критерієм склад шихти.

Подібні ідеї, розвинуті в [7], дозволили за рахунок використання нечітких продукційних правил висновку, зокрема, моделі Мамдані, моделювати процес легування сталі та прогнозувати механічні властивості готового прокату за результатами хімічного аналізу сталі в ковші. Навіть за невеликої кількості правил подібні інтелектуальні системи мають високу роздільну здатність в просторі результатів.

Відомий також інший підхід [8] моделювання оптимальної поведінки оператора конвертерного виробництва, заснований на використанні еталонів. Згідно з цим підходом, при виплавці сталі певної марки і відомих початкових умовах ведення плавки в базі даних, що містить інформацію про всі попередні плавки, відшукується приклад, який найточніше описує поточні умови. При цьому використовується багатовимірна математична оптимізація моделі з інтерполяцією на умови, що відрізняються. Автори пропонують як основні шихтові матеріали, так і феросплави приймати на рівні, аналогічному раніше відомому вдалому прикладу з бази даних.

В даній роботі пропонується використати для експертної СППР ключові особливості обох підходів. У якості продукційної моделі пропонується використовувати так звану наївну мережу Байєса [9].

Даний метод обробки знань має кілька важливих особливостей. По-перше, оскільки в моделі визначаються залежності між усіма змінними, легко обробляються ситуації, коли значення деяких змінних невідомі. По-друге, підхід дозволяє природним чином поєднувати закономірності, виведені з даних, і фонові знання, отримані в явному виді (наприклад, від експертів). Нарешті, використання описаного методу дозволяє уникнути проблеми переприладження (overfitting), тобто надлишкового ускладнення моделі, чим страждають багато методів (наприклад, дерева рішень) при занадто буквальному наслідуванні розподілу зашумлених даних.

Незважаючи на свою простоту, швидкість та легкість інтерпретації результатів, наївно-байєсівський алгоритм має ряд недоліків, ключовим з яких є базове припущення про взаємну некорельованість усіх вхідних змінних (звідси «наївні» у назві). Водночас метод не дозволяє пряму обробку безперервних змінних – їх необхідно розбивати на певну кількість інтервалів, щоб параметри були дискретними.

Враховуючи викладене, дані з бази даних про плавки, виконані в конвертерному цеху ПАТ «ЄВРАЗ – ДМЗ ім. Петровського» у 2008 та 2009 роках (загалом 12039 плавок) були дискретизовані, після чого для них був проведений факторний аналіз з метою визначення лінійно-незалежних факторів. Результат аналізу представлений у таблиці 1, де поділ величин (керуючий вплив, збурення, змінні стану) приведені у відповідності до схеми рис. 1.

Таблиця 1

Змінні задачі дослідження

Змінна	Од. вимір.	Значення змінної у базі даних	Діапазон варіювання	Кількість інтервалів
X1	°C	Температура металу в конвертері	1559-1698	3
X2	%	Вміст Mn до розкислення	0,03-0,8	4
X3	%	Вміст S до розкислення	0,012-0,05	4
X4	%	Вміст P до розкислення	0,002-0,031	3
X5	%	Вміст C до розкислення	0,04-0,86	6
X6	%	Вміст Mn у FeMn	68,5-79,2	3
X7	%	Вміст Mn у SiMn	66,2-74,9	3
X8	%	Вміст Si у FeMn	0,41-2,8	3
X9	%	Вміст Si у SiMn	16,67-18,2	3
Y1	%	Заданий вміст Mn у готовій сталі	0,5-0,8	3
Y2	%	Заданий вміст S у готовій сталі	0,013-0,05	3
Y3	%	Заданий вміст P у готовій сталі	0,002-0,038	3
Y4	%	Заданий вміст C у готовій сталі	0,28-0,37	3
Y5	%	Заданий вміст Si у готовій сталі	0,05-0,12	3
Z1	кг	Маса розкислювача FeMn	0-1070	5
Z2	кг	Маса розкислювача SiMn	0-675	4
Z3	кг	Маса розкислювача FeSi	0-360	3

Поділ безперервних значень змінних на діапазони здійснювався згідно наступних рекомендацій [10]:

- якщо закон розподілу величини рівномірний чи нормальний – на 3 діапазони («малий», «середній» та «високий») за інтервалами значень базової шкали;

- якщо закон розподілу відмінний чи його важко встановити – на мінімальну кількість за квантилями з рівною (чи максимально близькою) щільністю ймовірності в інтервалах.

Оскільки змінні z_k , $k = \overline{1,3}$ залежні не лише від умовно-незалежних x_i , $i = \overline{1,9}$ та y_j , $j = \overline{1,5}$, але й взаємозалежні (феросплави є взаємодоповнюючими й взаємозамінними), то кожному сполученню їх лінгвістичних значень необхідно поставити у відповідність певний клас. За наявними даними таких класів виявилось 34. До них увійшли усі можливі сполучення термів вихідних змінних, які зустрілися у базі даних хоча б раз.

Згідно з методикою [9] всі змінні були квантизовані, для кожного інтервалу були розраховані центральні значення та апіорні ймовірності. Зокрема, для вихідних змінних були визначені $P(z = c_r)$, де c_r - вектор сполучень центральних значення r -тих інтервалів вихідних змінних, наприклад, $z_1 = \text{«мало»} | z_2 = \text{«багато»} | z_3 = \text{«нічого»}$.

Поставивши у відповідність вихідні змінні набору незалежних змінних, визначаємо апостеріорні ймовірності за формулою

$$P(x_1 = c_{1,1}, \dots, x_9 = c_{9,3}, y_1 = c_{10,1}, \dots, y_5 = c_{14,3} | z = c_r) = \frac{P(z = c_r) \cdot P(x_1 = c_{1,1}) \cdot \dots \cdot P(x_9 = c_{9,3}) \cdot P(y_1 = c_{10,1}) \cdot \dots \cdot P(y_5 = c_{14,3})}{\sum_{r=1}^{34} (P(z = c_r) \cdot P(x_1 = c_{1,1}) \cdot \dots \cdot P(x_9 = c_{9,3}) \cdot P(y_1 = c_{10,1}) \cdot \dots \cdot P(y_5 = c_{14,3}))}, (1)$$

де $r = \overline{1,34}$ - поточний номер вихідного класу; $c_{i,j}$, $i = \overline{1,14}$ - центральні значення вхідних термів, кількість яких індивідуальна (від 3 до 6) для кожної змінної (див. табл. 1).

Таким чином розраховуються ймовірності для комплексних правил «Якщо $x_1 = c_{1,j}$ та $x_9 = c_{9,j} \dots$ та $y_1 = c_{10,j} \dots$ та $y_5 = c_{14,j}$, то $z = c_r$ ». Загальна кількість таких правил, що з достовірністю $P_\Sigma = 1$ описують зазначену предметну область - 1589.

Дефазифікація нечітких розв'язків у чіткі виконується за допомогою формули

$$z_m = \sum_{r=1}^{34} \mu(c_r) \cdot c_{m,r}, \quad m = \overline{1,3}, \quad (2)$$

де $c_{m,r}$ - центральне значення кожного терму, що позначає необхідну масу m - того феросплаву.

В якості альтернативи для викладеної методики добування чітких продукційних правил, належність яких оцінюється за ймовірні-

стю появи умови та наслідку в базі даних, обраний для навчання, було запропоновано метод побудови дерев рішень. Даний метод, докладно розглянутий у [10], широко застосовується при побудові експертних систем у якості алгоритму добування знань (knowledge discovery).

Для побудови бази знань на основі дерева рішень були використані результати розбиття, що наведені в таблиці 1. Розглянемо докладно критерій вибору змінної, за якою проводити розбиття в черговому вузлі. Якщо змінна x_k приймає h значень $c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kh}$, то розбиття T по змінній x_k дасть підмножини $T_1, T_2, \dots, T_h$. При виборі змінної використовується інформація, яким чином класи $c_{m,r}$ вихідних змінних розподілені на множині T та її підмножинах.

Нехай $\text{freq}(c_r, I)$ - кількість об'єктів із множини I , що відносяться до одного класу c_r . Тоді ймовірність того, що випадково обраний об'єкт із множини I належатиме до класу c_r , дорівнює

$$P = \frac{\text{freq}(c_r, I)}{|I|}. \quad (3)$$

Згідно з теорією інформації, оцінка середньої кількості інформації, необхідної для класифікації об'єкта із множини T , розраховують за

$$\text{Info}(T) = - \sum_{j=1}^1 \left(\frac{\text{freq}(c_r, T)}{|T|} \right) \log_2 \left(\frac{\text{freq}(c_r, T)}{|T|} \right). \quad (4)$$

Оскільки використовується логарифм з основою 2, то даний вираз надає кількісну оцінку в бітах. Таку ж оцінку, але після розбиття множини T по x_k , дає наступний вираз:

$$\text{Info}_{x_k}(T) = \sum_{i=1}^h T_i / |T| \text{Info}(T_i). \quad (5)$$

Критерієм для вибору змінної, за якою проводити розбиття на наступному вузлі, буде

$$\max_k (\text{Gain}(x_k)) = \text{Info}(T) - \text{Info}_{x_k}(T). \quad (6)$$

Змінна із найвищим значенням Gain стає ключовою в поточному вузлі. З урахуванням її значень відбувається подальша побудова дерева. Принцип вибору (3)-(6) застосовується до отриманих підмножин $T_1, T_2, \dots, T_h$, таким чином, рекурсивна побудова дерева продов-

жується доти, доки у вузлі не опиняться об'єкти лише з одного класу.

З метою обмеження глибини дерева, до його основного алгоритму було додано правило: зупиняти розбиття у черговому вузлі, якщо у підмножині, що асоційована із цим вузлом, присутні об'єкти, що належать не більше ніж до 10% класів від загальної їх кількості у навчальній вибірці. Зазначене обмеження несуттєво впливає на класифікуючу здатність дерева, але дозволяє значно зменшити загальну кількість правил. Після побудови дерева було проведено процедуру усічення, що дозволило зменшити кількість правил із 2152 (чисті правила, ідентифікують хоча б 1 об'єкт) до 422. Усічення виконувалося за мінімальним рівнем підтримки у 0,1% (для навчальної вибірки у 8023 плавки – це 9 плавки).

Рівні у 10% мінімальної варіації та 0,1% мінімальної підтримки були обрані емпірично за умови збереження класифікуючої здатності при максимальному спрощенні структури.

Перевірка методів добування знань в складі СППР була виконана з використанням даних плавки за 2008-2009 роки. Оцінка точності апроксимуючих продукційних моделей за середньоквадратичною похибкою наведена у таблиці 2.

Таблиця 2

Середньоквадратична похибка апроксимації

Вибірка	Розкислювач	Байєсівська мережа		Дерево рішень	
		Абсолютна, кг	Відносна, в.о.	Абсолютна, кг	Відносна, в.о.
Навчальна	FeMn	37,40	0,0926	45,089	0,1116
	SiMn	40,59	0,0551	47,138	0,0640
	FeSi	2,83	0,0195	2,849	0,0196
Тестова	FeMn	36,86	0,0844	71,026	0,1625
	SiMn	44,16	0,0601	58,139	0,0791
	FeSi	4,54	0,0325	4,1411	0,0296

Можна побачити, що база знань, побудована на основі найвісних байєсівських мереж, дає точніші результати апроксимації як на навчальній вибірці, так і на тестовій. Помилка прогнозування не перевищує 10%, що близько до інструментальної помилки САР подачі феросплавів і може вважатися прийнятним для даного виробництва.

Кількість правил у базі знань за наведеними методами значно відрізняється – для байєсівської мережі їх 1598, для дерева рішень –

422, але дослідження показали, що швидкість обробки баз знань та розрахунку кінцевого результату в обох системах вкладається у межі реального масштабу часу ведення даного технологічного процесу.

Застосування сформованих баз знань на практиці показало, що спрогнозовані таким чином маси необхідних на плавку феросплавів перевищують величини, розраховані теоретично. Тобто, на практиці оператор конвертерного виробництва, свідомо чи ні, але частіше за все використовує надлишок феросплавів, що негативно впливає на собівартість сталі.

Було проведено дослідження з метою визначення меж економії феросплавів, в ході якого центральні значення вихідних термів поступово зменшувалися. При цьому, контролювалися прогнозовані параметри сталі, витрата феросплавів та похибка прогнозування.

При зміщенні центру термів наївної мережі Байєса на 20% досягається компромісний оптимум: при загальній економії феросплавів 0,398 кг/т похибка апроксимації СППР збільшується лише на 1%. В грошовому еквіваленті на 4013 плавках це відповідає економії 1,69 млн. грн., що, в свою чергу, забезпечує місячну економію на рівні 212,5 тис. грн., річну – близько 2,55 млн. грн. Подальше зміщення центральних значень термів призводить до перерозподілу навчальних прикладів і різкого збільшення помилки апроксимації.

Нажаль, при використанні дерева рішень зміщення термів навіть у незначних межах викликає значні зміни в структурі самого дерева, зміни сотень правил. Втім, при зміщенні деяких термів униз на величину до 10% можна досягти економії феросплавів в середньому 0,118 кг/т, що у грошовому еквіваленті дасть 1,2 млн. грн. на рік.

Висновки і перспективи досліджень. Для формування завдання в СППР керування розкисленням було запропоновано продукційну модель експертної системи. В якості методів отримання знань використані ймовірнісний підхід побудови мереж Байєса та алгоритм ID3 побудови дерев рішень. Перша база знань містить 1589 ймовірнісних правил з узагальнюючим дефазифікатором, друга – 422 чіткі правила висновку у вигляді дерева від 14 змінних.

СППР на мережі Байєса показує вищу точність апроксимації як на навчальній, так і на тестовій вибірці. Помилка прогнозування не перевищує 10%, що є прийнятним для даного технологічного процесу.

При зміщенні центру термів наївної мережі Байєса на 20% досягається компроміс: при загальній економії феросплавів 0,398 кг/т похибка апроксимації СППР збільшується на 1%. В грошовому еквіваленті це відповідає економії близько 2,55 млн. грн. на рік.

Перспективою розвитку даної тематики бачиться застосування запропонованих методів до інших металургійних виробництв, зокрема електросталеплавильного, де також використовуються феросплави. Інший можливий напрямок розвитку – використання нейронної мережі з радіально-базисними функціями, що еквівалентно одночасній класифікації та апроксимації суттєво нелінійних залежностей.

Для підвищення точності прогнозуючих моделей слід звернути увагу на фактори виробничого процесу, які зазвичай не включаються до паспорту плавки, наприклад, ступінь зносу футеровки, спосіб розливки, тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демидов, В.А. Производство конвертерной стали [Технологическая инструкция] ТИ-233-СТ КК-02-2002 / Демидов В.А. – Днепропетровск, ДМЗ – 2002. – 148 с.
2. Бигеев А.М. Использование математической детерминированной термодинамической модели в управлении кислородно-конвертерным процессом [Текст] / А.М. Бигеев, В.В. Байтман // Известия Челябинского научного центра. – вып. 4 (30). – Челябинск, 2005. – с. 73-76.
3. Желдак Т.А. Система підтримки прийняття рішень планування виробництва та контролю перебігу технологічного процесу [Текст] / Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа // 17-та Міжнародна конференція з автоматичного управління “Автоматика-2010”. Тези доповідей. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – с. 212-214.
4. Слесарев, В.В. Інтегровані системи керування багатостадійним металургійним виробництвом на прикладі прокатки труб [Текст] / В.В. Слесарев, Т.А. Желдак // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4 (75). – Днепропетровск, 2011. – с. 78–85.
5. Бойко В.И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами в черной металлургии [Текст] / В.И. Бойко, В.А. Смоляк // Днепродзержинск, 1997. – 574с.
6. Михалев А.И., Лысая Н.В. Применение нейро-фаззи алгоритмов для анализа и прогнозирования зависимостей процесса выплавки ферросплавов [Текст] // Системные технологии. Регион. межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск: «Системные технологии». - 2003. – Вып. 3(26). - С. 29-34.
7. Новикова Е. Ю., Михалев А. И., Бубликов Ю. А. Нечеткая идентификация процесса микролегирования стали с карбонитридным упрочнением

[Текст] // Сучасні проблеми металургії: Наукові праці. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2006.- С. 113-127.

8. Богушевский, В.С. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой [Текст] / В.С. Богушевский, Л.Ф. Литвинов – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1998. – 304 с.

9. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP [Текст] / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод // 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.: ил. +CD-ROM.

10. Witten, I. H. Data mining : practical machine learning tools and techniques.—3rd ed. / Ian H. Witten, Frank Eibe, Mark A. Hall. // Elsevier. – 2011. – pp.. 630 – ISBN 978-0-12-374856-0.

І.В. Жуковицький, В.М. Пахомова, О.С. Литвинов

НЕОБХІДНІСТЬ УЗГОДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АТМ З ТЕХНОЛОГІЯМИ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Анотація. Складена формальна модель рівня адаптації AAL за алгоритмом RED. Розроблена імітаційна модель АТМ з використанням складеної діаграми станів. Проведені відповідні дослідження на імітаційній моделі.

Ключові слова: чарунка АТМ, рівень адаптації AAL, алгоритм RED

Постановка проблеми

У зв'язку з інформатизацією на залізничному транспорті України необхідно забезпечити вихід існуючих локальних мереж до глобальних відповідно до концепції програми. Технологія АТМ (Asynchronous Transfer Mode) може бути використана основою для побудови як локальних, так і глобальних мереж, вона практично не має звичних для локальних мереж обмежень, забезпечує передачу даних між робочими станціями однієї мережі та через глобальну мережу без зміни формату кадру, має гарну здатність до масштабування, виникнення нових видів послуг, змін вимог користувача щодо якості обслуговування [1]. У порівнянні з повною заміною існуючої локальної мережі новою мережею АТМ доцільніше «поступове» упровадження технології АТМ в існуючі мережі. При такому підході фрагменти мережі, що працюють за технологією АТМ, могли б співіснувати з іншими частинами мережі, які побудовані на основі традиційних технологій, таких як Ethernet або FDDI, поліпшуючи характеристики мережі, там де це потрібно, і залишаючи мережі робочих груп у колишньому виді. Таким чином, виникла необхідність способу узгодження технології АТМ з технологіями локальних мереж.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Мережа АТМ має класичну ієрархічну структуру великої територіальної мережі: кінцеві станції з'єднуються індивідуальними ліні-

ями зв'язку з комутаторами нижнього рівня, які, у свою чергу, з'єднуються з комутаторами більш високих рівнів. Для мереж АТМ визначений протокол маршрутизації PNNI (Private Network Node Interface), за допомогою якого комутатори можуть будувати таблиці маршрутизації автоматично. Адреси АТМ мають ієрархічну структуру, що забезпечує масштабованість мереж АТМ до будь-якого рівня [8].

В технологіях локальних мереж спільне середовище між абонентами використовується постійно, а технологія АТМ є орієнтованою на з'єднання. Окрім цього, користувач може сам встановити основні параметри якості обслуговування, які необхідні йому для передачі певного виду трафіку. Гарантування високої ефективності роботи мережі навіть у тому випадку, коли багато користувачів зажадають для себе максимальних ресурсів, відбувається за рахунок процедури встановлення трафік-контракту, яка передує будь-якій передачі. Якщо в мережі немає необхідних ресурсів, які б забезпечили вимоги користувача, то віртуальне з'єднання не встановлюється. Якщо під час трафік-контракту користувач не вказує ті чи інші параметри, йому виділяються ресурси, встановленні по замовчанню адміністратором мережі [2].

Стандарт АТМ не вводить свої специфікації на реалізацію фізичного рівня. Початкова швидкість доступу користувача до мережі - 155 Мбіт/с. Магістральне устаткування АТМ працює й на більш високих швидкостях - 622 Мбіт/с і 2,5 Гбіт/с.

Для обслуговування різного виду трафіка в технології АТМ передбачено використання чотирьох класів обслуговування, що надає можливість підбирати оптимальні параметри роботи мережі відповідно до типу даних, що передаються [1, 3, 4]. Характеристики всіх класів, позначення відповідних типів рівня адаптації й приклади їхнього використання наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики класів обслуговування АТМ

Клас обслуговування	А	В	С	Д
Параметр				
Тип протоколу рівня адаптації	AAL1	AAL2	AAL3	AAL4

			AAL5 (SEAL)
Синхронізація	Потрібна		Не потрібна
Швидкість передачі даних	Постійна	Змінна	
Режим послуг	З встановленням з'єднання		Без встановлення з'єднання
Приклади використання	Емуляція речового каналу	Відео	Передача комп'ютерних даних

Кадр АТМ має довжину 53 байта, невеликий і фіксований розмір кадру АТМ дав йому спеціальну назву - чарунка [1, 2, 8]. Рівень адаптації AAL (ATM Adaptation Layer) являє собою набір протоколів AAL1–AAL5, які перетворюють повідомлення протоколів верхніх рівнів мережі АТМ в чарунки формату АТМ. Функції цих рівнів досить умовно відповідають функціям транспортного рівня моделі OSI.

Кожен протокол рівня AAL обробляє трафік певного класу. Протоколи AAL для виконання своєї роботи використовують службову інформацію, розташовану в заголовках рівня AAL. Після прийому чарунок, що прийшли по віртуальному каналу, протокол AAL збирає послане по мережі вихідне повідомлення за допомогою заголовків AAL, які для комутаторів АТМ є прозорими [1, 9].

Протокол АТМ виконує комутацію чарунки по номеру віртуального каналу та по номеру віртуального шляху. Крім рішення цього основного завдання, протокол АТМ виконує ряд функцій по дотриманню трафік-контракту з боку користувача мережі, маркуванню «чарунок-порушників», їх киданню при перевантаженні мережі, а також керуванню потоком чарунок для підвищення продуктивності мережі [9]. Формат чарунки АТМ рівня представлений на рис. 1.

	Біти									
	7	6	5	4	3	2	1	0		
Заголовок	GFC				VPI				1	Байти
	VPI (продовження)				VCI				2	
	VCI (продовження)								3	
	VCI (продовження)				PTI		CLP		4	
	HEC								5	
									6	
	Поле Даних									
									53	

Рисунок 1 – Формат чарунки АТМ

Умовні позначення: GFC (Generic Flow Control) - поле узагальненого керування потоком; VPI (Virtual Path Identifier) - поле ідентифікатора віртуального шляху; VCI (Virtual Channel Identifier) - поле ідентифікатора віртуального каналу; PTI (Payload Type Identifier) - поле ідентифікатора типу даних; CLP (Cell Loss Priority) - поле пріоритету втрати кадру (чарунка з полем CLP=0 - високопріоритетна, чарунка з CLP=1 - низькопріоритетна); HEC (Header Error Control) - поле керування помилками (містить контрольну суму, обчислену для заголовка чарунки; контрольна сума обчислюється за допомогою техніки коригувальних кодів Хеммінга, тому вона дозволяє не тільки виявляти помилки, але й виправляти всі одиночні помилки, а також деякі подвійні).

Формулювання цілей статті

Вивчити алгоритм RED та скласти відповідну формальну модель рівня адаптації AAL. Розробити імітаційну модель АТМ з використанням діаграми станів рівня адаптації AAL за алгоритмом RED та провести дослідження.

Основна частина

1. *Алгоритм RED* в мережах АТМ використовує прихований зворотній зв'язок для повідомлення про перевантаження шляхом вибіркового знищення чарунок користувача. Замість того, щоб чекати перевантаження і переповнення буферу, наслідком чого стане знищення всіх даних, що надходять, RED знищує частину чарунок. Їх кількість і частота знищення визначаються параметром, що має назву ймовірність знищення. Цей параметр розраховується кожен раз у відповідності до поточного стану ресурсів комутатора АТМ, тобто фактично визначається довжиною черги на обслуговування трафіка в мережі АТМ [10]. Середня довжина черги визначається наступним чином

$$\bar{d} = \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) \cdot d_{i-1} + \frac{1}{2^n} \cdot d_i, \quad (1)$$

де $\bar{d}$ – середня довжина черги, d_{i-1} – довжина черги на попередньому підрахунку; d_i – поточна довжина черги; n – ваговий коефіцієнт ($n \geq 1$), який визначає адміністратор мережі.

Якщо $\bar{d} < d_{\min}$, то чарунка, яка надходить, буде обслуговуватися АТМ-комутатором. Якщо $d_{\min} < \bar{d} < d_{\max}$, то потрібно знищувати деяку частину чарунок. Доля чарунок, що будуть знищуватись, визначається значенням ймовірності знищення, яке розраховується у відповідності з станом ресурсів комутатора. Перерахування ймовірності знищення та сам процес знищення чарунок буде відбуватися до тих пір, поки $\bar{d} < d_{\min}$ [5, 10]. Ймовірність знищення чарунок підраховується за формулою

$$p = \frac{P_{\max}}{1 + k \cdot \left(P_{\max} \cdot \frac{\bar{d} - d_{\min}}{l} \right) \cdot \frac{d_{\max}}{l_{\max}}}, \quad (2)$$

де p – ймовірність знищення чарунок; $P_{\max}$ – максимальна ймовірність знищення чарунок; k – кількість чарунок, що є в черзі на момент останнього знищення; l – довжина пакету протоколу, інкапсульованого в АТМ; $l_{\max}$ – максимальна довжина пакету, інкапсульованого в АТМ; $d_{\max}$ – максимально припустиме значення довжини черги; $d_{\min}$ – мінімально припустиме значення довжини черги.

Якщо $\bar{d} \geq d_{\max}$, то чарунка, яка надійшла на вхід комутатора, обов'язково буде знищена. Як видно з формул, ймовірність знищення чарунок залежить від довжини інкапсульованих пакетів. Відповідно, великі пакети (наприклад, при перекачуванні файлів по FTP) будуть знищуватись частіше, ніж маленькі (наприклад, ті, що передаються по Telnet). В мережах АТМ використовуються дві модифікації алгоритму RED: C-RED (Cell RED) працює з кожною чарункою; P-RED (Packet RED) – з групою чарунок [5].

Серед недоліків алгоритму RED при роботі в мережі АТМ слід відзначити наступний. RED відкидає лише одну або декілька чарунок з тих, які утворюють вихідний пакет. Передача по мережі інших чарунок (неповного пакету) продовжується, вони будуть знищені лише в приймачі на рівні адаптації. Цю проблему дозволяє вирішити алгоритм PPD (Partial Packet Discard), який забезпечує видалення неповних пакетів. В алгоритмі RED ймовірність знищення пакету є функцією від його довжини. Розміри пакетів, які передаються, визнача-

ються динамічно в процесі передачі через АТМ-комутатор. Оскільки визначити розмір ще не прийнятого пакету неможна, то його вважають рівним розміру останнього пакету, що був прийнятий по даному віртуальному каналу. Таким чином, можна використовувати залежність знищення чарунки від кількості чарунок [10].

У випадку широкого діапазону коливання навантаження алгоритм RED може не відреагувати на переповнення буферу, тому він звичайно застосовується з алгоритмом попередження перевантажень EPD (Early Packet Discard). Алгоритм EPD здійснює не вибіркове знищення однієї чарунки, а відкидає цілий пакет, що дозволяє різко знизити навантаження на АТМ-комутатор.

При появі першої чарунки АТМ-комутатор аналізує (використовуючи поле РТІ заголовку), чи є вона першою чарункою пакету. Якщо чарунка є початком пакету, АТМ-комутатор перераховує середню довжину черги $\bar{d}$ (перерахування здійснюється лише для першої чарунки пакету). Якщо $\bar{d} \leq d_{\min}$, то ця і всі наступні чарунки, що належать цьому пакету, будуть по мірі надходження обслуговуватися АТМ-комутатором. Якщо $d_{\min} < \bar{d} < d_{\max}$, то підраховується ймовірність знищення чарунок, система переходить до стану знищення чарунок з частотою, визначеною ймовірністю знищення.

Основним плюсом алгоритму RED є можливість підрахування для кожного віртуального з'єднання ймовірності знищення чарунок в залежності від розміру пакету, що передається по даному віртуальному з'єднанню. Чим більше пакети, тим вища ймовірність їх знищення. Це дозволяє справедливо розподілити смугу пропуску між потоками даних різних користувачів, що не можна зробити, використовуючи алгоритми EPD/PPD самостійно. Нарешті, якщо $\bar{d} > d_{\max}$, то в роботу відразу включається алгоритм EPD, який дозволяє швидко й ефективно зняти перевантаження шляхом одночасного знищення великої кількості чарунок.

2. *Діаграма станів рівня адаптації AAL технології АТМ* створена на основі аналізу стандарту [5 – 7] і представлена на рис. 2.

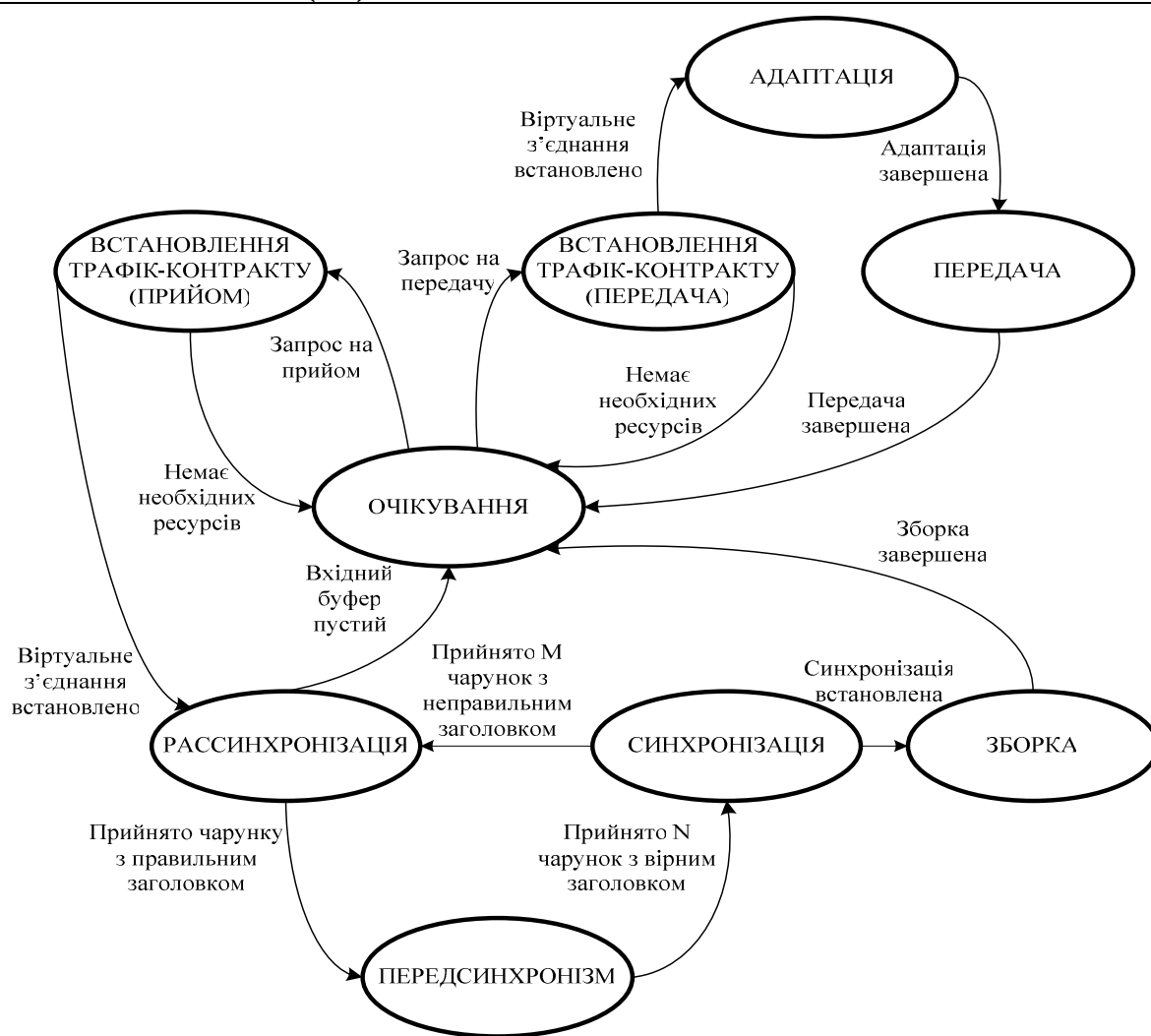


Рисунок 2 – Діаграма станів рівня адаптації AAL

Більшу частину свого часу рівень адаптації проводить у стані «Очікування». Цей стан характеризується відсутністю вимог на передачу або прийом інформації. З цього стану можливими є два переходи – для передачі або для прийому даних. Причому прийом і передача даних можуть відбуватися одночасно.

Так як технологія ATM є орієнтованою на з'єднання, то будь якій взаємодії між абонентами передують процедура встановлення віртуального з'єднання, або заключення трафік-контракту. Якщо поступила вимога на передачу інформації, відбувається перехід з стану «Очікування» до стану «Встановлення трафік-контракту (передача)». Основною метою перебування в цьому стані, є встановлення віртуального з'єднання, через яке буде відбуватися взаємодія. Встановлення віртуального з'єднання відбувається шляхом обміну між абонентами спеціальними керуючими чарунками, у яких ініціатор посилає необ-

хідні йому параметри якості обслуговування, одержувач перевіряє, чи може в даний момент забезпечити заявлений рівень вимог, якщо на даний момент часу вільних ресурсів немає, віртуальне з'єднання не встановлюється і рівень адаптації повертається до стану «Очікування». Якщо віртуальне з'єднання успішно встановлюється, відбувається перехід у стан «Адаптація». Основною метою перебування в цьому стані є розбиття інформації на АТМ-чарунки, формування та додавання до них АТМ-заголовку. Після того, як інформація розбита на АТМ-чарунки, відбувається перехід до стану «Передача». Після завершення передачі рівень адаптації повертається до стану «Очікування».

Коли з'являється вимога на прийом даних, відбувається перехід зі стану «Очікування» до стану «Встановлення трафік-контракту (прийом)». Як і для передачі, в цьому стані встановлюється віртуальне з'єднання. Якщо вільних ресурсів у мережі на даний час немає, то рівень адаптації повертається до стану «Очікування». Якщо ж з'єднання успішно встановлене, то відбувається перехід до стану «Рассинхронізація». Під час перебування в цьому стані, мережа виконує побітовий прийом і порівняння прийнятих даних із перевіроючим байтом (п'ятий байт заголовку чарунки використовується для перевірки коректності заголовку і для виправлення одинарних помилок). Якщо виконується відповідальність прийнятої інформації та перевіроючого байта, то система переходить до стану «Передсинхронізм». У цьому стані відбувається прийом і перевірка чарунок до тих пір, доки кількість правильно прийнятих послідовно чарунок не досягне рівня входження у стан «Синхронізація» (рівень входження у синхронізм визначається адміністратором мережі), у якому відбувається прийом інформації, передача даних на «Зборку» та формування з АТМ-чарунок вихідного повідомлення. При послідовному прийнятті деякої кількості чарунок, у яких заголовок неправильний, відбувається перехід у стан «Рассинхронізація». Коли у вхідному буфері закінчуються дані, відбувається повернення у стан «Очікування».

3. Імітаційна модель АТМ. Структура програмної імітаційної моделі АТМ представлена на рис. 3, її основу складають наступні підсистеми: «Центральний комутатор», «Транзитний комутатор», «Робочі станції» (їх чотири). Основна функція підсистеми «Робочі станції» - це генерація потоку заявок із заданою інтенсивністю та довжиною.

Кожна з робочих станцій підключена до свого транзитного комутатора (тобто кількість портів транзитного комутатора дорівнює кількості станції в групі). Основною задачею підсистеми «Транзитний комутатор» є моделювання адаптації інформації від протоколів верхнього рівня (розбиття інформації на АТМ-чарунки) при передачі та зборка вихідного повідомлення з АТМ чарунок при прийомі. Усі транзитні комутатори підключені до центрального комутатора. Основною функцією підсистеми «Центральний комутатор» є передача потоку АТМ-чарунок з вхідного до вихідного буферів, на вході та виході цієї підсистеми інформація представляє собою потік АТМ-чарунок.

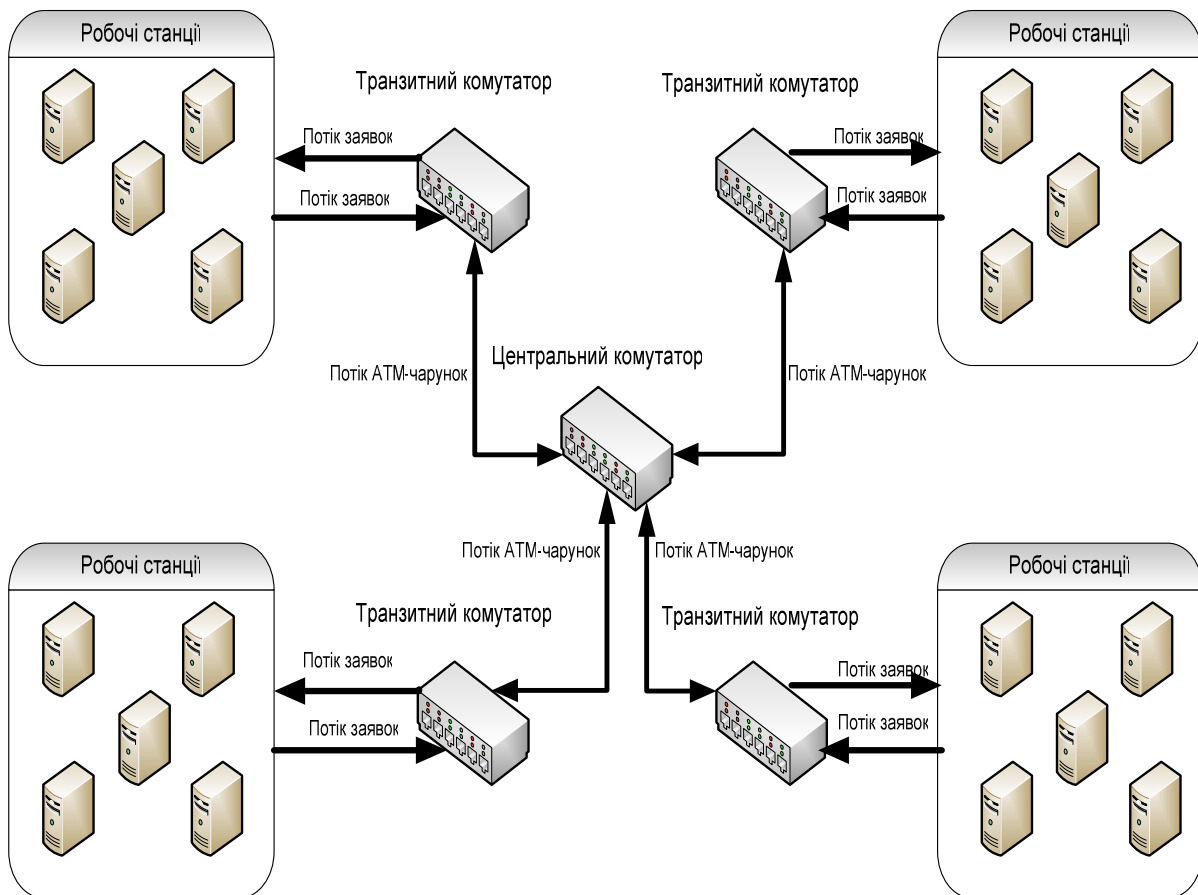


Рисунок 3 – Структура програмної імітаційної моделі АТМ

Усі класи, що використовуються у програмній імітаційній моделі АТМ, та зв'язки між ними представлені на рис. 4.

Клас `test` реалізує безкінечний буфер, організований за принципом FIFO; методи класу: додавання елемента в буфер, вибір елемента з буферу, засоби синхронізації, які не дозволяють декільком потокам одночасно записувати дані в буфер; отримання елемента з максимальним і мінімальним часом очікування у черзі. Клас `test2` реалі-

зує елемент буфера і має такі атрибути: поле даних, довжина, ідентифікатори комутатора та порту комутатора одержувача, ідентифікатор групи, що використовується при адаптації та зборці вихідного повідомлення. Клас *fon* реалізує робочу станцію та містить такі атрибути: інтенсивність надходження заявки, їх довжина; методи класу: генерація заявок та номери абонента одержувача. Клас *tk* реалізує транзитний комутатор, основними його полями являються вхідні та вихідні буфери, кількість яких дорівнює кількості портів транзитного комутатора, та системний час. Методи класу: адаптація інформації та передача її до центрального комутатора, зборка та передача інформації до робочих станцій при прийомі. Клас *ск* реалізує центральний комутатор, основними його полями являються масив буферних елементів, кількість яких дорівнює кількості транзитних комутаторів, та системний час. Основним методом класу центрального комутатора є комутація потоку АТМ-чарунок з вхідного буфера у вихідний, передача його до транзитного комутатора.

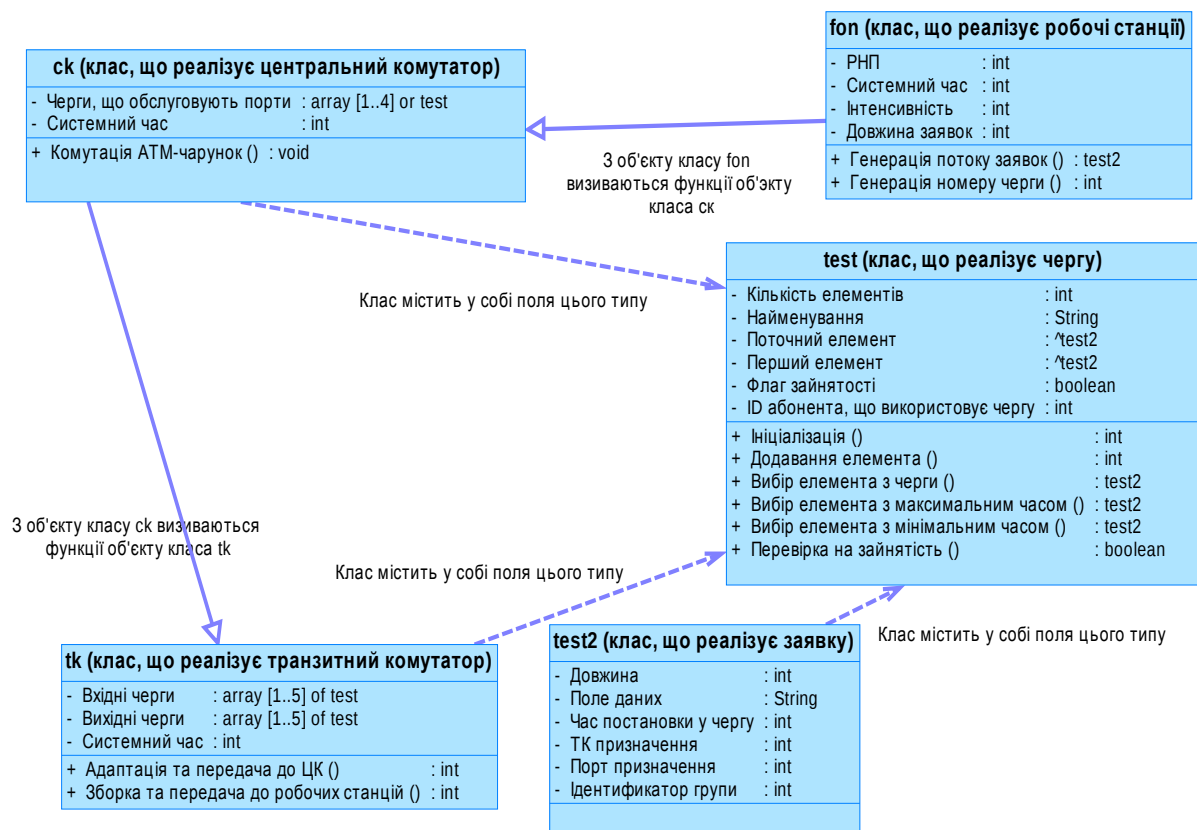


Рисунок 4 – Взаємодія класів програмної імітаційної моделі АТМ

Обмеження на програмну імітаційну модель АТМ: кількість робочих станцій в групі (5 шт.); інтенсивність надходження заявок

від робочих станцій (1000 – 2000 запит/с); довжина заявок (72 – 500 байт); максимальний час опитування черг у центральному комутаторі (700 – 800 мкс).

Вхідні параметри моделі АТМ поділяються на три групи. Перша група (параметри груп робочих станцій): інтенсивність та закон надходження заявки, їх довжина. Друга група (параметри транзитних комутаторів): кількість портів транзитного комутатора, рівень реакції на постановку. Третя група (параметри центрального комутатора): максимальний час опитування черг центрального комутатора.

Під час моделювання ведеться побудова графіку довжини черги вихідного буферу транзитного комутатора від часу (у режимі реального часу). Зупинивши моделювання, видаються наступні результати: середня довжина вихідного буферу транзитного комутатора (елементів), середній час передачі повідомлення (мкс), середній час затримки повідомлення у вхідному буфері транзитного комутатора (мкс). Змінюючи комбінації вхідних параметрів, можна досліджувати їх вплив на вихідні характеристики.

Результати моделювання представлені у вигляді графіка та розраховані значення середньої довжини вихідного буферу транзитного комутатора, середнього часу передачі повідомлення та середнього часу затримки повідомлення у черзі транзитного комутатора (графічний режим, рис. 5). Отримання інформації про роботу мережі у текстовому вигляді, де вказані усі події, що відбувалися, та час їх настання; з виконанням пошуку по часу та по строковому шаблону (текстовий режим, рис. 6).

Проведені дослідження на імітаційній моделі АТМ. Визначено, що при збільшенні інтенсивності на 100 % (при постійній довжині заявки) незначно збільшується середня довжина черги вихідного буферу транзитного комутатора (від 3.12 до 5.22), але практично не змінився середній час передачі повідомлення (від 7728 до 7754 мкс) та середній час затримки повідомлення у вхідному буфері транзитного комутатора (від 6973 до 6990 мкс). Крім того, проведені дослідження в режимах мінімальної і максимальної довжини заявки (при незмінній інтенсивності надходження заявок від робочих станцій). Визначено, що при збільшенні довжини заявки (від 72 до 500 байт) збільшуються: середня довжина вихідного буфера транзитного комутатора (від 3.12 до 11.75 елементів); середній час затримки повідом-

лення в вихідному буфері транзитного комутатора (від 6970 до 11100 мкс); середній час передачі повідомлення (від 7730 до 11536 мкс).

Висновки й перспективи подальших досліджень

Результатом тенденції злиття локальних і глобальних мереж стала поява технології ATM, що увібрала в себе їх сильні сторони: орієнтацію на з'єднання, використання кадрів невеликого розміру фіксованої довжини, що дозволяє забезпечувати нетривалу затримку навіть в моменти високого навантаження на мережу, можливість на-строювати параметри мережі для передачі того чи іншого типу трафіку, наявності декількох класів якості обслуговування.

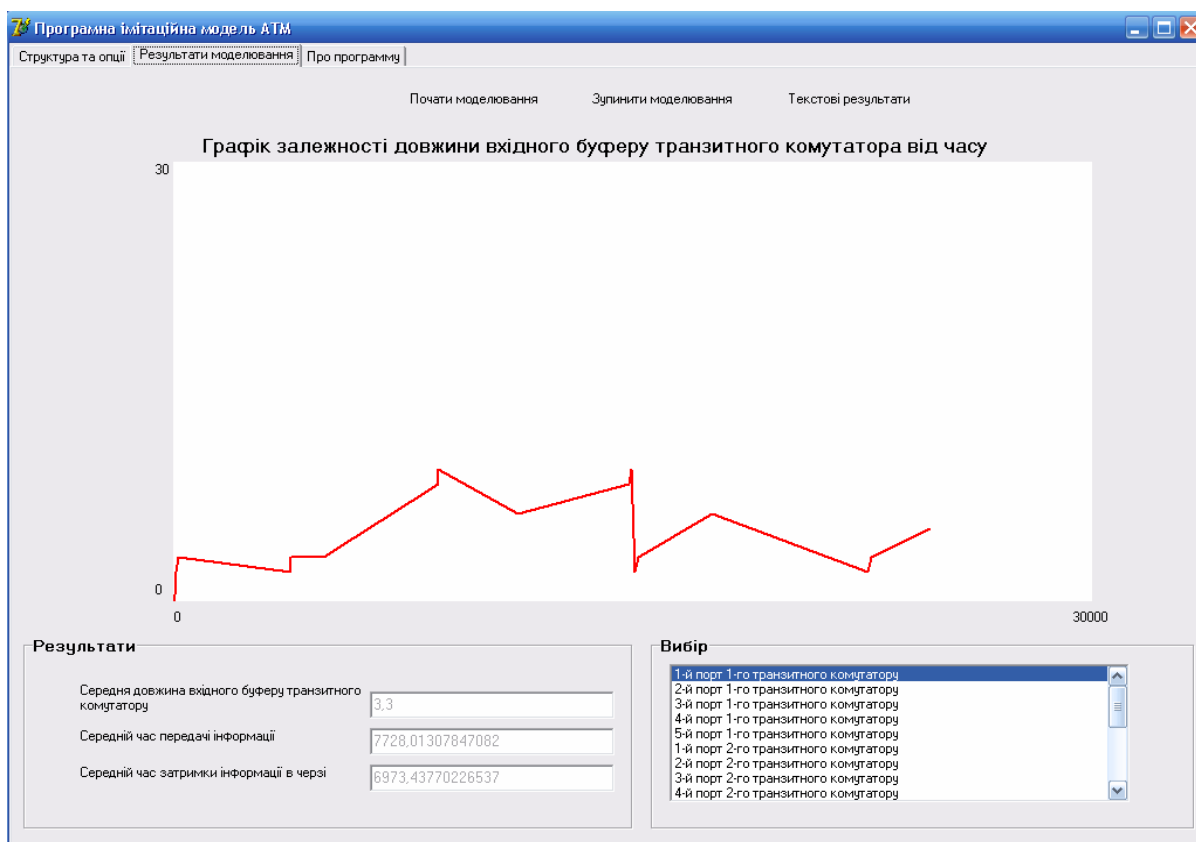


Рисунок 5 – Результати роботи імітаційної моделі ATM
(графічний режим)

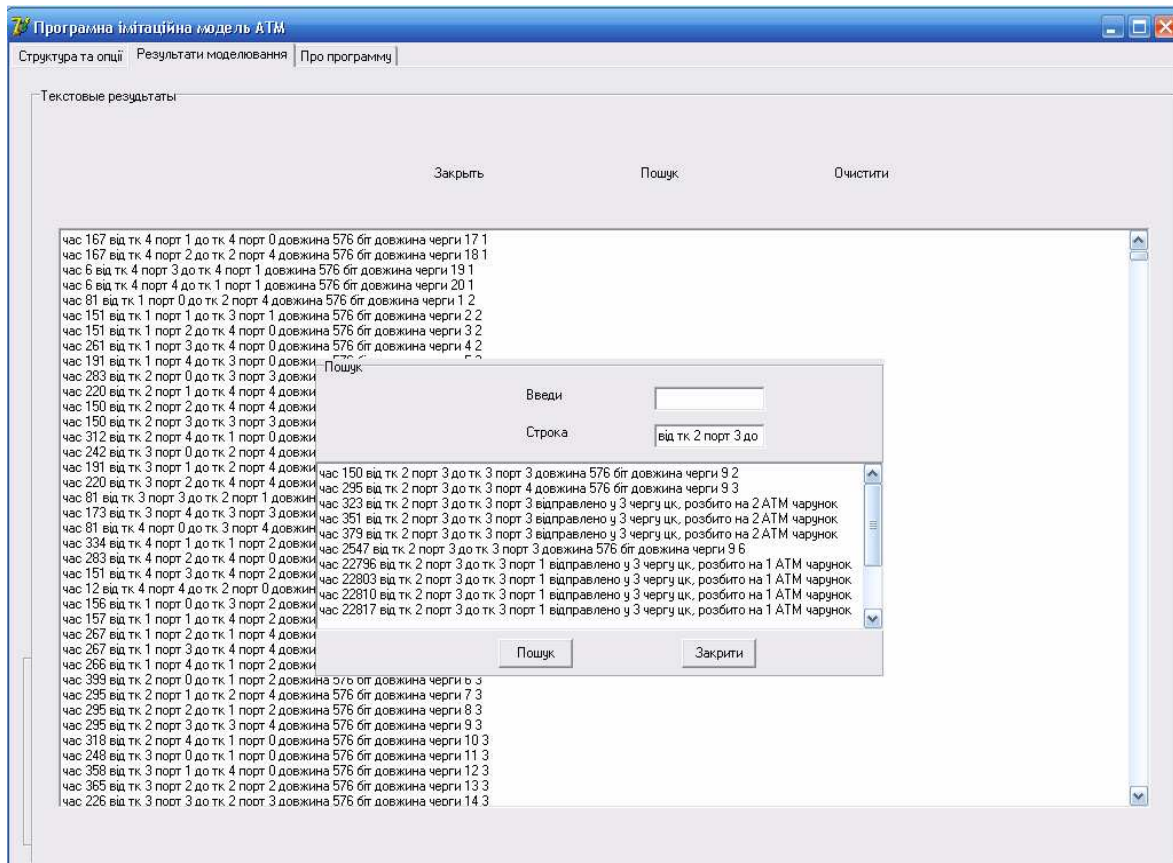


Рисунок 6 – Результати роботи імітаційної моделі АТМ
(текстовий режим)

В АТМ передбачені алгоритми, які допомагають забезпечити високу полосу пропускання, і вберегти мережу від перевантажень. Одним з них є алгоритм RED, який у випадку перевантаження, знищую чарунки (одну або групу) з низьким пріоритетом. Існує дві модифікації алгоритму RED: C-RED працює з кожною чарункою окремо, P-RED працює з групою чарунок.

Складена діаграма станів рівня адаптації технології АТМ, яка покладена в основу розробленої імітаційної моделі АТМ. Вхідні параметри моделі: інтенсивність прибуття заявок, довжина заявок, рівень реакції на постановку транзитного комутатора, час циклу опиту черг центрального комутатора. Вихідні характеристики моделі: середня довжина вихідного буфера транзитного комутатора, середній час передачі повідомлення, середній час затримки повідомлення в черзі вихідного буфера транзитного комутатора.

4. Проведені дослідження на імітаційній моделі АТМ. Визначено, що збільшення інтенсивності на 100 % майже не впливає на зміну вихідних параметрів. При збільшенні довжини заявок з 27 до

500 байт, збільшилися наступні параметри: середня довжина вихідного буфера в 4 рази; середній час передачі повідомлення у 1.5 рази; середній час затримки повідомлення в вихідному буфері транзитного комутатора у 1.6 рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. Олифер, В. Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: підручник для вчз. [Текст] / В. Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб: Пітер, 2010. – 944 с.
2. Галкін, В. А.. Телекомунікації і мережі [Текст] / В. А. Галкін. – М.: МГТУ ім. Н. Е. Баумана, 2003.
3. Microsoft Certified System Engineer [Електронний ресурс] / сайт інтернет-стандартів <http://network.xsp.ru/index>
4. Сервер систем зв'язку PBxlib [Електронний ресурс] / сайт компанії PBxlib <http://www.pbxlib.com.ua>
5. ATM Forum [Електронний ресурс] / сайт організації ATM Forum <http://atmforum.com>
6. Network management & security [Електронний ресурс] / сай компанії JAVVIN
7. CISCO.com [Електронний ресурс] / сайт компанії-виробника ATM-обладнання та ATM-специфікацій CISCO www.cisco.com/warp/public/121/signalling_output.html
8. CIT Forum [Електронний ресурс] / учбовий центр CIT Forum http://citforum.univ.kiev.ua/nets/articles/atm_base.shtml
9. Архів матеріалів ДНТУ [Електронний ресурс] / архів матеріалів Донецького національного технічного університету <http://masters.donntu.edu.ua/2004/kita/tkachov/diss/index.htm>
10. IPRIP.ru [Електронний ресурс] / сайт компанії IPRIP <http://iprip.ru/pnni/12-pnni-i-atm-forum.html>

Л.О. Кириченко, Ю.А. Кобицкая, А.В. Стороженко

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В работе предложена последовательность этапов функционирования механизма вывода в экспертной системе, которая предназначена для анализа фрактальной структуры временных рядов и выбора математической модели стохастического процесса, обладающего требуемыми фрактальными и статистическими свойствами.

Ключевые слова: экспертная система, самоподобный и мультифрактальный случайный процесс, временной ряд.

Введение

Многочисленные исследования, проведенные в последние десятилетия, показали, что многие информационные, биологические, физические, технологические процессы обладают сложной фрактальной структурой. Такие процессы изучаются самыми различными науками – от распределения галактик в астрономии до формирования облаков, климата и погоды, предсказания землетрясений в метеорологии; от полимеризации и окисления в химии до структуры легких и сосудистой системы человека, в физиологии зрительной системы и картин роста многих растений в биологии; от «языков», мешающих добыче нефти и структуры притоков, областей водосбора речных систем, частоты наводнений в геофизике до собственно физики, где фракталы и статистическое самоподобие встречаются в броуновском движении, перколяциях, в исследованиях турбулентности и в других явлениях. Одним из примеров фрактальных стохастических структур являются современные финансовые рынки, для которых характерен эффект памяти, когда изменение цены зависит от величины предыдущего изменения.

Все вышеуказанное привело к появлению ряда моделей фрактальных стохастических процессов. К их характерным особенностям относятся высокие пики и «тяжелые хвосты» распределений, долгосрочная зависимость, условная гетероскедастичность и другие. Сле-

дует отметить отсутствие универсальных моделей, которые могли бы использоваться для описания фрактальных процессов различной природы. И наоборот, один и тот же процесс, в зависимости от целей исследования, может описываться несколькими моделями. В общем случае выбор модели базируется на характеристиках исследуемого временного ряда (ВР). Однако до сих пор не существует единого универсального метода определения фрактальных характеристик для ВР и единого подхода к проведению исследований, которые должны предшествовать собственно фрактальному анализу.

В настоящее время все большее применение находят методы интеллектуального анализа ВР, направленные на выявление закономерностей в динамике систем на фоне случайностей, обнаружение скрытых корреляций и непериодических циклов, что позволяет делать обоснованные выводы и прогнозы. Одним из способов реализации методов анализа и прогнозирования ВР является разработка системы поддержки принятия решений (СППР) [1-3]. В последние годы предложены и разработаны СППР для ВР, обладающих различными характерными особенностями, в том числе различными нестационарными свойствами (см., например, [4-6]). Однако, не смотря на то, что фрактальный анализ находят все большее практическое применение при анализе ВР, разработке математических моделей и проведении имитационного моделирования в самых разнообразных областях науки, техники и медицины, еще не разработаны СППР, реализующие модели и методы фрактального анализа.

Таким образом, актуальной является задача разработки системы поддержки принятия решений, которая позволяет пользователю исследовать структуру фрактального ВР и выбрать лучшую модель из некоторого множества. Целью представленной работы является разработка основных этапов функционирования экспертной системы, содержащей знания и аналитические способности экспертов в области применения фрактального анализа ВР.

Самоподобные и мультифрактальные случайные процессы

Процессы, обладающие фрактальными свойствами, можно разделить на две группы: самоподобные (монофрактальные) и мультифрактальные. Монофрактальные процессы являются однородными в том смысле, что обладают одним показателем скейлинга. Мультифрактальные процессы допускают разложение на участки с различными

ми локальными масштабными свойствами и характеризуются спектром скейлинговых показателей.

Самоподобие случайных процессов заключается в сохранении вероятностных характеристик при изменении масштаба времени. Стохастический процесс $X(t)$ является самоподобным с параметром H , если процесс $a^{-H}X(at)$ описывается теми же конечномерными законами распределений, что и $X(t)$: $\text{Law}\{a^{-H}X(at)\} = \text{Law}\{X(t)\}$, $\forall a > 0, t > 0$. Параметр H , $0 < H < 1$, называемый показателем Херста, представляет собой степень самоподобия процесса. Наряду с этим свойством, показатель H характеризует меру долгосрочной зависимости стохастического процесса, т.е. убывание автокорреляционной функции $r(k)$ по степенному закону: $r(k) \sim k^{-\beta}$, $k \rightarrow \infty$, $0 < \beta < 1$, $H = 1 - (\beta / 2)$. В случае $0,5 < H < 1$ процесс обладает длительной памятью: если в течение некоторого времени в прошлом наблюдались положительные приращения процесса, то есть происходило увеличение, то и впредь в среднем будет происходить увеличение. В случае $0 < H < 0,5$ говорят об антиперсистентном процессе. Здесь высокие значения процесса следуют за низкими, и наоборот. При $H = 0,5$ приращения процесса не зависят от предыдущих значений.

Моменты q -го порядка самоподобного случайного процесса можно выразить как $M\left[|X(t)|^q\right] = C(q) \cdot t^{qH}$, где величина $C(q) = M\left[|X(1)|^q\right]$. Для мультифрактальных процессов выполняется более общее соотношение $\text{Law}\{X(at)\} = \text{Law}\{M(a) \cdot X(t)\}$, где $M(a)$ – независимая от $X(t)$ случайная функция. В случае самоподобного процесса $M(a) = a^H$. Мультифрактальные процессы проявляют более гибкие скейлинговые закономерности для моментных характеристик: $M\left[|X(t)|^q\right] = c(q) \cdot t^{qh(q)}$, где $c(q)$ – некоторая детерминированная функция; $h(q)$ – обобщенный показатель Херста, являющийся в общем случае нелинейной функцией. Значение $h(q)$ при $q = 2$ совпадает со значением степени самоподобия H . Для монофрактальных процес-

сов обобщенный показатель Херста не зависит от параметра q : $h(q) = H$.

Основные задачи механизма вывода экспертной системы

Экспертные системы (ЭС) – это прикладные системы искусственного интеллекта, в которых база знаний представляет собой формализованные эмпирические знания высококвалифицированных специалистов в какой-либо узкой предметной области. Обычно ЭС содержит следующие компоненты: механизм логического вывода (интерпретатор, решатель), рабочую базу данных (БД), базу знаний (БЗ), подсистему приобретения и пополнения знаний, подсистему объяснения и подсистему диалога.

Механизм логического вывода (МВ) предназначен для получения новых фактов на основе сопоставления исходных данных из БД (временные ряды и описание предметной области) и знаний из БЗ (данных, описывающих свойства фрактальных процессов). Для этого обычно используется программно реализованный механизм дедуктивного логического вывода. МВ во всей структуре ЭС занимает наиболее важное место. Рассмотрим основные этапы работы МВ в ЭС, позволяющей исследовать структуру фрактального ВР и выбрать наиболее подходящую модель стохастического процесса. Необходимые пояснения будем проводить на примерах анализа финансовых рядов, обладающих фрактальными свойствами. На рисунке представлена блок-схема основных этапов функционирования МВ.

На первом этапе (блок 1) необходимо провести ряд исследований, предваряющих фрактальный анализ некоторого случайного процесса, представленного временным рядом $X(t)$ [7-9]:

1. Из априорно известной информации необходимо выяснить, является ли ВР кумулятивным (например, курс валюты) или нет (например, ряд волатильности).

2. Определить интервалы различных скейлингов. Если ВР обладает несколькими скейлингами, зависящими от временных интервалов (например, дневные и часовые данные для валютных рядов), то на каждом таком интервале динамика ВР $X(t)$ определяется соответствующим показателем Херста.

3. Выявить и удалить краткосрочную авторегрессионную зависимость. Наличие авторегрессионной зависимости смещает значения показателя Херста и демонстрирует ложную долговременную память.

Поэтому для корректного оценивания степени самоподобия краткосрочную зависимость необходимо удалить в соответствии с формулой $S(t) = X(t) - (a + b \cdot X(t - 1))$. Если исходный ряд $X(t)$ имел долгосрочную зависимость, то она сохраняется (показатель Херста $H > 0,5$), в то время как краткосрочная зависимость устраняется (показатель Херста $H \approx 0,5$). Если авторегрессионная зависимость является значимой, то дальнейшие этапы фрактального анализа проводятся для остаточного временного ряда.

Все результаты предварительных исследований, в том числе в графическом виде, предоставляются пользователю с помощью подсистемы объяснения. Зачастую эти результаты могут иметь самостоятельную значимость для дальнейшего анализа и прогнозирования ВР.

Следующим этапом (блок 2) является выявление наличия фрактальных свойств ВР. Качественной проверкой наличия свойств статистического самоподобия является построение агрегированных временных рядов, соответствующих исследуемому ряду $X(t)$ и построение для них выборочных функций распределения. В случае самоподобия агрегированные ряды имеют одинаковое распределение, подтвержденное статистическими критериями. После этого выполняется оценивание степени самоподобия (показателя Херста H). Если значение H близко к 0,5, необходимо проверить гипотезу о наличии самоподобия соответствующими методами.

При отсутствии фрактальных свойств ВР пользователю предлагается проводить дальнейший анализ и моделирование ВР методами, не использующими фрактальный анализ. Подсистема объяснения поясняет ход рассуждений, и какие знания были при этом использованы.

Следующим этапом является определение, имеет ли ВР монофрактальные или мультифрактальные свойства (блок 3). Различение свойств моно- и мультифрактальности по временным рядам малой длины является непростой задачей. В работе [10] предложен метод, позволяющий принимать или отвергать гипотезу о наличии монофрактальных свойств для временного ряда. В основе метода лежат исследования статистических характеристик выборочных значений обобщенного показателя Херста $h(q)$, которые получены методом мультифрактального детрендрованного флуктуационного анализа.

Значение случайной величины $\Delta h = h(q1) - h(q2)$ можно использовать в качестве статистического критерия для принятия гипотезы о монофрактности ряда. Пользователю предоставляются результаты исследований, в том числе вероятность принятия гипотезы.

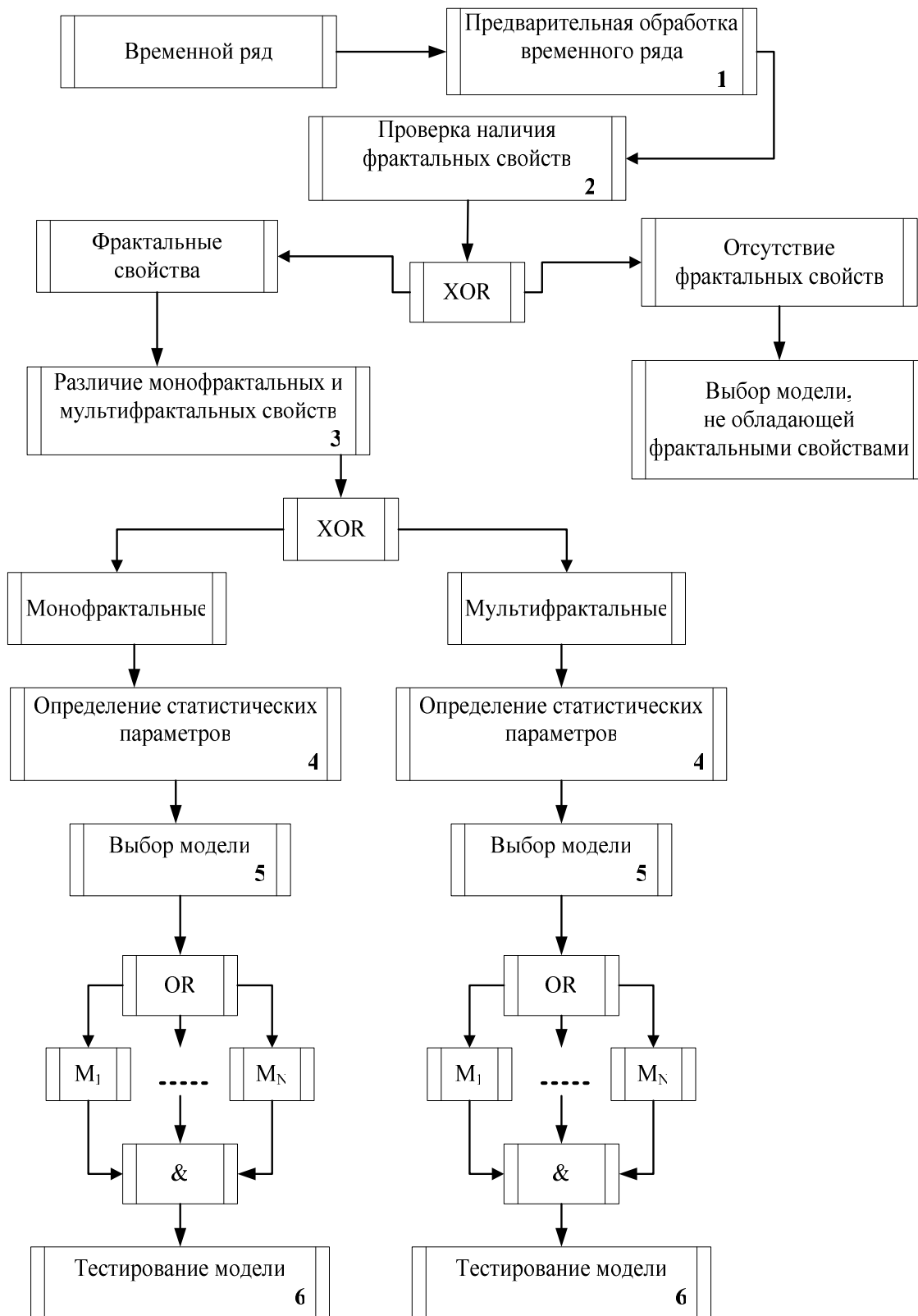


Рисунок 1 – Блок-схема основных этапов функционирования МВ

После этого выполняется расчет статистических характеристик (блок 4), необходимых для выбора и построения математических моделей (блок 5), обладающих свойствами монофрактальности (фрактальное броуновское движение, фрактальные точечные процессы, фрактальный процесс АРСС и др.) и мультифрактальности (фрактальное устойчивое движение Леви, стохастические мультипликативные каскады, фрактальное движение в мультифрактальном времени и др.). Пользователю предоставляются рекомендуемые модели, которых может быть несколько. В рамках ЭС предполагается проведение тестирования и проверка адекватности моделей (блок 6).

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В работе предложена последовательность этапов функционирования механизма вывода в экспертной системе, которая предназначена для анализа фрактальной структуры временных рядов и выбора математической модели стохастического процесса, обладающего требуемыми фрактальными и статистическими свойствами. Этими этапами являются: предварительный анализ, включающий удаление краткосрочной зависимости, выявление наличия фрактальных свойств, различение свойств моно- и мультифрактальности и выбора соответствующих математических моделей. В дальнейшем планируется формализация и программная реализация предложенных методов и подходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Э.В. Статические и динамические экспертные системы: Учеб. пособие / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель, М.Д. Шапот. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 320с
2. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. М.: Вильямс, 2001. – 624с.
3. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень / Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк. – К. : ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.
4. Слободенюк О.В. Система підтримки прийняття рішень при моделюванні та прогнозуванні нестационарних стохастичних процесів: автореф. дис. канд. техн. наук / О.В. Слободенюк. – Херсон, 2006.
5. Лукашев А.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений на основе анализа временных рядов: автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Лукашев. – СПб, 2012.
6. Коновалюк М. М. Інформаційна технологія для оцінювання і прогнозування нелінійних нестационарних фінансових процесів: автореф. дис. канд. техн. наук / М.М. Ковальнюк. – К, 2013.

7. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике / Э. Петерс. – М : Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
8. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики / А. Н. Ширяев. – М. : Фазис, 1998. – Т. 1: Факты. Модели. – 512 с.
9. Kirichenko L. Comparative Analysis for Estimating of the Hurst Exponent for Stationary and Nonstationary Time Series / L. Kirichenko, T. Radivilova, Zh. Deineko // Information Technologies & Knowledge. – 2011. – Vol.5. – № 4. – P. 371–388.
10. Кириченко Л. О. Сравнительный мультифрактальный анализ временных рядов методами детрендированного флуктуационного анализа и максимумов модулей вейвлет-преобразования / Л. О. Кириченко // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2011. – Вып. 157. – С.66–77.

А.А. Косолапов, И.В. Жуковицкий

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В условиях модернизации и интеграции информационных систем (ИС) актуальной является задача выбора перспективной архитектуры ИС (на примере внедряемой системы АСУ ГП УЗ-Е). В статье рассмотрены основные виды архитектур ИС, их преимущества, недостатки и этапы развития. Определены условия эффективности применения мультипроцессорных структур перед кластерными конфигурациями. Обоснована необходимость использования в современных условиях 4-х уровневой архитектуры автоматизированных систем типа SC-AS-WS-DBS, в том числе в АСУ ГП УЗ-Е, которая имеет, как показали исследования, достаточные резервы вычислительных ресурсов для своего развития.

Ключевые слова: информационные системы (ИС), архитектура ИС, типы архитектур, этапы развития, АСУ ГП УЗ-Е

Введение

В настоящее время во всех отраслях экономики, в том числе и на транспорте, происходят кардинальные изменения в области информационных технологий и систем [1]. Решение поставленных перед ИТ-специалистами задачами требует конструктивной оценки состояния и проблем в области информатизации отрасли. В настоящее время можно выделить следующие тенденции, требующие особого внимания: расширение наборов решаемых задач на существующей компьютерной базе; требования формирования сообщений и выдачи управляющих воздействий в реальном масштабе времени; увеличение количества информационных систем различного назначения; развитие «средств и технологий информатизации» [2]; масштабность, комплексный характер, интеграция и усложнение систем и процессов их проектирования и модернизации; интеллектуализация решаемых задач; отсутствие единой системы понятий и определений в области прикладных ИТ-технологий и систем, что приводит к несовместимости

многих решений, к их дублированию и нерациональному использованию финансовых ресурсов; слабая техническая оснащённость систем [2] (сейчас, например, срок службы серверов баз данных и серверов приложений составляет 3 года [3]). К обобщающей проблеме можно отнести отсутствие методики системного проектирования сложных информационных систем. По оценкам специалистов Microsoft 54% ИТ-проектов в США провалились из-за игнорирования проработки архитектурных вопросов. За последние два-три года время на разработку архитектуры информационных систем увеличилось с 10-15 до 50% от общего времени выполнения проекта [4]. Отметим, что разработка архитектуры систем выполняется на ранних стадиях их проектирования – разработка концепции построения системы, ТЗ, эскизный и технический проекты.

Любая архитектура ИС [5] - это множество взаимосвязанных структур, которое описывается следующим выражением:

$$АИС = КТС \cup ПО \cup МО \cup ИО \cup ЛО \cup ОО \cup МетрО \cup Цель$$

где *КТС* или *ТО* (техническое обеспечение) – комплекс технических средств системы; *ПО* – программное обеспечение (общее и специальное *ПО*); *МО* – математическое обеспечение (совокупность математических моделей, методов и алгоритмов); *ИО* – информационное обеспечение (описание сигналов, принципов классификации и кодирования информации, описание массивов, форм, нормативно-справочной и других видов информации); *ЛО* – лингвистическое обеспечение (совокупность языковых средств общения персонала с системой); *ОО* – организационное обеспечение (организационная структура и инструкции оперативному персоналу); *МетрО* – метрологическое обеспечение (средства обеспечения заданных точностных характеристик измерительных функций системы); *Цель* – цель создания системы. Все эти виды обеспечения характеризуются набором взаимосвязанных статических и динамических структур, которые формируются в процессе проектирования системы и объединяются общей концептуальной схемой для достижения целей создания при минимизации суммарных затрат [6, 7].

Цель работы

В настоящее время на железнодорожном транспорте идут процессы модернизации существующих информационных систем и их интеграции в единую автоматизированную систему управления грузо-

выми перевозками Украинских железных дорог – АСУ ГП УЗ-Е. Эти процессы должны основываться на единой архитектуре построения систем, учитывающей особенности современных и перспективных информационных технологий и систем [8].

Для этого необходимо проанализировать основные этапы и тенденции развития архитектур ИС, оценить их преимущества и недостатки, предложить перспективную архитектуру для построения и интеграции АСУ различных уровней управления.

Основные этапы совершенствования информационных систем

Архитектуру информационной системы автоматизированного управления можно рассматривать как модель, которая определяет информационно-функциональную организацию системы.

Компоненты информационной системы по выполняемым функциям можно разделить на три слоя: слой представления, слой бизнес-логики и слой доступа к данным (рис. 1).

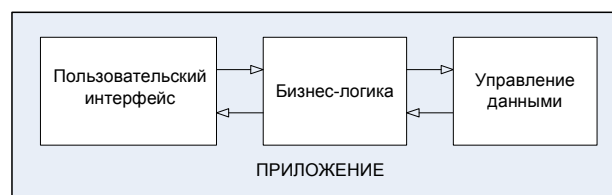


Рисунок 1 - Структура приложений информационных систем

Слой представления – все, что связано со взаимодействием с пользователем: нажатие кнопок, движение мыши, отрисовка изображения, вывод результатов поиска и т.д.

Бизнес-логика – правила, функции, алгоритмы реакции приложения на действия пользователя или на внутренние события, правила и программы обработки данных.

Слой доступа к данным - хранение, выборка, модификация и удаление данных, связанных с решаемой приложением прикладной задачей.

С точки зрения программно-аппаратной реализации компонентов информационной системы можно выделить ряд типовых архитектур ИС, которые совершенствовались с развитием сетевых технологий. Можно выделить пять основных этапов в их развитии (рис. 2).

Вначале использовались многотерминальные системы с разделением времени на базе младших моделей ЕС ЭВМ ЕС 1010, ЕС 1022, а системы реального масштаба времени строились на базе мини-ЭВМ

СМ-2М. С появлением микропроцессорных ЭВМ и локальных сетей вначале строились одноранговые сети для обмена файлами, в которых все компьютеры – равноправны, а затем возникла идея выделения отдельной машины для хранения общедоступных файлов. Это были первые 2-х уровневые системы "толстый клиент – файл-сервер" (НС-FS).

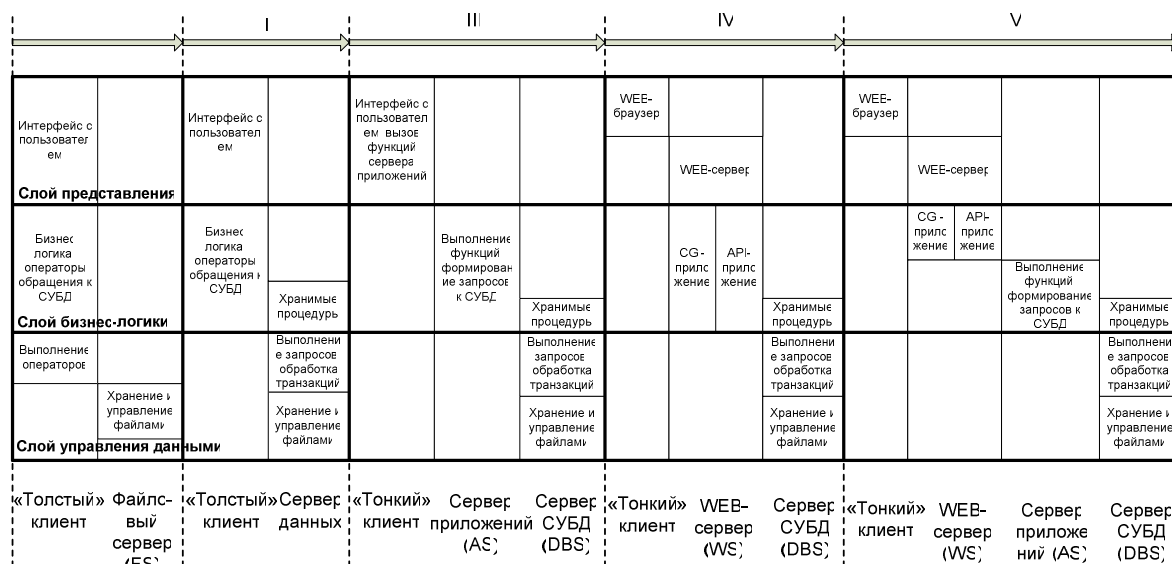


Рисунок 2 - Этапы развития архитектур ИС

Недостатки архитектуры с файловым сервером вытекают главным образом из того, что данные хранятся в одном месте, а обрабатываются в другом. Вторым важным недостатком такой архитектуры является децентрализованное решение проблем целостности и согласованности данных и одновременного доступа к данным. Такое решение снижает надежность приложений.

Следующий этап развития архитектур связан с развитием систем управления базами данных (СУБД) и абстрагированием от внутреннего представления данных (физической схемы данных). Теперь клиентские программы манипулируют данными на уровне логической схемы. Использование архитектуры "толстый клиент – сервер БД" (НС-DBS) позволило создавать надежные (в смысле целостности данных) многопользовательские ИС с централизованной базой данных, независимые от аппаратной (а часто и программной) части сервера БД.

Новая архитектура позволила обеспечить полную поддержку многопользовательской работы и гарантию целостности данных. Одновременно стали очевидны её недостатки: а) бизнес-логика прило-

жений осталась в клиенте, то есть они оставались "толстыми"; при любом изменении алгоритмов, надо обновлять пользовательское ПО на каждом клиенте; в) высокие требования к пропускной способности коммуникационных каналов с сервером, что препятствует использованию клиентских станций иначе как в локальной сети; с) слабая защита данных от взлома, в особенности от недобросовестных пользователей системы; d) высокая сложность администрирования и настройки рабочих мест пользователей системы; e) необходимость использовать мощные ПК на клиентских местах ("толстые" клиенты); f) высокая сложность разработки системы из-за необходимости выполнять бизнес-логику и обеспечивать пользовательский интерфейс в одной программе.

Нетрудно заметить, что большинство недостатков классической или 2-х слойной архитектуры клиент-сервер проистекает от использования клиентской станции в качестве исполнителя бизнес-логики ИС. Поэтому очевидным шагом дальнейшей эволюции архитектур ИС явилась идея "тонкого клиента", то есть разбиения алгоритмов обработки данных на части, связанные с отображением информации в удобном для человека представлении, с первичной проверкой данных (клиентская часть) и связанные с выполнением бизнес-функций и функций работы с базами данных (серверная часть). Это так называемая промежуточная 2,5-слойная архитектура. Однако вместе с преимуществами унитарного подхода архитектура 2,5 перенимает и все его недостатки, как-то: ограниченную масштабируемость, зависимость от программной платформы, ограниченное использование сетевых вычислительных ресурсов.

Для решения этих проблем и была предложена так называемая 3-х слойная архитектура клиент-сервер (SC-WS(AS)-DBS). Основным ее отличием от архитектуры 2,5 является физическое разделение программ, отвечающих за хранение данных (СУБД) от программ эти данные обрабатывающих (сервер приложения, application server (AS)). Такое разделение программных компонент позволяет оптимизировать нагрузки, как на сетевое, так и на вычислительное оборудование комплекса.

Преимущества трёхслойной архитектуры: а) тонкий клиент; б) между клиентской программой и сервером приложения передается лишь минимально необходимый поток данных – аргументы вызывае-

мых функций и возвращаемые от них значения; с) сервер приложения ИС может быть запущен в одном или нескольких экземплярах на одном или нескольких компьютерах, что позволяет эффективно и безопасно использовать вычислительные мощности организации; d) дешевый трафик между сервером приложений и СУБД; трафик между сервером приложений и СУБД может быть большим, однако это всегда трафик локальной сети, а их пропускная способность достаточно велика и дешева. В крайнем случае, всегда можно запустить **AS** и **DBS** на одной машине, что автоматически сведет сетевой трафик к нулю; e) снижение нагрузки на **DBS** по сравнению с 2,5-слойной схемой, а значит и повышение скорости работы системы в целом; f) дешевле наращивать функциональность и обновлять ПО.

Переход к 4-уровневой архитектуре **SC-WS-AS-DBS** произошел с развитием ИНТЕРНЕТ-технологий, когда скорости передачи данных в сети стали соизмеримы со скоростями выполнения многих приложений и существенно увеличилась нагрузка на WEB-сервер обслуживанием поступающих запросов. В это же время (с 2010 гг.) появляются технологии виртуализации вычислений и первые центры обработки данных (ЦОД) – фабрики, предоставляющие информационные услуги (сервисы) с настраиваемыми вычислительными ресурсами для хранения и обработки данных и необходимым для этого программным обеспечением для удалённых пользователей в сети. Обязательные для исполнения требования предусматривают, в частности, что ИС должны иметь трёхзвенную архитектуру, а прикладные функции реализованы на серверах приложений и доступны через их программный интерфейс. Интеграция систем должна осуществляться путём взаимодействия их серверов приложений, прямой доступ к базам данных не допустим. Необходимо построение общей корпоративной шины взаимодействия на основе протоколов, имеющих статус международных, и сервис-ориентированной архитектуры (SOA) [8].

Такая организация взаимодействия и интеграции систем позволяет говорить об их **интероперабельности**, то есть совместимости на уровне единых протоколов информационного обмена [9].

Исследование проектных характеристик системы АСУ ГП УЗ-Е

Для исследования характеристик системы АСУ ГП УЗ-Е будем использовать полную 4-х уровневую модель системы, представленную на рис. 4.

Комплексирование вычислительных ресурсов на различных уровнях осуществляется либо путём построения многомашинных систем (кластеров), либо путём использования многопроцессорных систем (симметричное мультипроцессирование – SMP). Эффективность этих вариантов определяется количеством используемых процессоров.

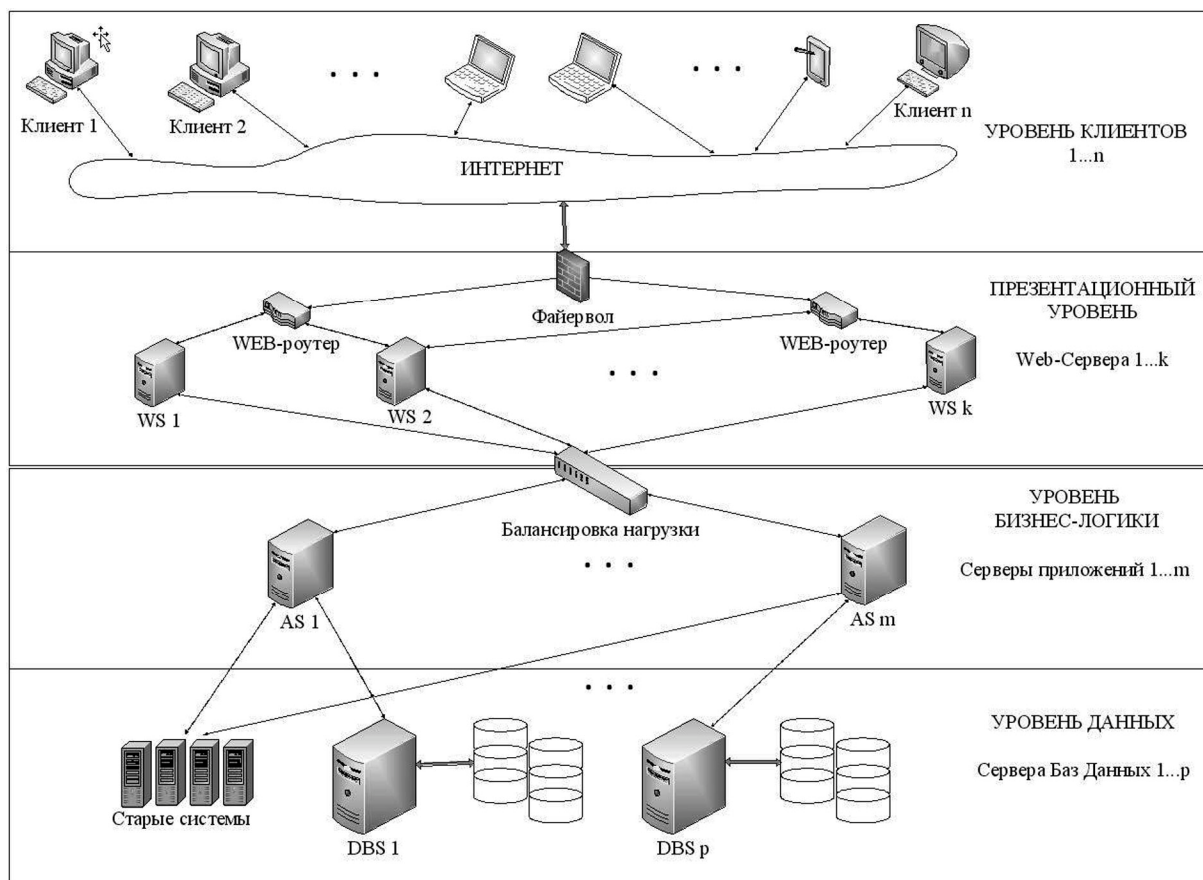


Рисунок 3 - Четырёхуровневая модель построения АСУ ГП УЗ-Е

На рис. 5 (по данным www.tpc.org) показана производительность систем на смеси (бэнчмарке) TPC-C (в количестве транзакций в минуту – $tpmC$), приходящаяся на один процессор [10]. TPC-C предполагает, что >90% транзакций имеют ограничение на время ответа (в среднем 5 секунд).

Мультипроцессорная SMP
и кластерная масштабируемость

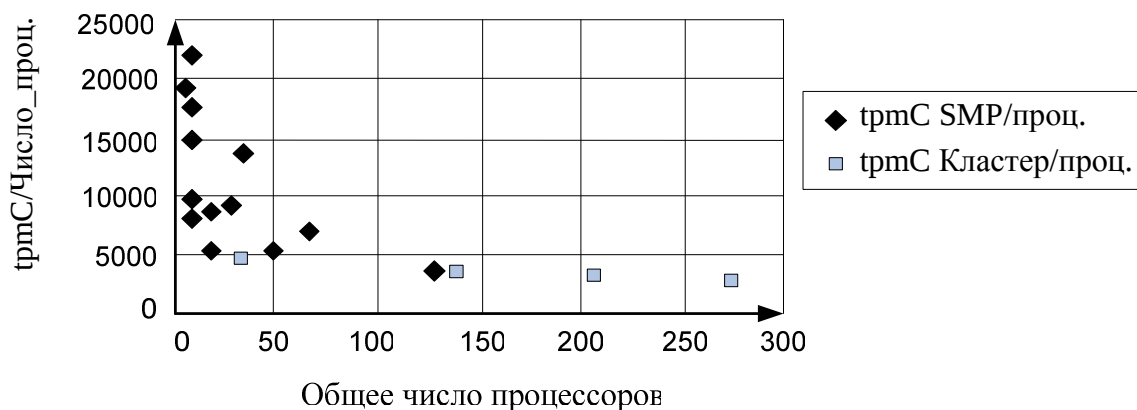


Рисунок 4 - SMP и кластерная масштабируемость

Таким образом, для системы АСУ ГП УЗ-Е можно рекомендовать при большом количестве серверов использовать кластеризацию (например, на уровнях **WS**, **AS**) и технологию SMP при количестве до 15 серверов (уровень **DBS**).

В короткой истории развития компьютерных систем можно четко выделить ряд основных этапов, которые характеризуются преобладающей архитектурой построения таких систем (см. рис. 2):

- 1 – **HC-FS**
- 2 – **HC-DBS**
- 3 – **SC-AS-DBS**
- 4 – **SC-WS-DBS**
- 5 – архитектура с четырьмя и более уровнями (**SC-AS-WS-DBS**)

Этот перечень архитектур можно дополнить еще двумя архитектурами

- 6 – одноранговая (пиринговая, p2p) архитектура
- 7 – сервис-ориентированная архитектура
- 8 – сетцентрическая сервис-ориентированная архитектура.

Каждая новая архитектура появляется в следствие повышения сложности информационных систем: размер хранимой информации каждый год удваивается, число пользователей систем увеличивается в геометрической прогрессии, появляются различные сервисы, работающие на различных платформах и т.д. Современным решением этой проблемы явился сетцентрический подход к проектированию

информационных систем, в основе которого лежит сервис-ориентированная архитектура.

Сервис-ориентированная архитектура (service-oriented architecture, **SOA**) – модульный подход к разработке информационных систем, в основе которого лежит разработка сервисов со стандартизированными интерфейсами [8, 11].

Отметим только одну основную характеристику сетевых систем, которая важна для ИС реального времени. Это скорость принятия решений (speed of command) – время, необходимое для прохождения полного цикла Бойда "Наблюдение – Ориентация – Решение – Действие (Observe – Orient – Decide – Act, **OODA**) [11]. Такой цикл включает в себя: сбор информации с внутренних и внешних источников – наблюдение; формирование множества возможных вариантов и оценка каждого из них по совокупности критериев – ориентация; выбор наилучшего плана действий для практической реализации – решение; практическая реализация избранного плана действий – действие. Очевидно, что количество уровней иерархии или этапов в принятии решения по **OODA** не должно превышать четыре. Основу таких систем составляют Центры обработки данных (ЦОД) [12, 13].

В настоящее время АСУ ГП УЗ-Е можно представить как сетевую, сервис-ориентированную, 4-х уровневую информационную систему реального времени

Выводы

В исследовании систематизированы этапы развития архитектур информационных систем: **HC-FS**, **HC-DBS**, **SC-AS-DBS**, **SC-WS-DBS**, **SC-AS-WS-DBS**, p2p-архитектура, сервис-ориентированная архитектура, сетевая сервис-ориентированная архитектура.

В работе впервые исследованы проектные характеристики новой системы управления грузовыми перевозками Украинских железных дорог – АСУ ГП УЗ-Е, даны рекомендации по использованию кластерных и мультипроцессорных структур в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федюшин Ю.М. Информатизация железнодорожного транспорта Украины / Ю.М. Федюшин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. – №4. – С.3 – 5.
3. Бочаров А.П. Разработка и внедрение корпоративной информационной системы: основные положения и проблемы / А. П. Бочаров, П. П. Науменко, Ф. А. Карбинский Ф.А., В.А. Шиш В.А. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – № 5. – 2012. – С. 3 – 8.
4. Dave Peter. System Design Strategies / Peter Dave // An ESRI White Paper. – 2003, February
5. Всероссийская практическая конференция «Стандарты в проектах современных информационных систем» // Computerworld Россия, №20, 2003. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:URL: <http://www.osp.ru/cw/2003/20/64757/>.
6. Ключевая роль транспорта в современном мире / Косолапов А. А. [и др.]; – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – 125 с.
7. Косолапов А.А. Методология автоматизированного системного анализа и проектирования как основа создания информационно-управляющих вычислительных систем и сетей / А. А. Косолапов // Информационные технологии на железнодорожном транспорте “ИНФОТРАНС-96”. – СПб.: Академия транспорта РФ, ПГУПС, 1996. – С. 332–341.
8. Трутнев Д. Р. Архитектуры информационных систем. Основы проектирования: Учебное пособие / Д. Р. Трутнев – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 66 с.
9. Кинаш С.А. Унификация архитектурных решений для АСУ РЖД / С. А. Кинаш // Автоматика, связь, информатика. – №7. – 2007. – С. 20–21.
11. Кузнецов С. Переносимость и интероперабельность информационных систем и международные стандарты / С. Кузнецов // Computer World. – № 4. – 1996. – С. 10–11.
13. Ren J. Cheavance Server Architectures. Multiprocessors, Clusters, Parallel Systems, Web Servers, and Storage Solutions / J. Ren // Elsevier Digital Press USA. – 2005. – 709 p.
14. Душкин Д.Н. Сетецентрические технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований / Д. Н. Душкин, М. П. Фархадов // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 21–29.
15. Туманова Т. Единый Центр обработки данных заработал в Укрзализныце / Т. Туманова /// УНН. – 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:URL: <http://www.unn.com.ua/>.
16. Плотникова А. АСК ВП УЗ-Е — 20 дней спустя // А. Плотникова / Всеукраинская транспортная газета "Магистраль", 01.08.2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:URL: www.magistral-uz.com.ua/.

Т.Л. Мазурок

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Исследованы, обобщены и классифицированы необходимые преобразования, реализующие синергетическую модель автоматизированного управления организационно-техническими системами.

Ключевые слова: синергетическое управление, интеллектуальный преобразователь, автоматизированная система управления.

Введение

Устойчивая тенденция увеличения круга задач, связанных с автоматизацией управления, приводит к расширению применения средств автоматизированного управления от сугубо технических к организационно-техническим системам (ОТС), в состав которых входит человек. Механический перенос средств кибернетического управления на такие системы не позволяет получить ожидаемую эффективность. В то же время методология создания и использования автоматизированных систем управления организационно-техническими объектами находится на этапе формирования.

Постановка проблемы

Создание условий для повышения эффективности управления ОТС основывается на развитии кибернетического подхода. Однако, противоречие между постоянно возрастающими требованиями к усовершенствованию адаптивных средств управления объектами со слабой структурированностью и высокой степенью неопределённости, и отсутствием общей методологии их автоматизации требует существенного пересмотра основ теории и практики кибернетического подхода к ОТС на основе применения современной методологии системного анализа к теории управления. Так, современная методология системного анализа базируется на взаимодополняющих подходах – системном, синергетическом и информационном, что позволяет более глубоко изучать сложные процессы, объекты и задачи управления.

Основной синергетический постулат «не навязывания» извне управляющего воздействия на основе учёта собственных тенденций саморазвития объекта управления является очень важным для ОТС в силу специфики их природы [1].

Процессы, происходящие в ОТС, описывается наряду с формализованными и слабо структурированными задачами в условиях неполной информации, также классом задач смешанного типа, использующих как аналитические, так и эвристические модели определения предпочтений. Последний класс задач характеризуется случайным характером внешних воздействий, априорной неполнотой информации, неопределенностью целей. Поэтому разработка систем управления процессами, происходящими в ОТС, целесообразна на основе использования средств искусственного интеллекта, реализующих синергетическую модель управления.

Анализ публикаций по теме исследования

Синергетический подход к управлению представляет собой развитие системного подхода, позволяющее исследовать управляющую деятельность. Учёт синергетических закономерностей существенно изменяет традиционные представления об управлении. В таких сложноорганизованных системах, как ОТС, невозможно извне навязывать пути развития. При управлении такими системами всё большее применение находят методы формирования управляющих воздействий, которые согласованы с внутренними тенденциями развивающихся систем. Различные аспекты такого подхода рассмотрены в работах Князевой Е.Н., Колесникова А.А., Курдюмова С.П., Пугачёвой Е.Г., Чалого А.В., Гайдеса М.А., Шаброва О.Ф. и др. В решении проблем управления переход от классических методов кибернетики к современным методам синергетики связан с решением крупных самостоятельных задач в тех предметных областях, к которым относится соответствующий объект управления. Анализ существующих средств реализации синергетического управления показывает, то что наиболее рациональным является применение нечётких регуляторов, многослойных нейронных сетей, эволюционных методов, а также их гибридизация. Однако, в связи с отсутствием общей методологии создания систем автоматизированного управления ОТС, *актуальной и нерешённой проблемой* является разработка моделей, методов и средств

информационного и программного обеспечения для создания и использования таких систем.

Цель статьи

Целью данного исследования является описание, классификация основных параметрических преобразований в синергетической модели управления, определение функций управления и средств их реализации.

Особенности синергетической модели управления

Современные ОТС представляют собой, как правило, сложные социотехнические объекты, состоящие из большого количества разрозненных подсистем, которые в общем случае не имеют адекватного формального описания. Поэтому рассмотрим процесс управления ОТС с позиции теории самоорганизации сложных упорядоченных систем, применив так называемый синергетический подход. Такой подход является целесообразным т.к. такие системы относятся к классу нелинейных диссипативных динамических систем. Следовательно, учёт в процессе анализа «синергетических» свойств и особенностей, характерных для них, даёт возможность определить параметры процесса управления. Основу синергетической модели управления педагогической системой, относящейся к ОТС, составляет двухклассовая модель «знаний и умений» управления обучением с вектором состояния (x, y) и вектором управления (U, h) , которая имеет следующий вид [2]:

$$\frac{dx}{dt} = fUy,$$

$$\frac{dy}{dt} = c(1 - U)xy, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}(Ux + (1 - U)y) = \frac{h(t)}{1 + r} + \frac{c - f}{1 + r}(Ux + (1 - U)y),$$

где $h(t)$ – скорость выдачи информации,

r – коэффициент сопротивления дидактическому процессу,

f – коэффициент забывания,

c – коэффициент умозаключения,

U – доля времени, отведённая на накопление знаний,

S – нормированное количество информации ($0 < S < 1$),

x, y – нормированные объёмы накопленных знаний и умений.

Инвариантное многообразие в фазовом пространстве синергетического метода управления системой, задаётся с помощью аналитически полученного уравнения, связывающего координаты состояния и управления:

$$(1 + r)e^{\alpha t}(Ux + (1 - U)y) = \beta + \int e^{-\alpha t}h(t)dt, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{c - f}{1 + r}$, β - произвольные постоянные.

Таким образом, аналитически получена формулировка задачи управления в виде выбора параметров скалярного регулятора.

Описание и классификация основных параметрических преобразований

Декомпозиция обобщённой схемы управления обучением позволяет определить основные процедуры, функционирование которых обеспечивает принятие управляющего воздействия [3]. К таким процедурам относятся: идентификация вектора интеллекта и вектора состояний; сопровождение процесса обучения со стороны экспертной системы; формирование графа обучения на основе модели учебной дисциплины; процедуры прогноза параметров вектора состояния и планирование последовательности учебных элементов; оперативное планирование; контроль; вызов подсистем управления; передача параметров между блоками системы в надсистему управления.

Наиболее существенными признаками, определяющими инструментарий реализации схемы управления обучением, являются следующие: степень неопределённости параметров; степень неопределённости алгоритма; тип управления. К особенностям процесса обучения относится достаточно большое количество входных параметров, которые в соответствии с дидактическими требованиями должны быть учтены при управлении. Однако, при определении параметров процесса обучения существует несколько проблем:

- перечень наиболее существенных параметров, методы их оценивания постоянно изменяются. В нашем исследовании за основу выбраны параметры диагностично заданной цели обучения [4];

- значительная часть параметров является непараметризованными, поэтому не существует однозначных процедур измерения и качественные показатели преобладают над количественными;

– основным способом получения значений параметров является субъективное оценивание со стороны преподавателя;

– экспертное оценивание параметров характеризуется неопределённостью, неточностью, нечёткостью, неоднозначностью и неполнотой.

Однако, не смотря на перечисленные проблемы, которые учитываются при реализации автоматизированной системы управления обучением (АСУ-О) и её информационного обеспечения, рассмотрим формализованное описание структурно-функциональных схем (рис.1). Основу формализации составляет преобразование, в котором определены вход (V), выход (W), преобразователь (П), ресурсы (R) и средства (S). Под *преобразователем* понимаем методику, формализованный или компьютерный алгоритм преобразования входных параметров в выходные. В качестве средств будем рассматривать инструментарий автоматизации определённых преобразований.

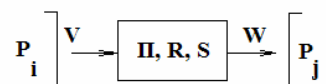


Рисунок 1 – Унифицированная схема преобразователя

Например, для подсистемы управления процессом изучения учебного элемента (УЭ) множество входных параметров $V_{уэ}$ образует вектор из трёх множеств:

$$V_{уэ} = \{P_1, P_2, P_3\}, \quad (3)$$

где P_1 - идентификатор УЭ;

P_2 - вектор интеллекта, который отражает результативность обучения с помощью коэффициентов забывания и умозаключения;

P_3 - диагностично заданный вектор цели обучения.

$$W_{уэ} = \{P_4, P_5, P_6\}, \quad (4)$$

где P_4 - вектор состояния, определяющий результативность обучения с помощью относительных значений объёма накопленных знаний и сформированных умений;

P_5 - характеристика отклонения по времени достижения цели;

P_6 - характеристика отклонения по достижению цели.

Перечисленные параметры можно сгруппировать следующим образом:

- детерминированные параметры: вектор цели обучения, вектор его фактического достижения, вектор отклонения цели и времени обучения;
- параметры, имеющие вероятностный характер: параметры вектора интеллекта и вектора состояния;
- неопределёнными являются параметры вектора управления и информация о коррекции процесса обучения.

В соответствии с данным распределением алгоритмы преобразования можно классифицировать по степени определённости: до полностью детерминированных алгоритмов относятся алгоритмы вычисления параметров вектора цели обучения, их фактических значений и отклонений, а также алгоритмы вычисления отклонения временных характеристик обучения. Определение параметров вектора интеллекта связано с применением экспертных оценок, а также извлечением информации на основе статистических данных наблюдений за результатами обучения. Таким образом, эти алгоритмы относятся к алгоритмам с высокой степенью неопределённости, что требует применения интеллектуальных средств для реализации соответствующих преобразований. Данные преобразования относятся по классификации задач управления к задачам идентификации и прогнозирования.

Преобразование V в W характеризуется высокой степенью неопределённостью параметров вектора интеллекта и вектора состояний, прогнозируемых значений времени и достижения цели обучения. Алгоритм преобразования тоже является недетерминированным. Поэтому реализация таких преобразований целесообразна на основе синтеза аналитического определения параметров с процедурой логического вывода. Определение параметров вектора управления в условиях существующих накопленных данных наиболее эффективно реализовать средствами обученной нейронной сети [5].

С помощью аналогичных рассуждений для всех элементов вложенной схемы управления, обобщая описание основных параметрических преобразований, классифицируя их по типу функции управления и средствам реализации, получим результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Классификация параметрических преобразований

Обозначение преобразования по структурно-функциональной схеме		Тип функции управления	Средства реализации преобразования
АСУ УЭ	$P_1 \rightarrow P_5$	Анализ, идентификация	Аналитические, статистические, экспертные, нейросетевые
	$P_2 \rightarrow P_4$	Прогнозирование	Статистические и эволюционные
	$P_3 \rightarrow P_6$	Контроль, анализ	Аналитические, логический вывод
АСУ УД	$P_7 \rightarrow P_{11}$	Анализ, прогноз, планирование, оперативное планирование	Аналитические, статистические, нейросетевые
	$P_8 \rightarrow P_{10}$	Прогнозирование	Статистические и эволюционные
	$P_9 \rightarrow P_{12}$	Контроль, анализ	Аналитические, статистические, логический вывод
АСУ КМП	$P_{13} \rightarrow P_{18}$	Анализ, прогноз, планирование, оперативное планирование	Аналитические, статистические, нейросетевые
	$P_{14} \rightarrow P_{17}$	Прогнозирование	Статистические и эволюционные
	$P_{15} \rightarrow P_{19}$	Контроль, анализ	Аналитические, статистические, логический вывод
	$P_{16} \rightarrow P_{18}$	Идентификация, прогноз, планирование	Аналитические, нейро-нечёткий логический вывод, нейросетевые, эволюционные
	$P_{16} \rightarrow P_{19}$		
АСУ СКМП	$P_{20} \rightarrow P_{25}$	Анализ, прогноз, планирование, оперативное планирование	Аналитические, статистические, нейросетевые
	$P_{21} \rightarrow P_{24}$	Прогнозирование	Статистические и эволюционные
	$P_{22} \rightarrow P_{26}$	Контроль, анализ	Аналитические, статистические, логический вывод
	$P_{23} \rightarrow P_{25}$	Идентификация, прогноз, планирование	Аналитические, нейро-нечёткий логический вывод, нейросетевые, эволюционные

Таким образом, декомпозиция схемы управления и последующий анализ степени неопределённости параметров и их основных преобразований, позволили определить основные типы функции управления, средства реализации. Однако, функционирование схемы управления обеспечивается также следующими элементами: графом обучения, моделью межпредметных связей, моделью системы компетенций, взаимосвязями между последними двумя моделями.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В соответствии с наметившейся в последнее время устойчивой тенденцией, которая проявляется в учёте особенностей саморазвития системы в кибернетических методах управления, показаны особенности синергетического подхода к моделированию одного из видов ОТС – системы управления обучением. Исследованы, обобщены и классифицированы необходимые преобразования, реализующие синергетическую модель управления по вложенной структурно-функциональной схеме. Полученные результаты составляют основу для последующей разработки и внедрения наиболее целесообразных программных средств с использованием гибридных интеллектуальных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. М.: УРСС. – 2006. – 240 с.
2. Мазурок Т.Л. Синергетическая модель индивидуализированного управления обучением // Математические машины и системы. – 2010. – №3. – С. 124-134.
3. Мазурок Т.Л. Интеллектуальное управление процессом усвоения межпредметных знаний / Т.Л. Мазурок // Управляющие системы и машины. – 2010. – №2. – С. 22-29.
4. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). – М.: МПСИ, 2002. – 352 с.
- Терехов В.А. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов. – М.: ВШ, 2002. – 183 с.

Т.Б. Никитина, А.В. Волошко, М.О. Татарченко

**СИНТЕЗ АНИЗОТРОПИЙНОГО РЕГУЛЯТОРА
КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РОБАСТНОГО
УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Разработана методика синтеза анизотропийного робастного регулятора комбинированной системы робастного управления скоростью двухмассовой электромеханической системы. Приведен пример сравнения динамических характеристик синтезированной системы робастного управления с анизотропийным регулятором с системой с типовым регулятором.

Ключевые слова двухмассовая электромеханическая система, анизотропийное робастное управление, экспериментальные исследования.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. Центральной проблемой современной теории и практики автоматического управления является создание систем, способных обеспечивать высокую точность управления при интенсивных задающих и возмущающих воздействиях широкого спектра частот.

Анализ последних достижений и публикаций. Для повышения точности управления в последнее время в ряде отечественных и зарубежных работ появилось направление по созданию систем комбинированного управления на основе синтеза систем робастного управления, в которых используется управление как по разомкнутому, так и по замкнутому контуру – т.е., по сути – комбинированное управление. Такое управление в англоязычной литературе называется «2-degree-of-freedom H_∞ design» – робастное управление удвоенной размерности степени свободы [1-2]. Характерным режимом работы многих систем управления является отработка случайных задающих воздействий либо компенсация случайных внешних возмущающих воздействий широкого спектра частот. Поэтому вопросы проектирования систем управления, работающих при случайных задающих и возмущающих

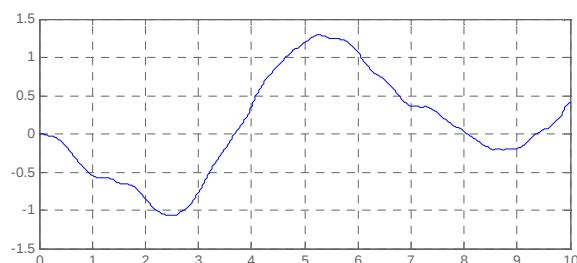
воздействиях, являются актуальными [3]. Однако в этих работах не рассмотрены вопросы синтеза стохастических систем комбинированного робастного управления.

Цель статьи. Целью статьи является разработка методики синтеза комбинированных систем стохастического робастного управления, у которых используется информация о задающем и возмущающем воздействиях для минимизации анизотропийной нормы системы. Задачей статьи является синтез и исследование динамических характеристик стохастической робастной системы управления двухмассовой электромеханической системы.

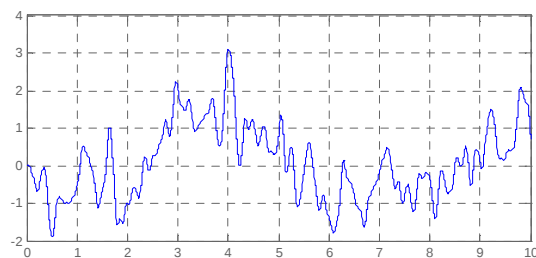
Изложение материала исследования и полученных результатов.

Для формирования управления используется информация о задающем и возмущающем воздействиях для получения минимальной анизотропийной нормы ошибки отработки системой задающего воздействия и компенсации возмущающего воздействия. Условия инвариантности фактически формулируются в виде минимизации анизотропийной нормы передаточной функции ошибки отработки системой задающего воздействия и анизотропийной нормы передаточной функции компенсации системой возмущающего воздействия. При таком подходе в робастной системе фактически реализуется комбинированное управление, в которой сочетается управление с обратной связью по выходу объекта управления и управление по разомкнутым циклам как по задающему, так и по возмущающему воздействиям. При этом регуляторы разомкнутых цепей управления представляют пропорциональные регуляторы по переменным состояниям моделей задающего и возмущающего воздействий, а сами разомкнутые цепи управления являются робастными компенсаторами и представляют собой динамические блоки, порядки дифференциальных уравнений которых при использовании наблюдателей полного порядка равны порядкам дифференциальных уравнений моделей задающего и возмущающего воздействий. Заметим, что коэффициенты усиления робастных регуляторов по переменным состояниям наблюдателей задающего и возмущающего воздействий фактически соответствует коэффициентам усиления при формировании разомкнутых цепей управления по задающему и возмущающему воздействиям классической теории инвариантности, а с помощью наблюдателей векторов состояния

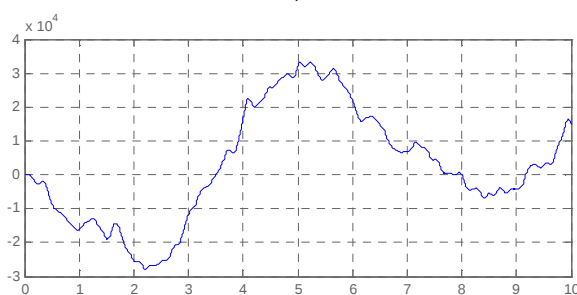
восстанавливаются производные соответствующих порядков задающего и возмущающего воздействий. Однако в отличие от классической теории инвариантности при робастном управлении с помощью наблюдателей состояния осуществляется фильтрация помех измерений задающего и возмущающих воздействий.



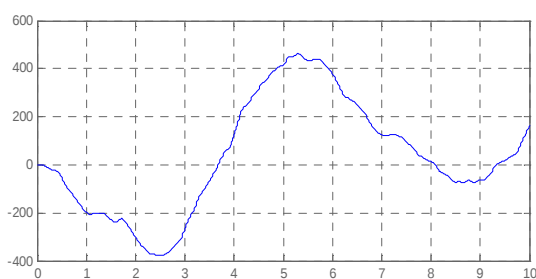
а)



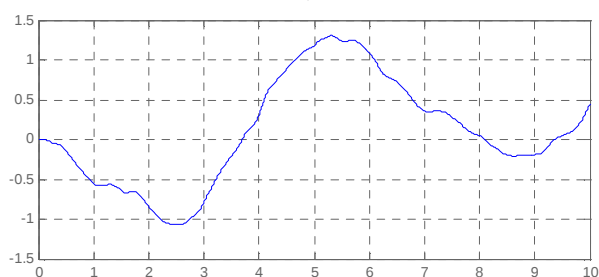
а)



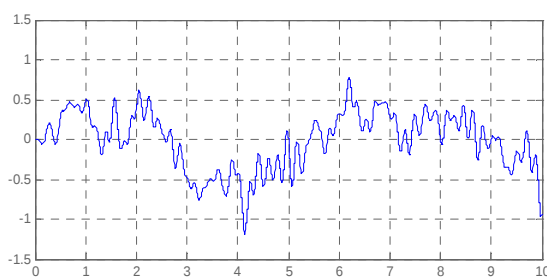
б)



б)



в)



в)

Рисунок 1 - Переходные процессы в системе с типовым регулятором

Рисунок 2 - Переходные процессы в системе с анизотропным регулятором

Результаты экспериментальных исследований. Рассмотрим результаты моделирования системы стабилизации скорости вращения двух массовой электромеханической системы при действии случайного изменения момента сопротивления на приводной механизм. Случайное изменение момента сопротивления формируется от генератора случайных чисел с помощью формирующего фильтра с передаточной функцией колебательного звена. На рис.1 показаны реализации случайных процессов переменных состояния двух массовой электромеханической системы с типовым регулятором, а на рис. 2 показаны реализации случайных процессов тех же переменных

состояния системы с робастным регулятором. На рисунках показаны следующие переменные состояния системы

а) скорость вращения двигателя, б) – момент упругости и в) – скорость вращения механизма.

Как видно из этих рисунков, применение робастных регуляторов позволило уменьшить ошибку регулирования скорости вращения механизма примерно в два раза.

Выводы из приведенного исследования, перспективы этого направления. Для повышения точности систем управления в работе рассматривается синтез анизотропийных регуляторов комбинированных систем робастного управления электромеханическими системами, с помощью которых минимизируется анизотропийная норма в форме пространства состояний. При этом фактически используется комбинация стохастической нормы системы и средней анизотропии случайного сигнала, что и приводит к одному из вариантов стохастической нормы, названной анизотропийной нормой. Такой регулятор формирует управляющее воздействие на вход системы по ее измеряемому выходу и представляет собой динамический блок типа компенсатора, объединяющий робастный наблюдатель и робастный регулятор.

Разработана методика синтеза анизотропийного регулятора комбинированной системы робастного управления скоростью двухмассовой электромеханической системы. Приведен пример сравнения динамических характеристик синтезированной системы робастного управления с анизотропийным регулятором и системы с типовым регулятором. Показано, что применение робастных регуляторов позволило уменьшить ошибку регулирования скорости вращения механизма примерно в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hoyle D., Hyde R., Limebeer D.J.N. An H^∞ approach to two-degree-of-freedom design / Proceedings of the 30 th IEEE Conference on Decision and Control. – Brighton: 1991. – P. 1581-1585.
2. Limebeer D.J.N., Kasenally E.M., Perkins J.D. On the design of robust two degree of freedom controllers / Automatica. – 1993. – №29. – P. 157 – 161.
3. Никитина Т.Б. Синтез анизотропийного стабилизатора основного вооружения танка в горизонтальной плоскости / Технічна електродинаміка. – 2009. – №2. – С. 35-40.

Е.Ю. Островская, А.И. Михалев

**ФОРМИРОВАНИЯ АДРЕСНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ КЛИЕНТОВ
С УЧЕТОМ ИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ
МЕТОДАМИ DATA MINING**

Анотація. Розглянуто ситуацію на прикладі сегментації покупців з використанням методів Data Mining на прикладі одного з найбільш популярних підходів до підвищення лояльності - Direct Marketing.

Ключові слова: сегментація, клієнт, лояльність, пропозиція, методи, Data Mining

Введение. В настоящее время практически все компании признают высокую ценность преданных клиентов. Многие пытаются внедрять программы повышения лояльности, ведь общепризнано, что удержание старых клиентов обходится компании дешевле, нежели привлечение новых. Экономятся затраты на рекламу, на различные акции по продвижению товаров и услуг, на вознаграждение торговых агентов, поощряемых за привлечение новых клиентов, и т.д. А сама лояльность превращается в один из главных критериев успешности бизнеса.

Значение лояльности как фактора конкурентоспособности подтверждается конкретными статистическими данными. Низкий уровень лояльности в деловой среде снижает показатели эффективности экономической деятельности на 25 – 50%, а иногда и больше. Повышение коэффициента удержания постоянных потребителей на 5% в зависимости от отрасли приводит к росту стоимости покупок, сделанных средним покупателем, на 25 – 100%. И в большинстве отраслей прибыль от каждого клиента растет по мере увеличения его сотрудничества с компанией. Как правило, для компенсации потерь от одного ушедшего старого клиента необходимо привлечь несколько новых.

Однако мало где существует полноценная работающая программа по удержанию клиентов и привлечению новых. В большинстве случаев все действия компаний сводятся к так называемым пря-

мым методам поощрения, адресованным всем клиентам: к начислению и списанию бонусов, к раздаче скидок, проведению разовых акций. Очевидно, что во всех этих случаях желаемая цель до конца не достигается. Единичные операции не позволяют работать с лояльностью на регулярной основе, а раздача скидок всем без учёта потребностей и заинтересованности приводит к потерям. Скидки нужно предоставлять клиентам, учитывая их ценность для компании, иначе затраты на их удержание могут превысить доходы от работы с ними. Тем более приверженность клиентов конкретной компании по факту определяется не только активными действиями торговых компаний по их удержанию и полезными персональными предложениями, но и совершенно другими факторами, среди которых можно отметить: местоположение магазина, цена товаров, их качество, уровень сервиса и др.

Трудоёмкость запуска программы лояльности. Когда руководство любой компании приходит к выводу о том, что нужно что-то менять в своей работе с клиентами и решает запустить программу лояльности, то для её старта и последующего полноценного функционирования необходимо ответить на множество трудных вопросов:

- Кто является вашим клиентом, на какие сегменты они разбиты и что отличает один сегмент от другого?
- Какие факторы влияют на поведение, какова структура потребления?
- Через какие каналы на них можно воздействовать, какова отдача от этого?
- Как измерить лояльность, какие факторы говорят об изменении тенденций?
- и многое другое...

Согласно данным "Maritz Loyalty Marketing", оператора программ клиентской лояльности, постоянное снижение отпускной цены с целью увеличения числа продаж приносит розничной торговле больше вреда, чем пользы. Сейчас традиционные "ценовые войны" не дают эффекта, поскольку потребителю нужно от продавца нечто большее, чем просто низкие цены. Низкая цена, массовая реклама и традиционный маркетинг не гарантируют успешные продажи.

Поэтому применение методов моделирования – единственный способ поставить процесс на поток, то есть решить не разовую задачу, а запустить механизм систематического повышения лояльности.

Рассмотрим ситуацию на примере сегментации покупателей – одного из наиболее важных решений любого предприятия. Идея довольно простая: разделите ваших клиентов на категории и взаимодействуйте с ними по-разному. После этого вы будете иметь возможность представлять разным клиентам товары и услуги, которые в большей степени соответствуют их запросам. Сегодня сегментация потребительского рынка уже не является вспомогательным инструментом маркетинга, она приобретает ключевое значение для достижения успеха компании.

Если мы хотим сформировать интересные для компании и привлекательные для клиентов предложения, то нужно учесть особенности каждой группы-сегмента. Даже для небольшого проекта по повышению лояльности необходим учет интересов сотен различных групп, сильно отличающихся друг от друга.

Например, при проведении сегментации по критерию "Пол" мы получим два сегмента – "Мужчины" и "Женщины". Если добавить признак "Возраст" (допустим, 5 групп), то получим $2 \times 5 = 10$ сегментов. Если введем критерий "Доход" (ещё 5 групп), получаем $2 \times 5 \times 5 = 50$ сегментов. Нетрудно представить, как увеличивается количество сегментов при добавлении хотя бы ещё одного критерия и насколько возрастают трудозатраты данной операции, особенно у предприятий в сфере торговли, у которых накапливаются огромные объемы информации о фактическом потреблении, которые можно и нужно использовать для продвижения товаров. Тем более технологический прогресс и наличие методов Data Mining на текущий момент позволяют это делать.

Data Mining в Direct Marketing. Рассмотрим более подробно использование методов Data Mining на примере одного из наиболее популярных подходов к повышению лояльности – Direct Marketing. Если говорить в общем, то Direct Marketing – это формирование адресных предложений клиентам с учетом их предпочтений. Идея этого направления маркетинга проста: предложить нужный товар нужным людям в нужное время и в нужном месте.

Можно разделить проведение директ-маркетинговой компании на следующие этапы (рис.1):

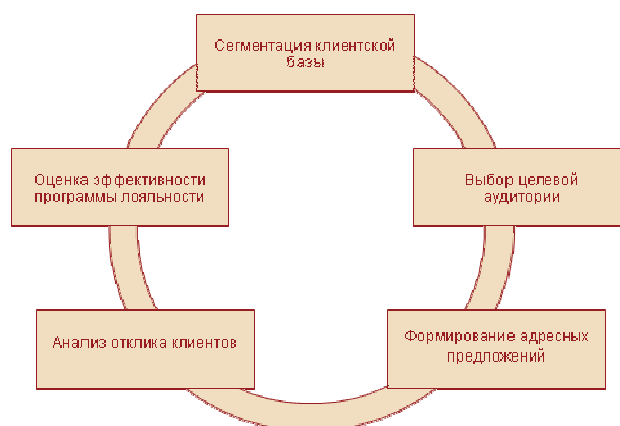


Рисунок 1 – Этапы Direct Marketing

Рассмотрим, как можно и нужно использовать Data Mining на каждом из этих этапов.

1. Сегментация клиентской базы. Так как одна из главных выгод, которую компании могут извлечь из применения программы лояльности, – это возможность сфокусировать свое внимание на определенной группе клиентов, которые дают максимальную отдачу, то важным моментом для эффективности программ их поощрения является процедура сегментирования клиентской базы и отбора наиболее привлекательных потребителей. И далее можно строить отношения с клиентами, входящими в определённые сегменты, обладающие общими признаками. Это позволяет создавать специальные маркетинговые программы.

Сегментирование целевой аудитории и исследование ее потребностей – пункты, обязательные для выполнения. Если не удастся заинтересовать клиентов, то программа лояльности просто не будет работать.

Но сегментация клиентской базы на основе примитивных правил, например, сочетания "Пол + Возраст", не отражает реальной сложной структуры клиентов. Совершенно очевидно, что на предпочтения влияет еще множество других факторов в очень сложных сочетаниях, начиная от географии клиентов и заканчивая, например, их среднегодовым доходом. Для построения качественных моделей сегментации необходимо отойти от примитивных методов группировки и использовать адекватные многомерные и желательно самообучающие-

ся Data Mining алгоритмы сегментации, например, карты Кохонена, которые позволяют не только производить сегментацию объектов, но и выполнять визуализацию ее результатов с помощью многомерного проецирования. На рисунке 2 можно увидеть построенные карты, на которых клиенты разбиты на 4 сегмента (кластера) в зависимости от их предпочтений в продуктах питания, алкоголе и табаке и времени совершения покупок.

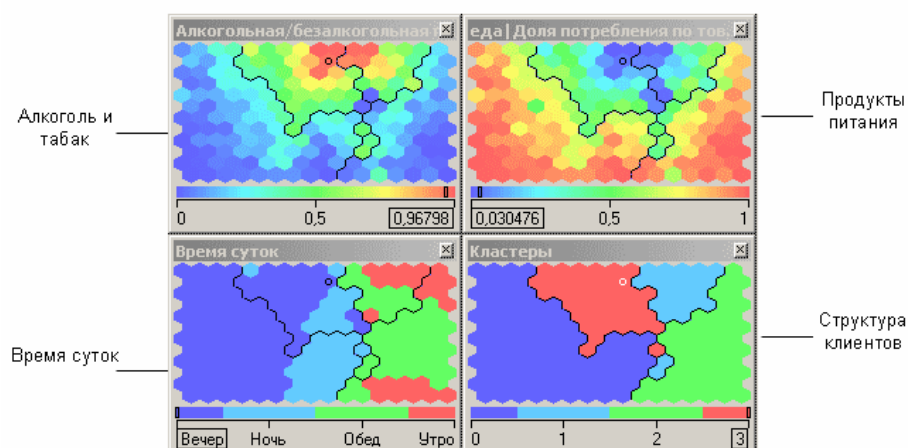


Рисунок 2 – Пример применения карт Кохонена для сегментации клиентов

2. Выбор целевой аудитории. При реализации товаров и услуг очень важно понять, кто будет являться конечным потребителем, поэтому ключевой момент директ-маркетинга – это создание списка клиентов, которые могут быть заинтересованы в конкретном товаре или услуге, то есть выбор целевой аудитории для конкретных действий. Правильный выбор может дать отличные результаты, т.е. эффективность мероприятий может возрасти в несколько раз.

Поэтому после выявления сегментов необходимо проанализировать их:

- Оценить размеры и статистические характеристики.
- Рассчитать финансовые характеристики сегментов, их потенциал, привлекательность, перспективность.
- Понять, какие характеристики определяют интересные сегменты, чем они отличаются от остальных.
- Определить, какую стратегию лучше применить к каждому сегменту: снижение издержек, cross-sell, up-sell или что-либо другое.

Инструменты Data Mining позволяют не только провести сегментацию, но и интерпретировать полученные результаты при помощи специализированных механизмов визуализации (рис.3).

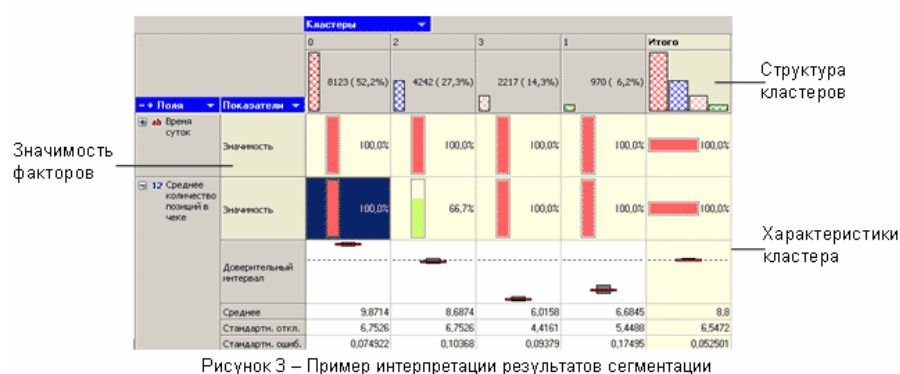
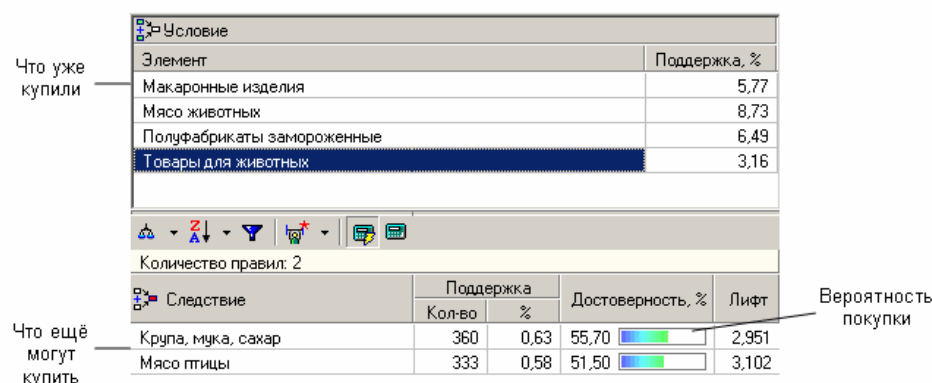


Рисунок 3 – Пример интерпретации результатов сегментации

3. Формирование адресных предложений. Очевидно, что чем точнее можно предсказать, какой продукт или услуга заинтересуют представителей каждого сегмента, тем больший эффект можно ожидать от адресных обращений. Правильно сформированные предложения повышают лояльность и доходность, а неграмотно подготовленные не только не приносят пользу, но еще и раздражают клиентов. Инструменты Data Mining включают алгоритмы, такие как ассоциативные правила, позволяющие автоматически находить взаимосвязи между товарами и формировать предложения, на которые, скорее всего, клиент среагирует (см. рис. 4). На рисунке 4 можно увидеть пример работы ассоциативных правил: товары, указанные в окне "Следствие", будут приобретены вместе с уже выбранными товарами (окно "Условие") с вероятностью, определённой в столбце "Достоверность".



4. Анализ отклика клиентов. Оценка удовлетворенности клиента – это еще одна важная составляющая любой маркетинговой программы. Отслеживание откликов позволяет определять самые продуктивные методы. Ведь просто наличие адресных предложений, даже сформированных при помощи очень качественных алгоритмов анализа, не гарантирует желаемый отклик, т.к. на любой экономический процесс влияет огромное количество фактов. Поэтому необходимо после каждого маркетингового действия анализировать отклик на него, выявлять причины, оказывающие влияние на процесс. Следует учитывать даже отрицательные ответы и причины отказа с тем, чтобы в дальнейшем избежать допущенных ошибок. В арсенале Data Mining присутствуют алгоритмы, позволяющие оценивать влияние факторов, находить закономерности, например, деревья решений.

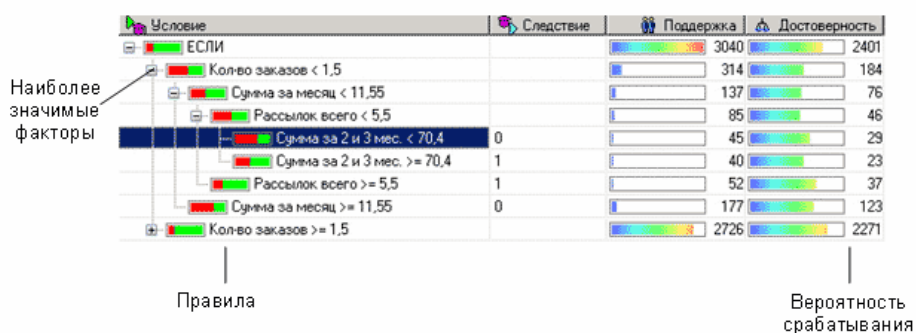


Рисунок 5 – Анализ отклика клиентов

5. Оценка эффективности программы лояльности. Неудачных программ лояльности довольно много. Но главная проблема не в том, что программа неудачна, а в том, что зачастую за ее работой никто толком не следит. И уже никто не знает, насколько она эффективна и есть ли вообще в ней смысл, так как нет полноценного контроля и анализа её реализации.

Иными словами, предприятию мало иметь разработанную систему повышения лояльности, необходимы также средства контроля за её эффективностью, так как оценка лояльности – сложная задача, которая не может сводиться просто к расчету среднего чека. Необходимые статистические данные должны накапливаться в системе управления, чтобы в дальнейшем руководство компании могло получить анализ эффективности системы, выраженный в денежном эквиваленте и в увеличении числа клиентов.

Для оценки эффективности программы лояльности необходимо применять методы, позволяющие учитывать различные аспекты поведения: частоту закупок, время последней операции, отклик на предложения, структуру потребления и т. д. Использование методов Data Mining совместно с различными методами анализа и статистической обработкой данных для оценки эффективности позволяет применять тонкие критерии лояльности, например, переход клиента из сегмента "лояльные клиенты" в "нелояльные" и обратно.

Например, на рисунке ниже приведена оценка лояльности с помощью RFM-анализа (основу RFM-анализа составляют следующие характеристики поведения клиентов: Recency (давность) – давность какого-либо действия клиента, Frequency (частота или количество) – количество действий, которые совершил клиент, Monetary (деньги) – сумма денег, которую потратил клиент).

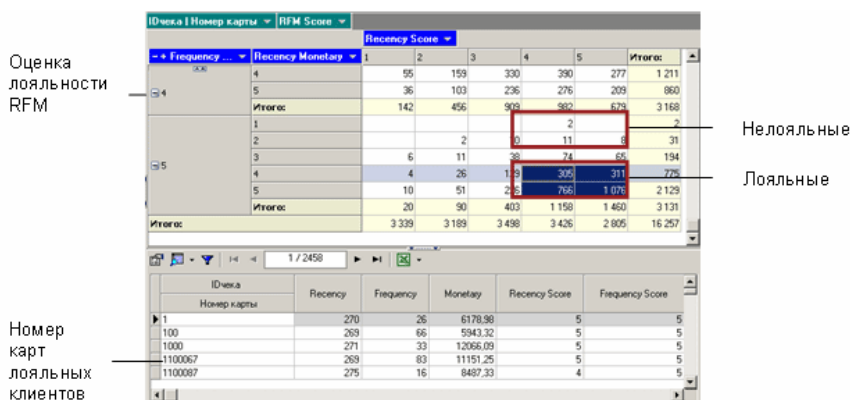


Рисунок 6 – Пример оценки эффективности с помощью RFM-анализа

Выводы. В настоящее время почти в каждом секторе индустрии компании стремятся иметь программы лояльности для всех или некоторых своих клиентов, они являются маркетинговым инструментом, который направлен на оптимизацию взаимоотношений компаний с клиентами. С другой стороны, программы лояльности требуют обработки больших объемов данных, тонкой настройки под клиента, учета и анализа разнородных данных (не всегда даже понятно, что именно анализировать и есть ли хоть какая-то взаимосвязь между проводимой программой (или программами) удержания клиентов и колебаниями оборотов, объемов продаж и т.д.), автоматического формирования актуальных предложений и многого другого, что реально

можно добиться только при использовании методов интеллектуального анализа данных Data Mining.

Поэтому для достижения хорошего результата небольшие компании могут обойтись и без сложного инструментария, но крупным организациям желательно активно применять и Data Mining. В их случае, только простые, примитивные методы учета потребностей клиентов не достаточно эффективны.

Обеспечение лояльности – сложная и комплексная задача, не сводящаяся только к построению моделей и анализу. Необходимо решать множество других задач: начиная от корректного учёта данных (например, учёт истории взаимоотношений с клиентами) и заканчивая мониторингом и оценкой работы персонала, не говоря уже о грамотной разработке самой концепции программы лояльности.

При отсутствии должной аналитики вся собранная информация будет лежать мертвым грузом и не позволит обратить данные о клиентах в знания о них, способные принести дополнительные доходы. И вряд ли созданная программа лояльности в таких условиях станет инструментом, который сможет стать самым эффективным в комплексе маркетинга вашей компании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцева А.В., Чудова О.В., Шилкина Н.Е. Сегментация рынка труда: теория и методика. - Барнаул: АзБука, 2010. – 116 с.: ил.
2. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям (+ CD): учеб. пособие. — 2-е изд., испр. - СПб.: Питер, 2013. — 704 с.: ил.
3. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. "Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining". – БХВ -Петербург, 2004. – 331 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Аннотация. В статье проведен анализ фактического потребления питьевой воды бытовыми абонентами, зафиксированных приборами учета повышенной точности и синхронизированных во времени с помощью микропроцессорных устройств нового поколения.

Ключевые слова: водоснабжение, интеллектуальные сети, Smart Water Meter, класс точности, временные интервалы.

В связи с тем, что расточительное поведение потребителей питьевой воды представляет основную угрозу для функционирования систем водоснабжения, задача полного и достоверного учета воды является приоритетной при проведении масштабной модернизации жилищно-коммунального сектора.

Вода является не возобновляемым ресурсом, потребность в котором будет превышать предложение. Перед водопоставляющими компаниями, сталкивающимися с возрастающими потерями из-за устаревающей инфраструктуры, стоит задача модернизации, эффективность которой будет определяться выбором приоритетов. Предварительный анализ показывает, что внедрение интеллектуальных сетей водоснабжения позволит ежегодно экономить до 20% на утечках воды и снизит потребление электроэнергии на 30% за счет инфраструктуры «умных» водомеров [1].

В работе [2] проведен анализ существующих проблем инженерных сетей водоснабжения и выявлены закономерности водопотребления, которые изучены в данной работе.

В настоящее время водоканалы используют технологии AMR и AMI. Smart Water Metering отличается от интеллектуального учета энергии тем, что работа интеллектуальных счетчиков воды зависит от источника автономного питания для передачи данных с требуемой мощностью и частотой.

Учитывая, что до настоящего времени нет единого устоявшегося стандарта Smart Water Meter, целесообразно рассматривать систему, которая строится на приборах, зарекомендовавших себя за время эксплуатации с положительной стороны. Использование простейших счетчиков, имеющих требуемую чувствительность и класс точности «С», наиболее приемлемо при масштабной модернизации. При организации автономной беспроводной системы синхронизированной во времени и построенной на базе этих приборов вполне возможно существенно снизить потери и выявить проблемных потребителей.

Как можно видеть из приведенных графиков (рисунок 1, 2, 3), у абонентов №10 и №12 присутствует постоянное потребление более 10 литров в час. Для абонентов № 4,8,13,14 график содержит часовые временные интервалы нулевого потребления. Таким образом, наличие зоны нулевого потребления является необходимым условием исправности водоразборного оборудования. В противном случае система должна сформировать команду на прекращение подачи воды проблемному абоненту на период устранения неисправности.

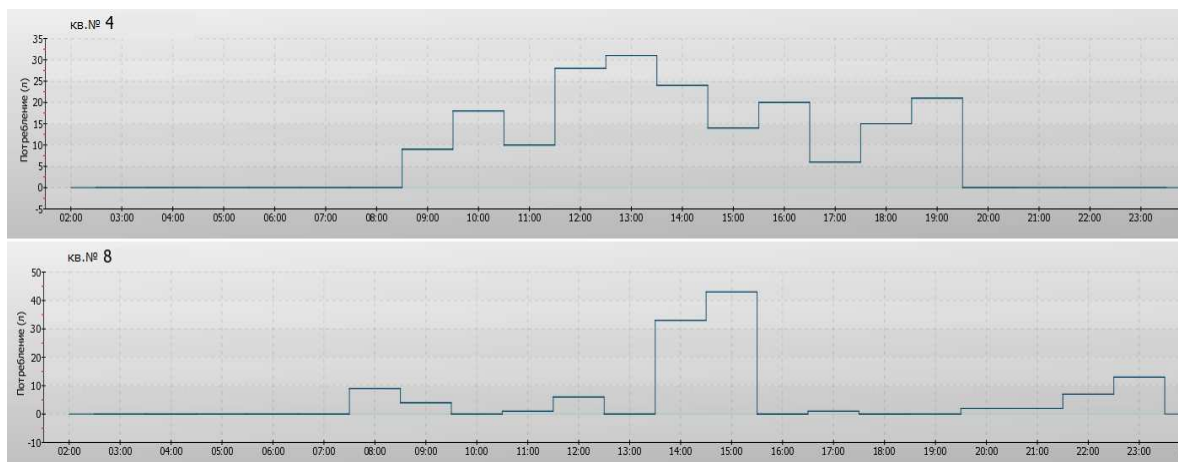


Рисунок 1 - График часового потребления
питьевой воды (абонент 4, 8).

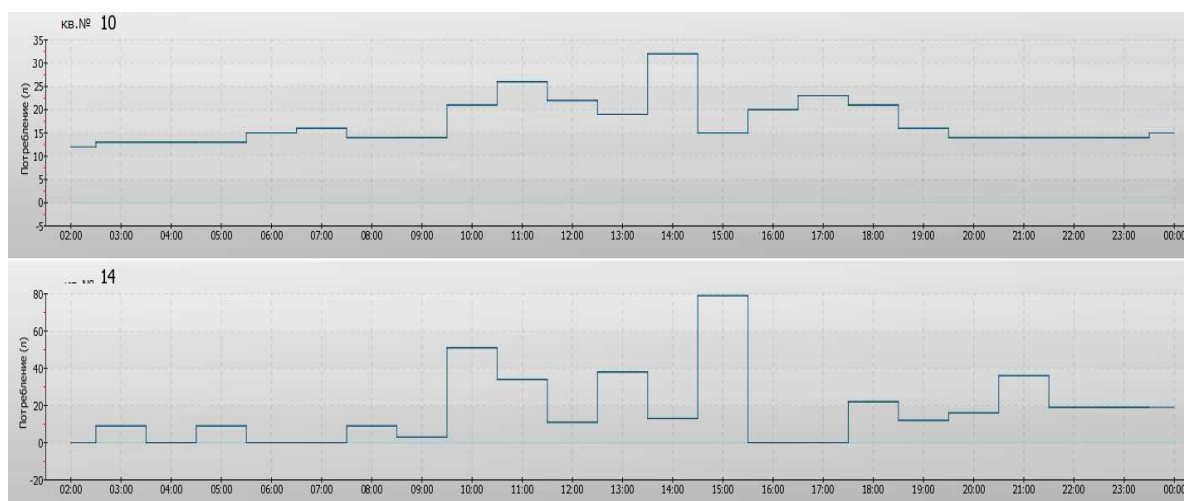


Рисунок 2. График часового потребления питьевой воды (абонент 10, 14).

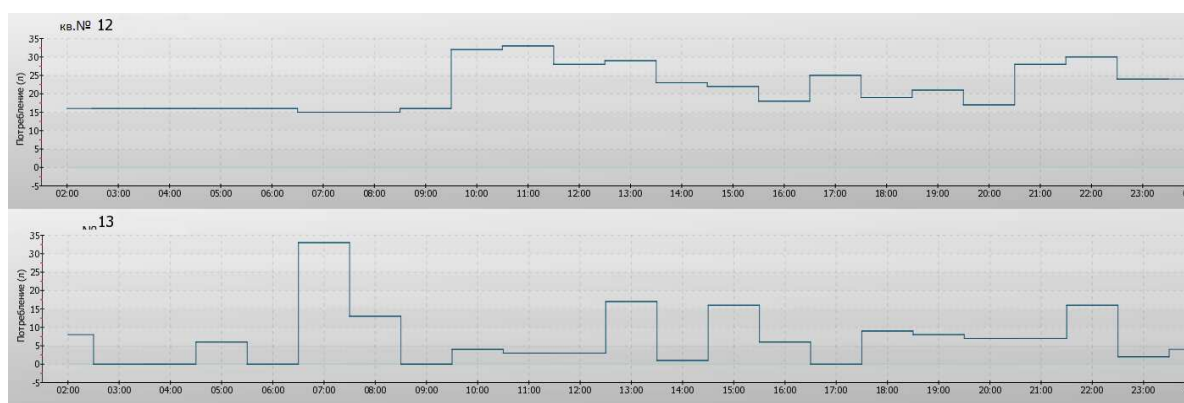


Рисунок 3. График часового потребления питьевой воды (абонент 12, 13).

За контролируемый период суточный расход абонентов составил от 70 до 410 литров (таблица 1). Анализ показывает, что максимальное суточное потребление наблюдается у абонентов кв. №10 и кв. №12, для которых существует постоянная утечка. Высокое потребление кв. №14 характеризует режим потребления данного абонента.

Потребление воды абонентами

Квартира	№ счетчика	Показания 2013-01-28	Показания 2013-01-31	Потребление воды м. куб.	Средне- суточное потребле- ние, м. куб
4	10156772	3.666	4.21	0.544	0,14
8	10156781	6.455	6.721	0.266	0,07
10	10156774	20.128	21.401	1.273	0,32
12	10156785	15.547	16.903	1.356	0,34
13	10156786	11.403	12.136	0.733	0,18
14	10156780	25.399	27.026	1.627	0,41
16	10156778	4.986	5.279	0.293	0,07

Приведенные зависимости показывают необходимость введения в системах Smart Water обязательного параметра дистанционного контроля режимов потребления с возможностью удаленного управления запорной арматурой. Учитывая тот факт, что передача управляющих сигналов должна осуществляться по радиоканалу, основную роль в обеспечении безопасности должна выполнить технология, обеспечивающая надежную защиту системы на уровне полевого оборудования, каналов передачи данных и защитное кодирование информации. При этом система Smart Water должна обеспечить приемлемые характеристики скорости передачи данных, автоматическую маршрутизацию и аутентификацию приборов учета в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vergetis B. Strong growth in smart water metering market// Fierce Smart Grid, Washington, 2011.
2. Бабенко Т.В., Почта Ю.В. Системы водоснабжения населенных пунктов Украины// Науковий вісник НГУ, випуск № 2, Днепропетровск, 2012.
Babenko T., Pochta Y. Water systems settlements in Ukraine// Scientific Journal of NMU, edition 2, Dnepropetrovsk, 2012.

Н.О. Ризун, Ю.К. Тараненко

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕСТИРУЕМОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Анотація. Виконано моделювання об'єкта дослідження – індивідуальної інтелектуальної діяльності досліджуваного по розпізнаванню інформаційних моделей (тестових завдань) в процесі діагностики його професійної підготовленості, розглянутої як динамічна система. Математична модель, що отримано, дозволяє визначити форму імпульсної перехідної та перехідною функцій для груп досліджуваних, ідентифікованих у відповідності з обґрунтованими нормованими ділянками значень коефіцієнта кореляції між рядами фактичного і еталонного часу розпізнавання інформаційної моделі по індивідуальних характеристиках режимів функціонування. Формалізовано якісні динамічні характеристики груп досліджуваних з стійким рівноважним і періодичним станами індивідуальної інтелектуальної діяльності.

Введение. Современные потребности экономики и бизнеса в трудовых ресурсах требуют сертификации специалистов как неотъемлемой процедуры, подтверждающей качество их профессиональной подготовленности и профессиональной пригодности. С интенсивным развитием информационных технологий прогрессивным инструментом диагностики компетентности специалиста и его соответствия определенному виду профессиональной деятельности является компьютерное тестирование. Данное инструментальное средство, позволяющее рассматривать тестируемого как оператора системы управления, открывает уникальные перспективы для поиска и реализации новых методологий оценки и технологий идентификации тестируемых, обладающих близкими индивидуальными характеристиками интеллектуальной деятельности.

Постановка проблемы. Роль тестируемого как оператора системы компьютерной диагностики профессиональной подготовленности состоит в обработке поступившей на вход информации, представлен-

ной в виде тестового задания (ТЗ), и принятии соответствующего решения. Термин "обработка" [1] означает индивидуальную интеллектуальную деятельность (ИИД) конкретного тестируемого на его рабочем месте по решению поставленной перед ним задачи.

Процесс решения поставленной перед тестируемым задачи имеет следующие особенности:

Каждое *тестовое задание*, предназначенное для обработки, может быть интерпретировано как *информационная модель* (ИМ) реальных объектов, понятий, ситуаций, а также отношений между отдельными объектами, понятиями, ситуациями. Формализацию ИМ условно можно представить как организованную в соответствии с некоторыми принципами структуру символических отображений (формул, формулировок, графических изображений). Причем, один и тот же объект, понятие, ситуация может быть формализована различными способами и на различных уровнях обобщения моделируемой ситуации и сложности постановки проблемы с помощью различных форм ТЗ.

Процесс *обработки* можно интерпретировать как ИИД по формированию индивидуальной информационной модели – результата *распознавания* (англ. recognition – установление принадлежности данного элемента к определенному множеству по известному алгоритму) реальных объектов, понятий, ситуаций, представленных в поданой на вход исходной ИМ.

Фактическим *количественным* идентификатором деятельности конкретного тестируемого является результат процесс обработки, интерпретировать который можно как степень соответствия полученной на выходе индивидуальной ИМ как результата обработки информационной модели, поданной на вход системы.

Систему компьютерной диагностики профессиональной подготовленности и самого тестируемого можно рассматривать как динамическую систему [2], моделирование которой является *актуальной научной проблемой*, позволяющей получить и интерпретировать параметры, *качественно* описывающие фактический характер ИИД конкретного тестируемого и степень ее соответствия диагностируемому уровню профессиональной обученности и компетентности.

Анализ последних публикаций и нерешенные части общей проблемы. Вопросами математического моделирования деятельности

человека-оператора и его взаимодействия с управляемой системой занимались в разное время различные школы ученых. Так, в работах [3, 4] исследовалась динамика поведения человека как подсистемы автоматизированной системы управления технологическим процессом, основными характеристиками которой являются такие количественные параметры, как: среднее время безошибочной работы, частота отказов, среднее время восстановления, коэффициент готовности, вероятность своевременного выполнения задания, а также инерционность нейромускульного механизма.

В [5] результаты моделирования процесса взаимодействия человека-оператора с управляемой системой позволили получить рекомендации по методике организации психологических и эргономических экспериментов. В работах [6, 7] получены модели и алгоритмы идентификации поведения тестируемого как классического и адаптивного ПИД-регуляторов с самонастройкой на изменяющиеся параметры системы автоматизированной диагностики уровня профессиональной подготовленности. Исследования [8, 9] направлены на получение моделей операторской деятельности, позволяющих с точки зрения статических показателей – параметров и характеристик закона распределения – идентифицировать операторский персонал путем определения формы и параметров уравнения тренда, количественно описывающего функциональные состояния, определяемые центральной нервной системой, а также оценить эффективность ИИД по результатам исследования эмпирической функции распределения.

Перечисленные выше направления исследований имеют следующие нерешенные части проблемы:

- результаты анализа, идентификации поведения и воспроизведения действий человека-оператора – с использованием как статических методов анализа, так и инструментов теории автоматического управления и регулирования – не являются универсальными, поскольку, с одной стороны, рассматривают алгоритмы управления в конкретной проблемной области, а с другой – сводятся к получению основных *количественных* идентификаторов эффективности операторской деятельности;

- в теории автоматизированной диагностики уровня профессиональной подготовленности с использованием тестового контроля отсутствуют модели и алгоритмы *качественной* идентификации тес-

тируемого, идентифицирующих характер индивидуальной интеллектуальной деятельности с помощью показателей его функционирования как динамической системы.

По определению В.Д. Моисеева (1965), всякая сложная динамическая система (ДС) характеризуется способностью изменять свое общее состояние и тем самым обеспечивается выполнение свойственной ей функции. Он сформулировал основной закон саморегулирующейся системы, в соответствии с которым каждая система: "...способна одинаково активно реагировать на внешние воздействия, т. е. одинаково с количественной стороны принимать, накапливать и перерабатывать поступающую к ней информацию и путем автоматического целенаправленного изменения состояния соответствующим образом организованных составных элементов обеспечивать свое существование или выполнение свойственных ей функций". По А. Я. Лернеру (1967), ДС характеризуется переходом из одного состояния в другое, причем этот переход совершается не мгновенно, а через переходные состояния, поэтому основными режимами динамической системы являются: равновесный, переходный и периодический.

Равновесный режим ДС соответствует ситуации, характеризующейся постоянством во времени некоторой последовательности состояний, пробегаемых системой в процессе ее движения. Применительно к ИИД в процессе диагностики профессиональной подготовленности это соответствует состоянию достаточного уровня обученности тестируемого (далее – исследуемого), устойчиво сформировавшейся компетентности и соответствию определенному (диагностируемому) виду профессиональной деятельности.

Периодический режим ДС характеризуется тем, что колебания входной информации системы (переходные состояния, характеризующиеся изменением степени сложности ИМ, подаваемых для распознавания), вызывают колебания энтропии деятельности исследуемого, проявляющиеся в виде сдвигов фаз и амплитуды. Применительно к ИИД исследуемого этот режим идентифицирует состояние неустойчивого уровня обученности определенному (диагностируемому) виду профессиональной деятельности.

Целью работы является построение математической модели объекта исследования – *индивидуальной интеллектуальной деятельности исследуемого* по распознаванию информационных моделей

в процессе диагностики его профессиональной подготовленности, – которая позволит по результатам наблюдений за ее входными и выходными переменными получить динамические характеристики идентификации таких объектов.

Результаты исследований. Исходя из поставленной цели, входными переменными ДС являются информационные модели *MOD* заданного целевого уровня диагностики *U*, представленные в виде ТЗ определенной формы *TEST_e* и подаваемые на экран монитора в моменты времени *t_i*.

Выходными переменными являются фактические продолжительности времени *t^f* с момента очистки кэша видеопамяти при полной загрузке изображения текущей ИМ *t⁰* на экран и до момента принятия исследуемым решения – времени нажатия кнопки завершения работы по распознаванию *i*-го ТЗ *t^z*, основными предпосылками анализа которых являются следующие утверждения:

Эталоном профессионального уровня устойчиво сформировавшейся компетентности исследуемого является среднее время ИИД, потраченное на распознавание ИМ заданного целевого уровня диагностики *U* группой преподавателей-экспертов *t^{*}* [10].

Величина $t^* = t^{v*} + t^{k*} + t^{e*} + t^{p*}$ является объективным инструментом количественной идентификации входной переменной ДС – профессионального уровня *U_i* подаваемой для распознавания ИМ *MOD*, а именно: уровня сложности ее формулировки и визуального представления *t^{v*}*; уровня содержательной сложности ИМ – времени настраивания исследуемого на предметную область *t^{k*}* и экстраполяционного поиска результата распознавания *t^{e*}*; уровня сложности требуемой технологии ввода решения *t^{p*}*.

Коэффициент корреляции $K(t^*, t^f)$ между рядами количественных параметров входных *t^{*}* и выходных переменных $t^f = t^z - t^0$ является инструментом идентификации групп исследуемых, обладающих близкими индивидуальными характеристиками режимов функционирования в процессе распознавания последовательности ИМ *MOD* в течение тестового сеанса.

В этой связи автором были обоснована [10] следующая интерпретация нормированных участков значений коэффициента корреляции $K(t^*, t^f)$:

устойчивый равновесный режим ИИД, количественно идентифицируемый значением коэффициента корреляции $K(t^*, t^f) \geq 0,5$, соответствующим высокой степени согласованности индивидуального уровня интеллектуальной деятельности исследуемого с эталоном. Причем, тонкость используемого инструмента позволяет учитывать и распознавать такие индивидуальные характеристики ИИД тестируемых, как "тугодумие" или "мгновенная реакция", стабильность проявления которых не противоречит идентификации признаков устойчивого равновесного режима ДС. Идентифицируемая группа тестируемых качественно характеризуется сформировавшейся компетентностью и достаточном уровне обученности и его соответствия заданному профессиональному уровню ИИД;

периодическое режим ИИД исследуемого, количественно идентифицируемый значением коэффициента корреляции $K(t^*, t^f) < 0,5$, обусловленным энтропией деятельности исследуемого, проявляющейся в наличии случайных "выбросов" в значениях фактического времени t^f распознавания информационных моделей относительно t^* . Идентифицируемая группа тестируемых качественно характеризуется уровнем профессиональной компетентности, не соответствующим заданному эталону профессионального уровня ИИД.

Экспериментальные исследования ИИД исследуемого по распознаванию ИМ с целью получения его динамических характеристик проводились на основании статистических данных об успешных результатах тестирования 2-х студенческих групп (50 человек) по предмету "Моделирование системных характеристик". При этом ограничивалось только общее время проведения тестового сеанса. Количество подаваемых ИМ за один тестовый сеанс – 56 ($\overline{t^*} = 2.7$ мин, $\sigma = 0.7$).

Индивидуальные результаты данного эксперимента представляли собой фиксацию событий – времени поиска и принятия решения о распознавании ИМ – в форме последовательности значений времени с "привязкой" к моментам времени проведения эксперимен-

та. При этом моменты появления событий – подача ИМ, продолжительность их зрительного восприятия, формирования внутренней образно-концептуальной модели и экстраполяционного поиска, а также моменты принятия решений о распознавании данных моделей являются случайными величинами и в целом отображают эргодический случайный стационарный процесс, который характеризует качество ИИД исследуемого.

Получение динамических характеристик объекта является продолжением процесса исследования характера корреляционных зависимостей между входом и выходом динамической системы ИИД исследуемых и состоит в том, что, если в нормальных условиях работы воздействие, приложенное к входу исследуемой системы, может рассматриваться как стационарная случайная функция, то применение коррелятора дает возможность определить автокорреляционную функцию $R_Q(\tau)$ входа $Q(\tau) = t^*$ и взаимокорреляционную функцию $R_{Qq}(\tau)$ между входом $Q(\tau)$ и выходом $q(\tau) = t^f$.

Известно, что эти функции связаны выражением:

$$RQ(\tau) = \int_0^{\infty} R_Q(\tau - \lambda) \cdot w(\lambda) d\lambda, \text{ решая которое относительно } w(\lambda), \text{ можем}$$

найти импульсную переходную $w(t)$ и переходную $h(t)$ функции.

Было выполнено *уточнение задачи моделирования объекта исследования*: по результатам экспериментальных исследований эргодического случайного стационарного процесса – распознавания последовательности ИМ заданного целевого уровня диагностики, рассматриваемого как ДС, – определить форму импульсной переходной $w(t)$ и переходной $h(t)$ функций для групп исследуемых, идентифицируемых по индивидуальным характеристикам режимов функционирования с целью формализации качественных динамических характеристик объектов.

Исходные формулы для определения автокорреляционной $R_Q(\tau)$ и взаимокорреляционной $R_{Qq}(\tau)$ функций по экспериментальным реализациям случайных функций имеют вид:

$$R_Q(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^t Q(t) \cdot Q(t + \tau) dt, \quad (1)$$

$$R_{Qq}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^t Q(t) \cdot q(t + \tau) dt. \quad (2)$$

Оценки математических ожиданий и автокорреляционной и взаимокорреляционной функций определяются по следующим формулам:

$$m_Q^* \approx \frac{\sum_{i=0}^n Q_i}{n+1}; \quad m_{Qq}^* \approx \frac{\sum_{i=0}^n q_i}{n+1}; \quad R_Q^*(p\Delta\tau) \sum_{i=1}^{n-p} (Q_i - m_Q^*)(Q_{i+p} - m_Q^*);$$

$$R_{Qq}^*(p\Delta\tau) \sum_{i=1}^{n-p} (Q_i - m_Q^*)(q_{i+p} - m_q^*); \quad \text{где } Q_i = Q[i], q_i = q[i] - \text{значения случайного сигнала в } i\text{-ом сечении, } m_Q^* \text{ и } m_q^* - \text{оценки математических}$$

ожиданий, а R_Q^* и R_{Qq}^* – оценки корреляционных функций случайных процессов $Q[n]$ и $q[n]$ соответственно, n – дискретное время. В данных исследованиях шаг дискретизации – переменный и представляет собой моменты фактического времени подачи t_j^o на экран ИМ: $n[t_j^{o*}] = t_{j-1}^z + t_j^*$, $n[t_j^o] = t_{j-1}^z + t_j^f$.

Решение интегрального уравнения Винера-Хопфа аналитическими методами требует представления функций R_Q^* и R_{Qq}^* в виде аналитических выражений. Так как в расчетах значения оценок корреляционных функций заданы в виде последовательности ординат, следующих друг за другом через дискретные отрезки времени $\Delta\tau$, то решение интегрального уравнения удобно свести к решению системы алгебраических уравнений с числом уравнений и неизвестных, равным количеству вычисленных ординат статистических характеристик. Для этого интеграл в уравнении Винера-Хопфа аппроксимируется конечной суммой: $R_{Qq}^*(p\Delta\tau) = \sum_{n=0}^N w(p\Delta\tau) \cdot R_Q^*(p\Delta\tau - n\Delta\tau)\Delta\tau$. Разделив

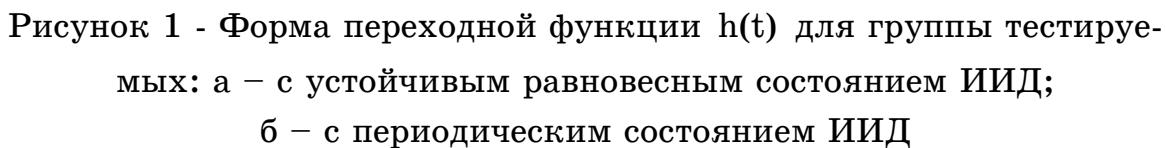
данное выражение на $\Delta\tau$, получим: $q_n = \sum_{n=0}^N w_n(p\Delta\tau) \cdot R_{Qn}$, где

$$q_n = \frac{R_{Qn}(i\Delta\tau)}{\Delta\tau}, \quad w_n = w(n\Delta\tau) \text{ и } R_{Qn} = R_Q^*(p\Delta\tau - n\Delta\tau).$$

Полученные выражения можно представить в виде системы n линейных уравнений с n неизвестными:

Решение системы (3) было получено путем представления его в матричной форме: $W = A^{-1}Q$.

функций для групп тестируемых, идентифицируемых в соответствии обоснованными нормированными участками значений коэффициента корреляции, как группы с *устойчивым равновесным* и *периодическим* режимами ИИД (рис. 1).



ИИД исследуемого по распознаванию ИМ в процессе диагностики его профессиональной подготовленности представляет собой элементарное колебательное звено (динамическое звено второго порядка), переходная характеристика которого в общем виде может

105

Параметры данной передаточной функции могут быть интерпретированы следующим образом:

ξ – величина, обратная уровню профессиональной уверенности ν ($\nu = 1 - \xi$) – степени освоенности проблемной области информационной модели, способствующей формированию образно-концептуальной модели, достаточной для распознавания ИМ заданного целевого уровня (*коэффициент затухания*);

T – величина, обратная скорости протекания ИИД по распознаванию ИМ – зрительного восприятия, опознавательной деятельности, продуктивного мышления и механизмов принятия решений (*постоянная времени*);

k – величина, эквивалентная установившемуся значению переходной функции и характеризующая степень соответствия реально-го уровня ИИД исследуемого заданному целевому уровню профессиональной подготовленности (*статический коэффициент передачи*).

Свойством передаточной функции для группы тестируемых, *идентифицируемой* в соответствии обоснованными нормированными участками значений коэффициента корреляции $K(t^*, t^f)$ как группа, характеризующаяся *устойчивым равновесным режимом* ИИД, является приближение характеристик колебательного звена к консервативному ($\xi \rightarrow 0, \nu \rightarrow 1$). Это обусловлено теми фактами, что временные характеристики колебательного звена, согласно полученным графикам (рис. 1, а) имеют вид незатухающих колебаний, в связи с чем его передаточная функция преобразуется в $W(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 1}$. При этом:

Период колебаний $2\pi/\omega$ позволяет интерпретировать динамические характеристики ИИД исследуемого следующим образом:

– площадь отрицательной полуволны S_{1j} (высотой A_1) можно рассматривать как идентификатор количества "проработанных" в процессе ИИД совокупности понятий, установленных связей и отношений между данными понятиями для создания целостного индивидуального образа j -й распознаваемой ИМ;

– площадь положительной полуволны S_{2j} (высотой A_2) может рассматриваться как идентификатор количества сгенерированных и проанализированных на основе сформированного индивидуального

образа путем компарации идеи/вариантов решений по распознаванию j -й ИМ, а также выполненных команд по реализации данного решения.

Угловая частота колебаний $\omega = \frac{2 \cdot \pi \sqrt{1 - \xi^2}}{T} = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \xi^2}$ зависит

от степени приближения коэффициента затухания к нулю и также характеризует уровень охвата ("широту охвата") ИИД, увеличивающийся при приближении показателя $\nu = 1 - \xi$ к единице.

Стабильные характеристики ИИД ($S_{1j} \approx S_{1i}, S_{2j} \approx S_{2i}$) свидетельствует об устойчивом равновесии (незатухании) ИИД в течение всего тестового сеанса.

Коэффициент усиления k определяет степень соответствия реального уровня компетентности и обученности исследуемого заданному целевому уровню ИИД.

Свойством передаточной функции для группы тестируемых, характеризующейся *периодическим режимом* ИИД является колебательный характер его временных характеристик $0 < \xi < 1$ (рис. 1, б). При этом:

Показатель затухания $\lambda = \frac{\xi}{T}$ – временная характеристика, обратная степени профессиональной уверенности $\nu = 1 - \xi$, увеличение которой вызывает колебания энтропии деятельности тестируемого и проявляется в виде сдвигов фаз и амплитуды. Площади отрицательной и положительной полуволн $S_{1j} \neq S_{1i}, S_{1j} \neq S_{2j}$ в данном случае существенно отличаются друг от друга как в пределах процесса распознавания одной, так и различных ИМ, что можно интерпретировать как нестабильность ИИД и попытки угадать правильное решение.

Коэффициент усиления k_1 значительно ниже уровня ИИД группы тестируемых, характеризующемуся устойчивым равновесным режимом ИИД $k_1 < k$.

Выводы. Получен инструмент проведения исследований и выполнения идентификации индивидуальной интеллектуальной деятельности, соответствующей определенному виду профессиональной активности, реализованный посредством формализованных авторами механизма определения, а также методики интерпретации форм ди-

намических характеристик исследуемых объектов, *качественно* описывающих характер индивидуальной интеллектуальной деятельности конкретного тестируемого и степень ее соответствия диагностируемому уровню профессиональной обученности и компетентности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Психологічний словник. – К.: Вища шк., 1982. – 216 с.
2. Дьячук П.П. Диагностика недостаточной обучаемости математике методом фазовых портретов / П. П. Дьячук, Л. В. Пустовалов, С. А. Михайличенко // Ползуновский альманах. – 2010. – № 2. – С. 168-171.
3. Павловская О.О. Методы определения параметров линейной математической модели человека-оператора / О.О.Павловская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2007. – №7(79). – Вып.5. – С.41-44.
4. Жабреев В.С. Модели и оценка человеческого фактора больших систем: учебное пособие / В.С. Жабреев, О.О. Павловская, К.В.Федяев. – Челябинск: Челяб. ин-т путей сообщения, 2007. – 219 с.
5. Завалишина Д.Н. Психологический анализ оперативного мышления: Экспериментально-теоретическое исследование. – М.: Наука, 1985. – 222 с.
6. Ризун Н.О. Вопросы идентификации тестируемого как ПИД-регулятора в составе автоматизированной системы профессиональной аттестации / Н.О. Ризун // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2012. – № 3 (41). – с. 133-141.
7. Ризун Н.О. Алгоритмы идентификации адаптивных ПИД-регуляторов автоматизированной системы профессиональной аттестации / Н.О. Ризун // Научно-технический журнал «Научный вестник НГУ». – 2012. – № 5. – с.113-121.
8. Камінський Р.М. Ідентифікація інтелектуальної діяльності операторського персоналу за експериментальними даними / Р.М. Камінський, Л.Я. Нич // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка» . Інформ. системи та мережі. – 2011. – № 715. –С. 134-149.
9. Нич Л.Я. Оцінювання ефективності індивідуальної інтелектуальної діяльності операторів у системах опрацювання зображень на основі експериментальних даних / Л.Я. Нич, Р.М. Камінський // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка». Інформ. системи та мережі. — 2011. — № 699. — С. 193-203.
10. Холод Б.І., Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. Спосіб виміру рівня знань учнів при комп'ютерному тестуванні. [Текст]: патент на винахід 97149 Україна: G06F 7/04 (2006.01); Винахідники: Холод Б.І., Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. Замовник та патентовласник: ЗАТ «Дніпропетровський університет економіки та права» . – № а 2009 12950, заявл. 14.12.2009, опубл. 10.01.2012, , бюл. № 1/2012р. – 11 с.

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМАМИ В КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ВРЕМЕНИ

Аннотация. В статье анализируется возможность применения непрерывных моделей для решения задач оперативного управления большими системами. Выдвинута гипотеза о том, что непрерывное представление динамики систем в виде оболочки дает более сильный оптимум, чем исходная задача, на основе которого можно определять наилучшее управление из множества возможных и оценивать качество управления. Рассмотрены методы нахождения решения уравнений состояния в непрерывной форме, методы анализа устойчивости системы по непрерывному описанию, возможность корректной постановки задачи оптимального управления и применения методов вариационного исчисления для ее решения.

Ключевые слова. Большая распределенная система, критический режим функционирования, непрерывная модель, уравнения состояния, анализ устойчивости, оптимальное управление.

Постановка проблемы. Современные производственные комплексы характеризуются наличием множества подсистем, соединенных между собой разнообразными связями. При развитии системы, добавлении новых элементов, она приобретает новые свойства, что позволяет говорить об отнесении системы к категории больших распределенных систем. Примером таких систем являются энергетические системы, системы связи и телекоммуникаций, информационные системы и другие. При управлении интегрированными системами в критических режимах функционирования необходимо принимать ответственные решения при остром дефиците времени и максимальных штрафах за ошибку, что определяет сложность задач оперативного управления.

Анализ публикаций. Оперативное управление в распределенных производственных комплексах строится по иерархическому

принципу и заключается в определении (оценивании) текущего состояния объекта, прогнозе возможного перехода системы в критический режим функционирования и выборе оптимальных управляющих воздействий на предстоящий период [1].

Современная теория управления базируется на описании систем в пространстве состояний, дальнейшей линеаризации в некоторой окрестности и применении для поиска оптимального управления стандартных методов [2]. Использование метода Белмана, например, приводит к необходимости решения системы n алгебраических нелинейных уравнений (n - порядок системы). При росте размерности систем происходит значительное увеличение времени расчетов, становится затруднительной оценка состояния объекта и, соответственно, неосуществимым определение оптимального управления такой системой [3]. Это приводит к ситуации, когда оператор должен принимать решение о выборе управления системой из множества возможных в условиях неопределенности и дефицита времени, что зачастую приводит к ошибочным действиям.

В пространстве состояний описание линейной системы имеет вид

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bv, \\ y &= Cx + Dv,\end{aligned}\tag{1}$$

где x - вектор состояния, $\dim(x) = n$; y - вектор выходов, $\dim(y) = r$; v - вектор входов системы, $\dim(v) = m$; A , B , C и D - матрицы уравнений состояния [4].

Описание систем в виде (1) можно привести к непрерывной форме, если вместо векторов и матриц использовать их непрерывные аналоги – одно- и двухмерные функции [5]. Непрерывные переменные целесообразно представлять в диапазоне $[0,1]$, который разбивается на n интервалов согласно размерности дискретного вектора. Схема соответствия дискретных $i(j)$ и непрерывных переменных $\eta(\xi)$ приведена на рис. 1.

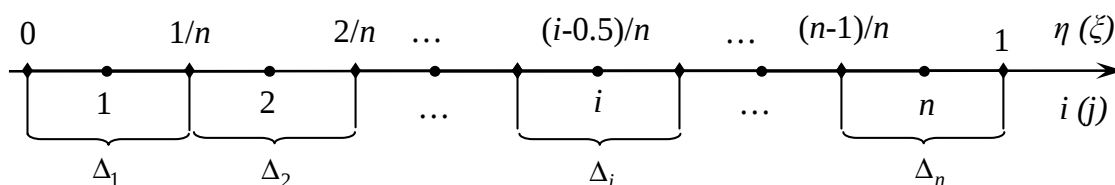


Рисунок 1 – Преобразование координат в единичный интервал

Для перехода от i к η можно использовать соотношения

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n = \Delta = \frac{1}{n}; \quad \eta_i = \frac{i - 0.5}{n}; \quad i = \frac{\eta_i}{\Delta} + 0.5.$$

Можно отметить, что при $n \rightarrow \infty$ окрестности i -х дискретных переменных $\Delta_i \rightarrow 0$, что соответствует приближению к точному непрерывному представлению.

Непрерывные аналоги векторов и матриц системы (1) соответственно можно обозначить как

$$x(t) \rightarrow \chi(\eta, t), \quad u(t) \rightarrow v(\mu, t), \quad y(t) \rightarrow \phi(\rho, t)$$

$$A = \{a_{i,j}\}_{n \times n} \rightarrow A(\eta, \xi), \quad B = \{b_{i,k}\}_{n \times m} \rightarrow B(\eta, \mu),$$

$$C = \{c_{l,j}\}_{r \times n} \rightarrow \Gamma(\rho, \xi), \quad D = \{d_{l,k}\}_{r \times m} \rightarrow \Delta(\rho, \mu).$$

Их аналитические выражения могут быть получены с помощью интерполяционных полиномов Лагранжа [6] как функции переменных η, ξ для $i, j = \overline{1, n}$, μ – для $k = \overline{1, m}$ и ρ – для $l = \overline{1, r}$.

Непрерывная модель системы – аналог для модели в пространстве состояний (1) может быть записана в виде

$$\frac{d\chi(\eta, t)}{dt} = n \int_0^1 A(\eta, \xi) \chi(\xi, t) d\xi + m \int_0^1 B(\eta, \mu) v(\mu, t) d\mu, \quad (2)$$

$$\phi(\rho, t) = n \int_0^1 \Gamma(\rho, \xi) \chi(\xi, t) d\xi + r \int_0^1 \Delta(\rho, \mu) v(\mu, t) d\mu.$$

Обратный переход от модели непрерывного вида к традиционному представлению легко осуществляется с помощью δ -функций [5].

Мы предполагаем, что непрерывное представление динамики систем в виде оболочки дает более сильный оптимум, чем исходная (погружаемая) задача, на основе которого можно определять наилуч-

шее управление (наиболее близкое к оптимальному) из множества возможных и оценивать качество управления.

Постановка задачи. Целью исследований является анализ возможности применения непрерывных моделей и разработка соответствующих методов для получения своевременных оценок оптимальных решений при управлении большими системами в критических режимах функционирования.

Основная часть. Для подтверждения гипотезы о целесообразности использования непрерывных моделей для решения задач оперативного управления большими системами необходимо рассмотреть методы нахождения решения уравнений состояния в непрерывной форме, методы анализа устойчивости системы по непрерывному описанию, возможность корректной постановки задачи оптимального управления и применения методов вариационного исчисления для ее решения.

1. Решение уравнения состояния.

Решение уравнения состояния в непрерывной форме можно получить используя метод разделения переменных [7]. Функции состояния и управления представляются как произведение двух функций зависящих от одной переменной:

$$\chi(\eta, t) = q(\eta) \cdot w(t), \quad v(\mu, t) = s(\mu) \cdot p(t). \quad (3)$$

При подстановке соотношений (3) в (2) получаем уравнения в виде

$$q(\eta) \frac{dw(t)}{dt} = n \cdot w(t) \int_0^1 A(\eta, \xi) q(\xi) d\xi + m \cdot p(t) \int_0^1 B(\eta, \mu) s(\mu) d\mu, \quad (4)$$

$$\phi(p, t) = n \cdot w(t) \int_0^1 \Gamma(p, \xi) q(\xi) d\xi + r \cdot p(t) \int_0^1 \Delta(p, \mu) s(\mu) d\mu.$$

Уравнение (4) можно привести к виду

$$\frac{dw(t)}{dt} = n \cdot C_1 \cdot w(t) + m \cdot C_2 \cdot p(t),$$

решение которого легко получается методом интегрирующего множителя [6] в виде

$$w(t) = K \cdot e^{n \cdot C_1 \cdot (t-t_0)} + m \cdot C_2 \cdot e^{n \cdot C_1 \cdot t} \int_{t_0}^t p(t) \cdot e^{-n \cdot C_1 \cdot t} dt. \quad (5)$$

Если при разделении переменных принять, что $q(\eta) = \chi(\eta, t_0) = \chi_0(\eta)$, то в уравнении (5) постоянная интегрирования $K = 1$, и решение уравнения (2) примет вид

$$\chi(\eta, t) = q(\eta) \cdot e^{n \cdot C_1 \cdot (t-t_0)} + q(\eta) \cdot m \cdot C_2 \cdot e^{n \cdot C_1 \cdot t} \int_{t_0}^t p(t) \cdot e^{-n \cdot C_1 \cdot t} dt. \quad (6)$$

Коэффициенты C_1 и C_2 могут быть сформированы разным образом.

Путем простого деления уравнения (4) на функцию $q(\eta)$:

$$C_1 = C_1(\eta) = \frac{\int_0^1 A(\eta, \xi) q(\xi) d\xi}{q(\eta)} \quad \text{и} \quad C_2 = C_2(\eta) = \frac{\int_0^1 B(\eta, \mu) s(\mu) d\mu}{q(\eta)}.$$

Путем интегрирования уравнения (4) по η и дальнейшего выделения $\frac{dw(t)}{dt}$:

$$C_1 = \frac{\int_0^1 \left(\int_0^1 A(\eta, \xi) q(\xi) d\xi \right) d\eta}{\int_0^1 q(\eta) d\eta} \quad \text{и} \quad C_2 = \frac{\int_0^1 \left(\int_0^1 B(\eta, \mu) s(\mu) d\mu \right) d\eta}{\int_0^1 q(\eta) d\eta}.$$

Путем умножения уравнения (4) на $A(\xi, \eta)$ и интегрирования по η .

$$C_1(\xi) = \frac{\int_0^1 A(\xi, \eta) J_1(\eta) d\eta}{J_1(\xi)} \quad \text{и} \quad C_2(\xi) = \frac{\int_0^1 A(\xi, \eta) J_2(\eta) d\eta}{J_1(\xi)},$$

где

$$J_1(\xi) = \int_0^1 A(\xi, \eta) q(\eta) d\eta \quad \text{и} \quad J_2(\eta) = \int_0^1 B(\eta, \mu) s(\mu) d\mu.$$

Моделирование показало, что первые два варианта преобразований уравнения (4) не приводит к адекватным результатам. А последний вариант преобразований дает решение уравнения состояния в непрерывной форме, которое обладает сходимостью к решению уравнений состояния в традиционной форме.

2. Анализ устойчивости систем

Для анализа устойчивости систем широко используются частотные методы, которые основаны на анализе модели системы в виде передаточных функций (в операторной форме) [2]. Предполагаем, что для анализа устойчивости систем по модели в виде оболочки можно использовать двухмерное преобразование Фурье (Лапласа) в виде [8]

$$\Theta(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(\eta, \xi) \cdot e^{-j \cdot 2\pi(u \cdot \eta + v \cdot \xi)} d\eta d\xi.$$

Анализ устойчивости в традиционном (дискретном) представлении заключается также в определении и проверке на отрицательность действительной части собственных значений λ_i ($i = \overline{1, n}$) матрицы A , а в непрерывном представлении устойчивая в окрестности нуля система будет устойчивой при соблюдении условия $\operatorname{div} A(\eta, \xi) < 0$ и в рассматриваемой окрестности Ω .

3. Задача оптимального управления

Целью управления в производственных системах обычно является обеспечение наилучшей траектории движения вектора состояния в заданном диапазоне, что формулируется в виде условий

$$x_{\min} < x(t) < x_{\max} \text{ или, аналогично, } \chi(\eta)_{\min} < \chi(\eta, t) < \chi(\eta)_{\max}. \quad (7)$$

Функционал цели для задачи слежения (стабилизации движения вокруг программной траектории) формируется в квадратичном виде [4]. Непрерывное представление вектора состояний $\chi(\eta, t)$ позволяет функционал цели записать как

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^t \left(u^T(t) \cdot Q \cdot u(t) + n \int_0^1 \hat{\chi}(\eta, t) \operatorname{Br}(\hat{\chi}(\eta, t)) d\eta \right) dt \rightarrow \min, \quad (8)$$

где $\hat{\chi}(\eta, t) = \frac{\chi(\eta, t) - \chi(\eta)_{\min}}{\chi(\eta)_{\max} - \chi(\eta)_{\min}}$ - нормированные значения аналитического продолжения функции состояния, в заданном диапазоне (6),

$\hat{\chi}(\eta, t) \in [0, 1]$; $\operatorname{Br}(\hat{\chi}(\eta, t))$ - барьерная функция, значения которой близко или равно нулю в допустимом диапазоне $[\chi(\eta)_{\min} + \Delta\chi, \chi(\eta)_{\max} - \Delta\chi]$, а с приближением к заданным границам диапазона (что соответствует критическому режиму функционирования системы) резко возрастает.

Таким образом, функционал цели (8) соответствует вариационной задаче

$$J = J\left(u(t), \hat{\chi}(t), t\right) \rightarrow \min \quad (9)$$

с ограничениями на управление

$$0 \leq u \leq U_0, \quad (10)$$

где U_0 - предельно допустимое значение компонент вектора управления.

Задача оптимального управления (9), (10) относится к вариационным задачам с выпуклым функционалом цели и с вырожденной динамикой, так как процесс управления проходит медленнее, чем переходные процессы в системе, а расчет управления можно осуществить намного быстрее, чем процессы развития критической ситуации (катастрофы), связанные с перегрузкой объектов. Подынтегральная функция выражения (8) не зависит от производных по u и по t . Поэтому формула Эйлера [2], на основе которой находится оптимальное управление u^* , примет вид

$$\frac{\partial F}{\partial u} - \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial F}{\partial \dot{u}} = 0 \Rightarrow \frac{\partial F}{\partial u} = 0$$

или

$$Qu^*(t) + \nabla_u \int_{\Omega} \hat{\chi}(\eta) \cdot Br(\hat{\chi}(\eta)) d\eta = 0. \quad (11)$$

Траектория движения системы $\chi(\eta)$ непосредственно зависит от управления, то есть $\chi(\eta) = f_d(x, u, t) \approx f_n(\eta, v(\mu, t), t)$, может определяться путем измерений или из решения (6) уравнений состояния (2). Поэтому вектор оптимального управления u^* может быть найден из уравнения (11) как

$$u^*(t) = -Q^{-1} \nabla_u \int_{\Omega} \hat{\chi}(\eta) \cdot Br(\hat{\chi}(\eta)) d\eta. \quad (12)$$

Таким образом, задача управления большой распределенной системой может быть погружена в задачу управления системой с распределенными параметрами, что обеспечивает единство алгоритмов решения и получения оценки управления.

Выводы. Переход к описанию систем с помощью непрерывной бесконечномерной оболочки можно осуществлять на основе приведенных преобразований однозначно.

Рассмотренными методами можно решать задачу построения решения непрерывного уравнения состояния, задачу анализа устойчивости, а также задачу поиска оптимального управления на основе непрерывной модели (2).

Выдвинутая гипотеза об оптимуме в задачах управления представляет практический интерес для принятия решений при управлении системами в критических режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский В.И. Интегрированные АСУ в промышленности. / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Н.А. Рюмшин – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1995. – 316с.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. Пособие. / Д.П. Ким– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464с.
3. Рудакова А.В. Анализ фундаментальных свойств развивающихся динамических систем. / А.В. Рудакова // Вестник Херсонского национального технического университета. Вып. 2(41). – Херсон: ХНТУ, 2011. - С.27-31.
4. Справочник по теории автоматического управления. / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712с.
5. Рудакова А.В. Использование аналитических продолжений в задачах оптимального управления большими системами в критических режимах. / А.В. Рудакова, Ю.А. Лебеденко // Вестник Херсонского национального технического университета. Вып. 1(44). – Херсон: ХНТУ, 2012. - С.342-346.
6. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. / Г. Корн, Т. Корн – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 832с.
7. Несис Е.И. Методы математической физики. / Е.И. Несис - М.: Просвещение, 1977.- 199с.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005. – 1072с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ОБОБЩЕННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

Аннотация. В данной работе рассмотрен процесс управления обобщенной холодильной установкой, как сложным объектом, разработана схема системы управления и схема взаимодействия оператора с системой управления.

Ключевые слова: моделирование, автоматизация управления, холодильная установка, компьютерный тренажер.

Введение. Необходимым этапом решения задач управления нелинейными динамическими системами является получение их адекватных математических моделей, базирующееся, как правило, на теоретическом и экспериментальном анализе свойств этих систем. Одной из классических моделей системы управления (СУ) является модель с обратной связью с регулируемым в реальном масштабе времени коэффициентами, например самонастраивающийся регулятор Астрома. Коэффициенты такого контроллера регулируются в течение каждого цикла управления в соответствии с оценкой параметров системы. Другой хорошо известной моделью СУ является модель Ляпунова. Системы адаптивного управления, использующие эталонную модель Ляпунова, проектируются таким образом, чтобы выходной сигнал управляемой модели, в конце концов, соответствовал выходному сигналу предварительно определенной модели, которая имеет желаемые характеристики. Однако область применения таких моделей ограничена[1].

Постановка задачи. При моделировании системы управления холодильной установкой для компьютерного тренажера возникает необходимость в ее обобщении, что позволяет гибко настраивать параметры управления под любые частные случаи её конфигурации. В связи со слабой формализацией и высокой степенью неопределённости процесса принятия решения об управляющем воздействии со стороны оператора, наиболее перспективным при моделировании СУ

обобщенной холодильной установки является применение аппарата нейронных сетей в комбинации с нечеткой логикой[2].

Системы управления, так или иначе использующие искусственные нейронные сети (НС), являются одной из возможных альтернатив классическим методам управления. В них назначением нейросетевого контроллера является выработка адекватного управляющего сигнала для управления динамикой состояний объекта управления от начального состояния до желаемого итогового состояния. Организация контроля за состоянием объекта управления (ОУ) и реализация нейросетевого контроллера в значительной степени зависят от выбранного алгоритма обучения и используемой структуры управления[1]. Таким образом, возникает необходимость в разработке схемы СУ и схемы взаимодействия субъекта с системой управления.

Схема системы управления обобщенной холодильной установкой для компьютерного тренажера. Известная схема управления [1] предполагает, что процесс управления сложным объектом состоит из следующих этапов: формулировки целей управления $\{Z^*\}$, определения объекта управления, структурного синтеза модели, идентификации параметров модели, планирования экспериментов, синтеза управления, реализации управления и коррекции.

Объектом управления будем считать обобщенную холодильную установку, а именно сложный объект переменной структуры, которую можно представить в виде:

$$S_{\text{grm}} : \{ K_n, K_{\text{prod}}, K_t, K_r, K_{\text{ha}}, K_o, K_e, K_s, K_{\text{vn}}, K_{\text{kam}}, K_{\text{rv}} \}, \quad (1)$$

где K_n – назначение,

K_{prod} – продуктивность,

K_t – температурный режим,

K_r – режим работы,

K_{ha} – вид холодильного агента,

K_o – вид охлаждения,

K_e – вид энергии,

K_s – количество компрессоров,

K_{vn} – количество водяных насосов,

K_{kam} – количество камер охлаждения,

K_{rv} – количество регулирующих вентиляей.

Основным целевым критерием при управлении любой холодильной установкой является поддержание температуры в холодильных камерах на заданном уровне:

$$z_1 : \{t_{kam_i}\} = const, \quad (2)$$

$$i = \{1..K_{kam}\} \quad (3)$$

Немаловажным критерием является время выхода на режим установки, которое должно быть минимальным:

$$z_2 = t_{vr} \rightarrow \min \quad (4)$$

При этом затраты электроэнергии должны быть также минимальными:

$$z_3 \rightarrow \min \quad (5)$$

Таким образом, с учетом (2) – (5), цель управления

$$Z^* : (z_1 = const, z_2 \rightarrow \min, z_3 \rightarrow \min) \quad (6)$$

Измеряемыми входными факторами является температура окружающей среды $x_1 = t_{os}$ и относительная влажность $x_2 = \phi_{os}$ следовательно, вектор измеряемых входных факторов

$$X = \{x_1, x_2\} \quad (7)$$

На ОУ постоянно оказывают влияние ненаблюдаемые факторы среды, которыми в случае холодильной установки можно считать теплопритоки

$$E = \{Q_{об}\} = \{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5\}, \quad (8)$$

где $Q_{об}$ – нагрузка на камерное оборудование,

Q_1 – теплоприток через ограждающие конструкции,

Q_2 – теплоприток от продуктов,

Q_3 – теплоприток при вентиляции,

Q_4 – эксплуатационный теплоприток,

Q_5 – теплоприток от овощей и фруктов в процессе «дыхания».

Исходными факторами, которые характеризуют состояние объекта, является вектор

$$Y = \{z_1, T, P, H\}, \quad (9)$$

где T – вектор температур:

$$T : \{t_{vs}, t_n, t_k, t_0, t_{w1}, t_{w2}\}, \quad (10)$$

где

t_{vs} – температура всасывания,

t_n – температура нагнетания,

t_k – температура конденсации,

t_0 – температура кипения холодильного агента,

t_{w1}, t_{w2} – температура воды на входе и выходе из конденсатора

соответственно.

Каждый из этих параметров, кроме t_0, t_{w1}, t_{w2} в свою очередь является множеством из K_s элементов;

P – вектор давлений:

$$P : \{p_{vs}, p_n, p_k, p_0, \Delta p\}, \quad (11)$$

где

p_{vs} – давление всасывания,

p_n – давление нагнетания,

p_k – давление конденсации,

p_0 – давление кипения холодильного агента,

Δp – разность давлений до и после маслоотсоса.

p_{vs} , p_n и p_k в свою очередь являются множествами из K_s элементов;

H – вектор уровней:

$$H : \{H_m, H_{mo}, H_{mzc}, H_{mc}, H_{kd}, H_{lpr}, H_{oj}, H_g\}, \quad (12)$$

где

H_m – уровень масла в компрессоре,

H_{mo} – уровень масла в маслоотделителе,

H_{mzc} – уровень масла в маслозаправочном сосуда,

H_{mc} – уровень масла в маслосборнике,

H_{kd} – уровень холодильного агента в конденсаторе,

H_{lpr} – уровень холодильного агента в линейном ресивере,

H_{oj} – уровень ха в отделителе жидкости,

H_g – уровень заполнения камеры грузом,

D_X, D_Y – операторы датчиков, с помощью которых измеряется состояние среды и объекта соответственно. Результаты измерений

$$X_d = D_X(X) \text{ и } Y_d = D_Y(Y) \quad (13)$$

являются исходной информацией для управляющего устройства, которое вырабатывает управляющее воздействие U .

Управляющим устройством является система управляющих вентилей, которые регулируют подачу холодильного агента и воды в систему. Таким образом:

$$Y = F^\circ(X, U, E) \quad (14)$$

Основой для выработки управляющего воздействия служит информация о сложившейся ситуации

$$I = \langle X_d, Y_d \rangle \quad (15)$$

Располагая информацией о состоянии среды, объекта и цели можно представить управление как результат работы алгоритма

$$U = \phi(I, Z^*), \quad (16)$$

где ϕ – алгоритм управления, представляющий собой оператор, преобразующий информацию о среде, объекте и цели в управление U , реализация которого U° должна переводить объект в требуемое состояние Z^* .

Только с помощью модели объекта можно построить управление U , переводящее сложный объект в целевое состояние Z^* . Без модели процесс управления можно реализовать лишь методом проб и ошибок, что неприемлемо при управлении сложным объектом, так как требует слишком больших затрат времени и заставляет подвергать объект ошибочным действиям, что в случае холодильной установки не приемлемо.

Под моделью объекта управления будем понимать зависимость F , связывающую состояние Y объекта с его входами — неуправляемым X и управляемым U :

$$Y = F(X, U) \quad (17)$$

В отличие от оператора объекта F° , который неизвестен, модель F представляет собой высказывание относительно связи между входами X и U модели и ее выходом на любом удобном языке. В об-

щем случае модель F определяется некоторым алгоритмом, который указывает, как, располагая информацией о входах X и U , определить выход Y , не обращаясь к реальному объекту.

Субъект является активной стороной и отражает в процессе своего взаимодействия со средой не только состояние этой среды, но и свои собственные интересы и потребности, связанные с жизнедеятельностью. Для рассматриваемой системы субъектом является оператор холодильной установки или группа операторов, называемая сменой. Поэтому под субъектом, следует понимать активную систему, чьи интересы должны быть отражены в СУ.

Предлагаемая схема взаимодействия субъекта с СУ обобщенной холодильной установкой представлена на рис 1. Особенностью данной схемы является то, что она содержит систему интеллектуальной поддержки (СИП). СИП, с помощью современных методов искусственного интеллекта производит и предоставляет системе принятия решения и системе управления алгоритм оптимального управления ϕ_{int} , который сравнивается с алгоритмом управления сформированным оператором ϕ_c . Такое сравнение позволяет дать оператору подсказку либо оценить его действия и не допустить формирование неправильного управляющего воздействия.

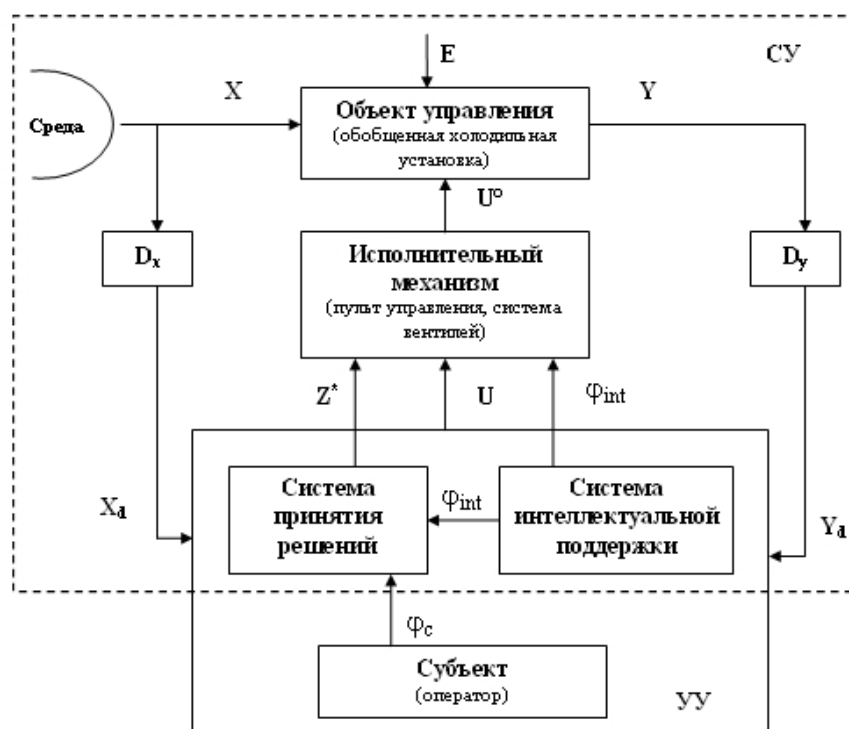


Рисунок 1 – Схема взаимодействия субъекта с системой управления

Выводы и перспективы исследования. Применение системы интеллектуальной поддержки при моделировании управления обобщенной холодильной установкой позволяет реализовать одну из основных целей компьютерного тренажера, а именно формирует эталонное управляющее воздействие, с помощью которого можно обеспечить аппарат подсказок в режиме обучения либо критерий сравнения при оценивании результата.

В дальнейшем планируется проверить адекватность предложенной модели при помощи компьютерных экспериментов и реализовать схему управления в компьютерном тренажере с применением современных методов искусственного интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. - 94 с.
2. Селіванова А. В. Неро-нечітке моделювання управління холодильною установкою для комп'ютерного тренажера /Селіванова А. В., Селіванов А. П., Мазурок Т. Л./ Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (81) – Дніпропетровськ, 2012 - 208 с. – 136-141
3. Растринин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами./ Л. А.Растринин. – М.: Сов. Радио, 1980 – 232 с.: ил
4. Холодильное оборудование предприятий пищевой промышленности/В. В. Осокин, А. С. Титлов, С. Ф. Горыкин, А. Б. Кудрин. – Донецк: [ДонНУЭТ]; Одесса, 2011. – 255 с.

А.И. Михалев, В.Н. Журавлев, Р.А. Сухомлин, М.И. Гасик
**МЕТОДЫ ГИЛЬБЕРТА-ХУАНГА И КМА В ЗАДАЧАХ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
АВИАЦИОННЫХ РЕДУКТОРОВ**

Аннотация. Статья посвящена идентификации технического состояния авиационного редуктора на основе измеренного вибросигнала. Анализ вибросигналов проводился методами основанными на преобразовании Гильберта-Хуанга и кратномасштабном анализе.

Ключевые слова: авиационный узел, кратномасштабный анализ, преобразование Гильберта-Хуанга.

Введение. В работе рассматриваются два метода анализа сигналов: метод основанный на преобразовании Гильберта-Хуанга (англ. ННТ) и метод кратномасштабного анализа (КМА), а также на основе анализа вибрационных сигналов авиационного редуктора в режиме его стендовых испытаний проведено их сравнение. В процессе испытаний фиксировались этапы изменения технического состояния (ТС) редуктора. Наличие переходных процессов при изменении ТС позволило провести идентификацию состояния редуктора вышеуказанными методами.

Выбор методов произведен, исходя из положительных результатов анализа вибросигналов роторного двигателя мощностью 2,2 кВт, которые получены с использованием этих методов [1]. В процессе решения была выявлена зависимость показателей ННТ и вейвлет-преобразования сигналов от ТС двигателя, характеризующаяся изменением энергии спектра анализируемого сигнала. Как будет показано ниже, подобная зависимость характерна и при анализе технического состояния авиационного узла.

Математические основы КМА. Основная идея кратномасштабного анализа (КМА) заключается в описании функции в виде совокупности ее последовательных приближений. Другими словами представление анализируемого пространства в виде вложенного множества линейных пространств:

$$V^0 \subset V^1 \subset \dots \subset V^j \subset \dots$$

Разрешение функций в V^j возрастает с увеличением j . Базисные функции, которые входят в V^j , называются масштабирующими φ^j . Эти функции, по сути, являются последовательными аппроксимациями исходной анализирующей функции. А поскольку процесс аппроксимации можно обратить, т.е. провести обратную (восходящую) аппроксимацию, то в итоге можно получить V^{j+1} из V^j . Чтобы это стало возможным необходимо определить еще одно пространство W^j , которое будет дополнением V^j до V^{j+1} . Пространство W^j называется детализирующим, а базисные функции которые в него входят, называются вейвлет-функциями ψ^j . Следовательно, любая функция в V^{j+1} может быть записана в виде суммы однозначно определенной функции из пространства V^j и однозначно определенной функции из пространства W^j .

Масштабирующие и вейвлет функции обладают несколькими важными свойствами с точки зрения КМА:

Наличие вложенности подпространств эквивалентно уточняемости масштабирующих функций [2]:

$$c^j = P^j c^{j-1} \quad (1)$$

где c^j - коэффициент, выраженный в терминах некоторого базиса масштабирующих функций, P^j - некая постоянная матрица.

Поскольку пространство вейвлетов W^j является как-бы подпространством V^j , можно выразить вейвлет-функцию как линейную комбинацию масштабирующих функций

$$d^j = Q^j c^{j-1} \quad (2)$$

где d^j - коэффициент, выраженный в терминах некоторого базиса вейвлет функций, Q^j - некая постоянная матрица.

На основании всего вышеприведенного можно описать вейвлет-разложение в матричном виде.

Пусть имеются коэффициенты выраженный в терминах некоторого базиса масштабирующих функций:

$$c^j = [c_0^j \dots c_{v(j)-1}^j]^T,$$

где $v(j)$ - размерность масштабирующего пространства V^j .

Допустим, что нам необходимо получить c^j с низким разрешением (c^{j-1}). Это можно сделать, применив определенную форму линейной фильтрации и децимации значений c^j :

$$c^{j-1} = A^j c^j, \quad (3)$$

где A^j - постоянная матрица.

Потерянная информация в процессе фильтрации записывается в другой столбец d^{j-1} :

$$d^{j-1} = B^j c^j, \quad (4)$$

где B^j - постоянная матрица, связанная с матрицей A .

Матрицы A и B принято называть фильтрами анализа, а процесс разбиения c^j на c^{j-1} и d^{j-1} декомпозицией. Если A и B выбраны правильно, можно провести восстановление исходного сигнала c^j :

$$c^j = P^j c^{j-1} + Q^j d^{j-1}. \quad (5)$$

Матрицы P и Q (выражения (1) и (2)) называются фильтрами синтеза.

Поскольку c^j можно восстановить из последовательности $c^0, d^0, d^1, \dots, d^{j-1}$, то можно сказать о том, что эта последовательность полностью описывает анализируемый сигнал и в целом характеризует вейвлет-преобразование исследуемого сигнала. В свою очередь процесс декомпозиции можно провести рекурсивно и, следовательно, описать его в виде иерархической схемы:

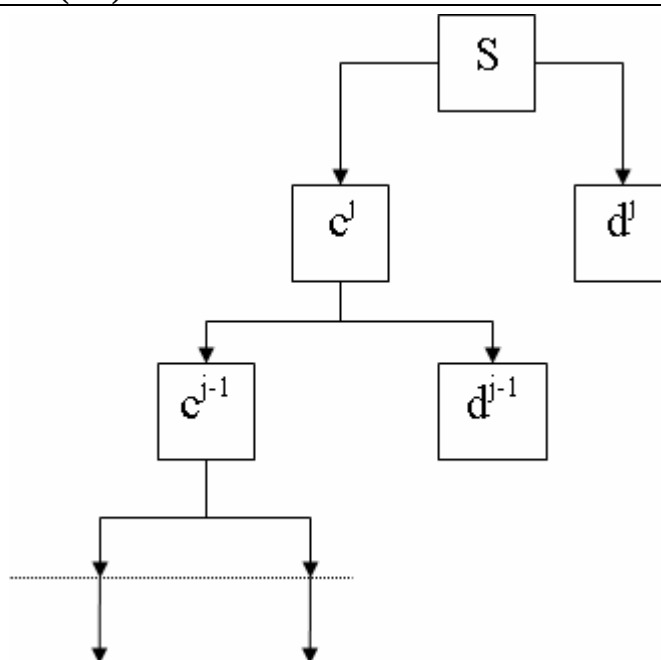


Рисунок 1 – Схема процесса декомпозиции
($S = s(t)$ – исходный сигнал)

Анализ вибросигналов авиационного узла. В данном разделе статьи приведены результаты процесса идентификации ТС АУ методами ННТ и вейвлет-преобразования. Способ их вычисления можно найти в работах [1, 3, 4]. Результаты обработки вибросигналов, характеризующих 4 ТС АУ (файлы SIGNAL_i=1,4), представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1

	ННТ		
	Амплитуда огибающей по методу демодуляции сигнала	Спектральная плотность мощности спектра Гильберта	Стандартное отклонение амплитуды
	$ a $	W	$s(x)$
SIGNAL_1	0,0014489	0,0000162	0,0018404
SIGNAL_2	0,0028693	0,0000547	0,0034982
SIGNAL_3	0,0035904	0,0000775	0,0043536
SIGNAL_4	0,0037882	0,0000867	0,0045380

Ниже приведена таблица с вейвлет коэффициентами: $cD1$ – стандартное отклонение детализирующего коэффициента первого уровня декомпозиции, $cD2$ – второго уровня декомпозиции и т.д.

Таблица 2

	Вейвлет коэффициенты		
	$cD1$	$cD2$	$cD3$
SIGNAL_1	0,0048410	0,0105530	0,0306110
SIGNAL_2	0,0063770	0,0208370	0,0569860
SIGNAL_3	0,0068790	0,0232930	0,0648030
SIGNAL_4	0,0071410	0,0242060	0,0646650

Таблица 3

	Плотность мощности вейвлет коэффициентов		
	W_{cD1}	W_{cD2}	W_{cD3}
SIGNAL_1	0,0000074	0,0000352	0,0002964
SIGNAL_2	0,0000129	0,0001372	0,0010292
SIGNAL_3	0,0000151	0,0001716	0,0013284
SIGNAL_4	0,0000162	0,0001853	0,0013232

На основе показателей приведенных в таблицах 1 - 3 можно сделать следующие выводы:

Сигнал «SIGNAL_1» снят с авиационного узла в тот период времени, когда он находился в исправном техническом состоянии. Остальные сигналы сняты с узла в период времени, который соответствовал неисправному ТС, причем различной степени. В зависимости от степени дефекта можно составить следующий иерархический список:

1. «SIGNAL_2» - сигнал соответствует наименьшей степени повреждения.
2. «SIGNAL_3» - сигнал соответствует средней степени повреждения.
3. «SIGNAL_4» - сигнал соответствует наибольшей степени повреждения.

Для визуального представления результатов анализа приведены графики спектров гильберта для SIGNAL_1 и SIGNAL_4.

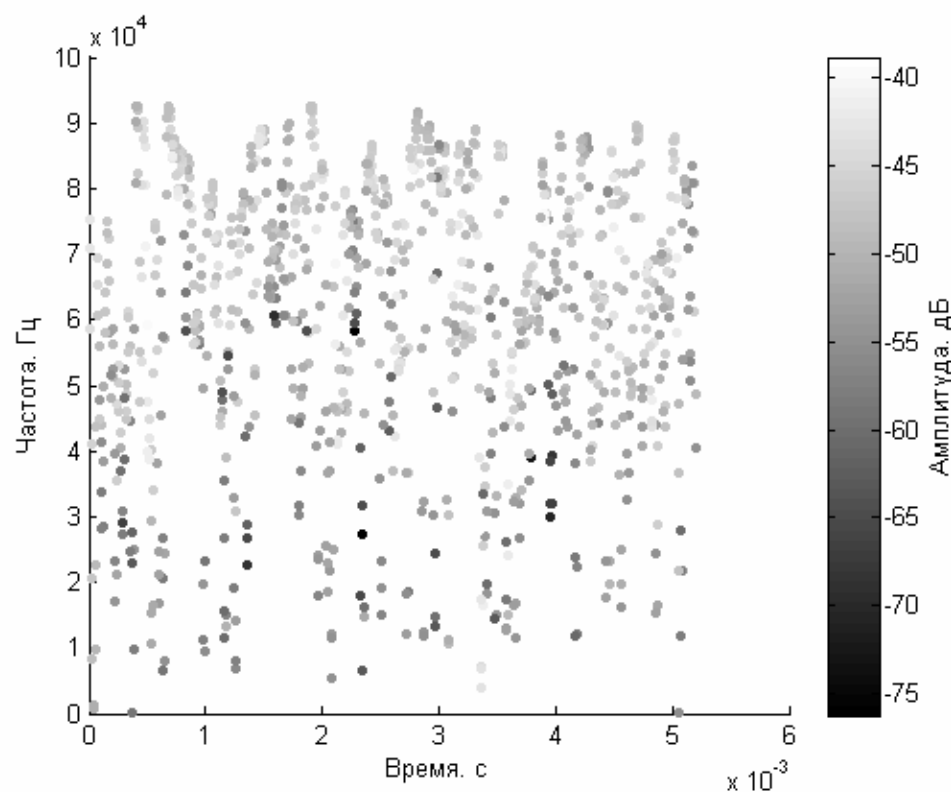


Рисунок 2 – Спектр Гильберта сигнала SIGNAL_1

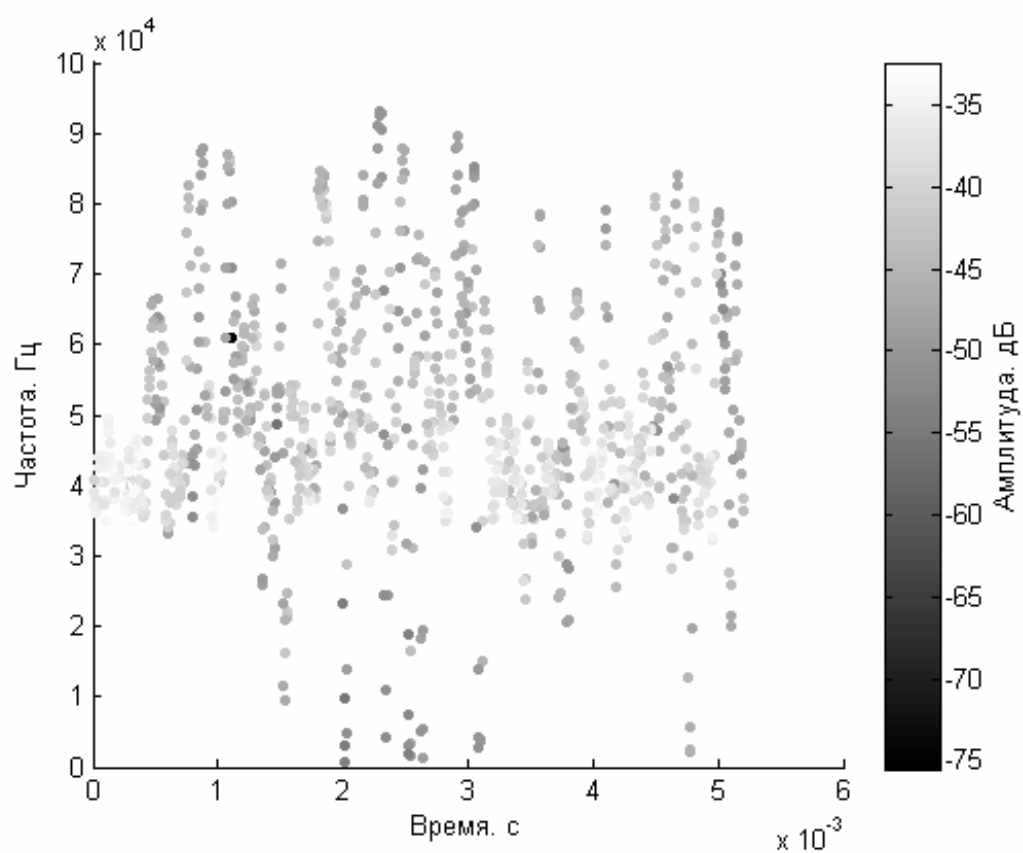


Рисунок 3 – Спектр Гильберта сигнала SIGNAL_4

Сравнив два приведенных графика, даже визуально можно заметить что энергия SIGNAL_4 превышает энергию SIGNAL_1. Этот факт подтверждает выводы, сделанные на основе рассчитанных показателей в вышеприведенных таблицах.

В то же время, следует заметить, что все сделанные выводы являются всего лишь предположением о ТС узла. Вместе с тем фактически файлы SIGNAL_i= $\overline{1,4}$ отражают следующее:

1. «SIGNAL_1» - изменен алгоритм управления узлом.
2. «SIGNAL_2» - деталь заменена.
3. «SIGNAL_3» - узел отработал более 100 часов.
4. «SIGNAL_4» - неисправна одна деталь.

В свою очередь, сравнив фактические ТС с предполагаемыми, основанными на результатах анализа приведенными выше методами, можно сказать о том, что эти методы позволяют определить моменты времени возникновения дефектов и тенденции изменения технического состояния авиационного узла в целом.

Для подтверждения сделанных выводов применим метод **движущегося окна** с целью вычисления математического ожидания и дисперсии коэффициентов вейвлет-анализа и ННТ, рассчитанных для последовательностей отсчетов сигнала авиационного узла. Последовательности были предварительно получены при движении окна заданной длины по сигналу. При этом перекрытие соседних окон составляло 50%. Длина окна соответствовала *фундаментальному периоду* – интервалу времени, за который анализируемая система проходит все свои состояния и возвращается в исходное. Математическое ожидание и дисперсия, рассчитанные таким образом будут также отражать ТС узла. Значения данных оценок должны увеличиваться при ухудшении ТС, поскольку данная тенденция вызывает флюктуацию амплитуды. Результаты вычислений приведены в таблицах ниже.

Таблица 4

	Математическое ожидание ННТ		
	Амплитуда огибающей по методу демодуляции сигнала	Спектральная плотность мощности спектра Гильберта	Стандартное отклонение амплитуды
	$ a $	W	$s(x)$
SIGNAL_1	0,0014620	0,0165380	0,0018590
SIGNAL_2	0,0029210	0,0560050	0,0035600
SIGNAL_3	0,0035700	0,0779270	0,0043080
SIGNAL_4	0,0038860	0,0903880	0,0046600

Таблица 5

	Математическое ожидание вейвлет коэф-фициентов		
	$cD1$	$cD2$	$cD3$
SIGNAL_1	0,004905	0,010668	0,029986
SIGNAL_2	0,006382	0,020949	0,056394
SIGNAL_3	0,006902	0,023008	0,064091
SIGNAL_4	0,007250	0,024447	0,064523

Вычисленное математическое ожидание, как и предполагалось, увеличивается при ухудшении ТС узла.

Таблица 6

	Дисперсия ННТ		
	Амплитуда огибающей по методу демодуляции сигнала	Спектральная плотность мощности спектра Гильберта	Стандартное отклонение амплитуды
	$ a $	W	$s(x)$
SIGNAL_1	3,32E-10	1,4E-07	4,91E-10
SIGNAL_4	9,62E-09	1,28E-05	1,31E-08
SIGNAL_3	1,54E-08	1,64E-05	2,05E-08
SIGNAL_2	1,55E-08	1,34E-05	2,09E-08

Таблица 7

	Дисперсия вейвлет коэффициентов		
	<i>cD1</i>	<i>cD2</i>	<i>cD3</i>
SIGNAL_1	1,34E-09	1,03E-08	3,48E-07
SIGNAL_2	3,46E-09	4,85E-08	5,69E-07
SIGNAL_3	3,80E-09	5,27E-08	8,36E-07
SIGNAL_4	5,26E-09	7,78E-08	6,99E-07

С другой стороны, вычисленная дисперсия показателей ННТ только частично подтверждает сделанные предположение. Например, дисперсия сигнала SIGNAL_1 (изменен алгоритм управления узлом) намного меньше дисперсий остальных сигналов. Однако, если сравнить дисперсии сигналов SIGNAL_2 (деталь заменена) и SIGNAL_4 (неисправна одна деталь), то получается, что SIGNAL_4 меньше SIGNAL_2, хотя с точки зрения логики должно быть наоборот. Расхождения есть также среди самих показателей ННТ, а именно: спектральная плотность мощности спектра Гильберта хуже всех остальных (амплитуда огибающей по методу демодуляции сигнала, стандартное отклонение амплитуды) отражает ТС двигателя. Это связано с тем, что периодограммный метод не является состоятельной оценкой СПМ, поскольку дисперсия такой оценки сравнима с ее математическим ожиданием [5]. С ростом длины анализируемого сигнала значение СПМ начинает все быстрее флуктуировать. Соответственно, если заменить периодограммный метод вычисления СПМ на более эффективный, например, на метод Уэлча [5], погрешность дисперсии заметно уменьшится.

Сравнив значения, приведенные в таблицах 6 и 7 можно сказать, что дисперсия показателей вейвлет-преобразования в отличие от ННТ не выходит за пределы теоретических предположений (ухудшение ТС приводит к увеличению дисперсии). Наиболее вероятными причинами такого несоответствия могло являться следующее:

Сигнал зашумлен. Поскольку вейвлет-преобразование характеризуется фильтрующим свойством подавления шумов [6], то на нем это не отражается, в отличие от ННТ, который не обладает данными свойствами.

Отсутствие априорной информации о сигнале вынуждает анализировать только первую модовую составляющую преобразования Хуанга. Данная компонента помимо информационной составляющей содержит также шум, что связано со свойствами данного преобразования [7]. Остальные модовые составляющие сигнала зашумлены в меньшей степени, но не могут быть учтены при анализе. В результате этого могла возникнуть погрешность дисперсии показателей ННТ.

Краевые дефекты метода интерполяции. В ННТ использовался метод интерполяции кубическим сплайном, которые обладают краевыми дефектами, что могло вызвать погрешность значений дисперсии. Но после проверки, которая состояла в замене данного метода на методы интерполяции Акима и Эрмита результаты не изменились. Отсюда следует, что проблема не в методах интерполяции.

Выводы. Отличия рассмотренных выше методов заключается в их недостатках и достоинствах. К недостаткам КМА сигналов можно отнести трудности с выбором анализирующего вейвлета и обязательное условие стационарности сигнала. Преимуществом данного метода является подавление шумов и детальный анализ частотного спектра. Преобразование Гильберта-Хуанга, с другой стороны, требует априорную информацию о сигнале и очистку от шумов, но не требует доказательства стационарности. В результате сравнения, проведенного в работе, можно сказать, что методы примерно равны по эффективности, которая зависит еще и от характеристик самого сигнала.

Несмотря на недостатки приведенных методов, они оказались довольно эффективными в сложной задаче анализа ТС авиационного узла. Интересно также то, что тенденция изменения показателей Гильберта-Хуанга и вейвлет-анализа от ТС авиационного узла такая же, как и при анализе двигателя мощностью 2,2 кВт. Это является характерным следствием увеличения мощности вибросигнала объекта исследования при возникновении дефектов.

В целом оба рассмотренных нами метода позволили провести идентификацию ТС АУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михалёв А.И., Журавлев В.Н., Сухомлин Р.А. Комбинированный метод анализа сигналов на основе Гильберта-Хуанга и вейвлет-преобразований в задаче диагностики дефектов подшипников // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (78). - Днепропетровск, 2012. – С. 165-177
 2. Столниц Э., ДеРоуз Т., Салезин Д. Вейвлеты в компьютерной графике: Пер. с англ. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2002, 272 стр.
 3. Amirat Y., Choqueuse, V., Benbouzid, M.E.H., Charpentier, J.F. Bearing fault detection in DFIG-based wind turbines using the first Intrinsic Mode Function. 2010 XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM).
 4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2002. – 608 с., ил.
 5. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. - 265 с., ил.
 6. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с., ил.
- Давыдов В.А., Давыдов А.В. Очистка геофизических данных от шумов с использованием преобразования Гильберта-Хуанга.// Электронное научное издание "Актуальные инновационные исследования: наука и практика", - 2010, № 1. – электронный ресурс: <http://www.actualresearch.ru>.

МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ РЕЙТИНГА КАФЕДР ИНТЕГРИРОВАННЫМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ МВС+МАИ

Аннотация. На основе интегрированного многокритериального метода МВС+МАИ предлагается модель построения рейтинга кафедр, позволяющая проанализировать основные этапы составления рейтинга кафедр. Приводится иллюстрационный пример. Предполагается на базе этой модели проектирование расширения системы поддержки принятия решений NooTron.

Ключевые слова: рейтинг, МКА, МАИ, МВС, СППР.

Введение. В современном мире задача составления рейтингов находит своё применение во многих отраслях науки и практики. Ранжирование стало мощным инструментом для своевременного выявления сильных и слабых сторон в системах разного уровня сложности. Например, рейтинг проектов, международный рейтинг университетов, рейтинг стран по уровню жизни, по объёму ВВП на душу населения и т.п.

Существует немало методов для решения подобных задач, вот основные из них: методы векторной и скалярной оптимизации, многокритериальной классификации и метод анализа иерархий (МАИ) [1]. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, но хотелось бы подчеркнуть, что, по своей сути, составление рейтингов является задачей многокритериального ранжирования и её решение лежит в плоскости многокритериального анализа (МКА).

Методы МКА составляют основу библиотеки методов веб-приложения «Система поддержки принятия решений NooTron» (<http://nootron.net.ua>), разработанной на кафедре информационных технологий и систем НМетАУ [2].

Покажем классы задач ранжирования, решаемые встроенными в СППР NooTron методами, причем фактором классификации возьмём «целевое время». Таким образом, выделим два класса задач:

ранжирование постфактум и прогностические задачи ранжирования. В СППР NooTron решить задачу первого типа можно как методом взвешенных сумм (МВС), методом анализа иерархий, так и интегрированным методом МВС+МАИ, который позволяет решить проблему согласованного определения весов критериев в МВС [3]. Для решения задач второго типа, требующих учета вариантов внешних условий, в СППР NooTron целесообразно использовать метод матрицы решений (ММР), интегрированный метод МАИ+ММР [3, 4].

Для многокритериального ранжирования можно также применять МАИ «в абсолютных измерениях», у которого (в отличие от МАИ) нет ограничения на количество сравниваемых объектов и критериев. Данный метод планируется добавить в библиотеку методов СППР NooTron.

На кафедре ведется проектирование расширения интегрированного метода МВС+МАИ в веб-приложении «СППР NooTron» для составления рейтинга кафедр НМетАУ за календарный год. Цель решения данной задачи – активизировать работу преподавателей, аспирантов (докторантов), сотрудников, кафедр, факультетов для достижения ими высоких показателей деятельности, что будет способствовать повышению качества образования, рейтинга и имиджа академии.

Основная часть. Так как задача построения рейтинга кафедр является ранжированием постфактум, то целесообразно использовать для её решения метод взвешенных сумм. Несмотря на такие достоинства этого метода, как отсутствие принципиальных ограничений на количество и структуру критериев, на количество сравниваемых объектов, он имеет существенный недостаток – проблему согласованного определения весов критериев.

В СППР NooTron рейтинг (по выбору пользователя) можно составить как методом взвешенных сумм, так и интегрированным методом МВС+МАИ. Последний позволяет решить проблему согласованного определения весов критериев.

В многокритериальном анализе построение структуры решения задачи называется моделью многокритериального ранжирования или моделью выбора. Покажем основные этапы построения модели многокритериального ранжирования кафедр на базе интегрированного метода МВС+МАИ.

При постановке задачи составления рейтинга в методе взвешенных сумм необходимо построить многоуровневую иерархическую структуру критериев. Для построения иерархии (рисунок 1) критериев (показателей) оценки деятельности кафедр за основу были взяты общие критерии (критерии 1-го уровня) из [1], затем по ним были сгруппированы показатели, взятые из приказа «О мерах по усовершенствованию оценки деятельности подразделений и преподавателей академии НМетАУ».

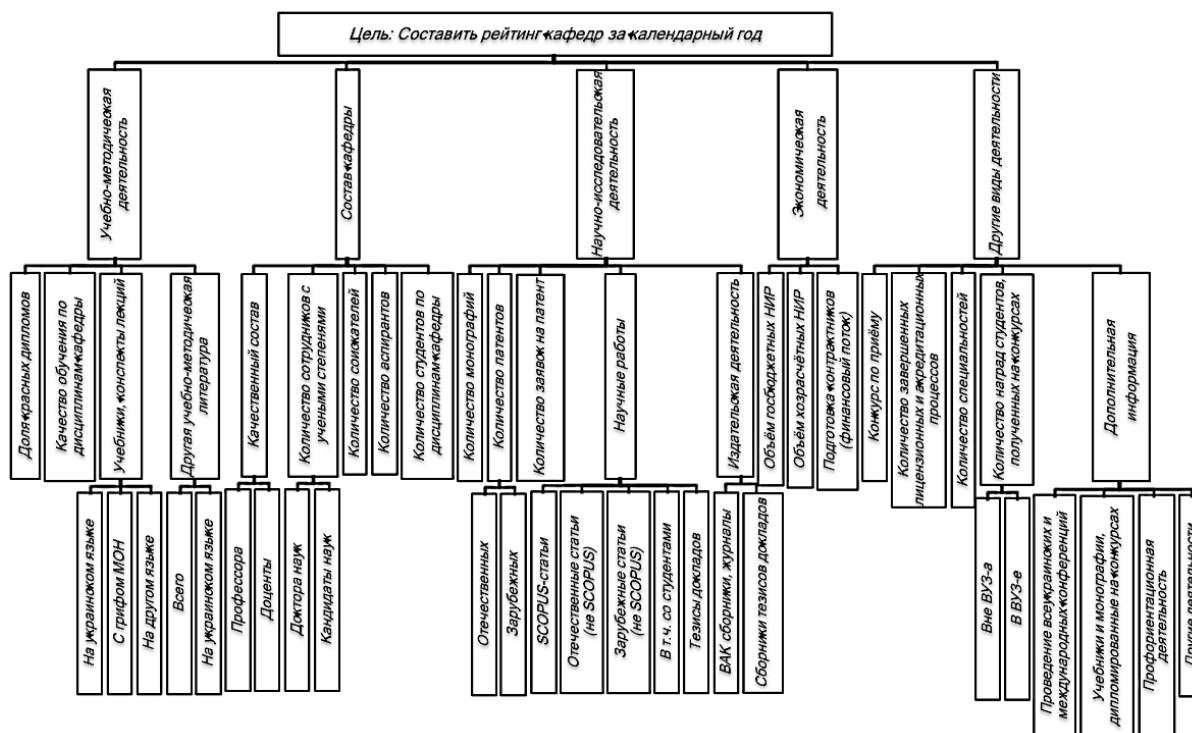


Рисунок 1 – Иерархия критериев оценки деятельности кафедр

Далее необходимо определить веса критериев оценки деятельности кафедр. В интегрированном методе МВС+МАИ веса (приоритеты) в каждой группе критериев вычисляются с помощью матрицы парных сравнений (МПС), в которой критерии сравниваются попарно по отношению к обобщающему критерию в шкале Саати или в шкале отношений.

При точном процессе определения приоритетов критериев задача сводится к нахождению собственного вектора МПС (1), соответствующего максимальному собственному значению [5].

$$A \cdot X = \lambda_{\max} \cdot X, \quad (1)$$

где A – матрица парных сравнений (МПС),

X – n -мерный вектор, составленный из искомым приоритетов (n – количество критериев в группе),

$\lambda_{\max}$ – максимальное собственное значение МПС;

и последующего нормирования этого вектора:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (2)$$

Нахождение собственного вектора матрицы парных сравнений – это трудоемкая задача (если «вручную»), но в состав практически всех математических пакетов включены средства для нахождения собственных значений и векторов матриц – Eigenvalues, Eigenvectors. Поэтому при разработке классов обработки матриц парных сравнений для СППР NooTron была использована библиотека Efficient Java Matrix Library (EJML), которая позволяет быстро и эффективно проводить матричные расчеты.

В рассматриваемой задаче иерархия критериев состоит из 15 групп, таким образом, для определения весов критериев иерархии необходимо заполнить 15 матриц парных сравнений. Приведём несколько МПС групп показателей деятельности кафедр при составлении рейтинга в веб-приложении «СППР NooTron» (рисунок 2, 3).

Рейтинг кафедр. Решение

Метод Взвешенных Сумм

ШАГ 3.

«Определение Весов критериев Уровня 3»

3.6 Заполните матрицу парных сравнений критериев Уровня 3 ветви по Кр3.4, используя:

☒ Шкалу Саати (1/2, 1/3, ..., 1/9, 1, 2, ..., 9,)

☐ Шкалу отношений (Шк Отн.)

Чем больше, тем лучше ▾

Кр3.4: Научные работы

	Название	Кр3.4.1	Кр3.4.2	Кр3.4.3	Кр3.4.4	Кр3.4.5	ЛПР.
Кр3.4.1	SCOPUS-статьи	1	3	2	3	7	0.418
Кр3.4.2	Отечеств. статьи	1/3	1	1/2	1	3	0.137
Кр3.4.3	Зарубеж. статьи	1/2	2	1	3	5	0.273
Кр3.4.4	В т.ч. со студентами	1/3	1	1/3	1	2	0.118
Кр3.4.5	Тезисы докладов	1/7	1/3	1/5	1/2	1	0.054

Dim	Lam	CI	CR
5.000	5.047	0.012	0.011

Вычислить

Рисунок 2 – МПС критериев группы «Научные работы» в СППР NooTron

Рейтинг кафедр. Решение

Метод Взвешенных Сумм

ШАГ 2.

"Определение Весов критериев Уровня 2"

2.3 Заполните матрицу парных сравнений критериев Уровня 2 ветви по Кр3, используя:

☒ Шкалу Саати (1/2, 1/3, ..., 1/9, 1, 2, ..., 9,)

☐ Шкалу отношений (Шк.Отн.)

Чем больше, тем лучше

Кр3: Науч.-исслед. д-сть

	Название	Кр3.1	Кр3.2	Кр3.3	Кр3.4	Кр3.5	ЛПР.
Кр3.1	Кол-во монографий	1	3	4	3	5	0.463
Кр3.2	Кол-во патентов	1/3	1	2	1	2	0.170
Кр3.3	Заявки на патенты	1/4	1/2	1	1/3	1/2	0.077
Кр3.4	Научные работы	1/3	1	3	1	2	0.186
Кр3.5	Издательская д-сть	1/5	1/2	2	1/2	1	0.104

Dim	Lam	CI	CR
5.000	5.100	0.025	0.022

Вычислить

Рисунок 3 – МПС критериев группы «Научно-исследовательская деятельность» в СППР NooTron

При определении весов критериев с помощью матриц парных сравнений следует обращать также внимание на индекс «CR», отображающий отношение согласованности. Допустимым считается значение данного индекса, не превышающее 0.100 – 0.200. Если CR выходит из этих пределов, то экспертам необходимо исследовать задачу и проверить свои оценки [5].

Следующим этапом в рассматриваемой задаче является задание сравниваемых объектов и их оценок, нормированных к выбранной шкале. Данный этап представляет собой отдельную проблему метода и находится в процессе разработки. Предполагается, что при проектировании расширения интегрированного метода МВС+МАИ в веб-приложении «СППР NooTron» для составления рейтинга кафедр НМетАУ за календарный год, данные можно будет загружать из Excel-файлов, что будет осуществляться от роли «Заведующий кафедрой».

Обычно для приведения оценок сравниваемых объектов к единой шкале используются линейные функции принадлежности. В СППР NooTron для нормализации оценок планируется реализовать возможность выбора вида функции принадлежности.

При решении данной задачи в СППР NooTron оценки кафедр по первичным критериям были заданы в шкале «1-12». На рисунке 4 приведена страница задания сравниваемых объектов и их оценок.

Шаг 4
Задайте альтернативы и оцените их по Критериям:

№	Критерий	№	Критерий	№	Критерий	№	Критерий	№	Критерий	№	Критерий	№	Критерий	№	Критерий
Кр1	Доля ир. дисс.мол.	Кр6	Всего	Кр11	Кандидаты наук	Кр16	Отечест. патенты	Кр21	Зарубеж. статьи	Кр26	Объём Г/Б НИР, грн	Кр31	К-во специальностей	Кр36	Профориентация-ста
Кр2	КО по дисц. кафедры	Кр7	В т.ч. на укр. языке	Кр12	Кол-во соискателей	Кр17	Зарубеж. патенты	Кр22	В т.ч. со студентами	Кр27	Объём ХР НИР, грн	Кр32	Вне БУЗ-а	Кр37	Др. я-ста
Кр3	На укр. языке	Кр8	Профессора	Кр13	Кол-во аспирантов	Кр18	Заклони на патенты	Кр23	Тезисы докладов	Кр28	Контракты (ФП)	Кр33	В БУЗ-е		
Кр4	С графом МОН	Кр9	Доценты	Кр14	Кол-во студ. по дисц.	Кр19	SCOPUS-статьи	Кр24	ВАК об-новиз, журналы	Кр29	Конкурс по премиям	Кр34	Орг. конференций		
Кр5	На другом языке	Кр10	Доктора наук	Кр15	Кол-во монографий	Кр20	Отечест. статьи	Кр25	Сборники тезисов	Кр30	Линии амп. процессов	Кр35	Награды моногр., учеб		

Выберите шкалу

☐ 0 - 10
 ☒ 0 - 12
 ☐ 0 - 100

№	Альтернативы	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	Кр5	Кр6	Кр7	Кр8	Кр9	Кр10	Кр11	Кр12	Кр13	Кр14	Кр15	Кр16	Кр17	Кр18	Кр19
A1	Кафедра 1	12	10	12	10	11	10	10	11	12	10	12	11	12	10	11	10	11	11	11
A2	Кафедра 2	10	12	12	11	12	11	12	12	11	11	12	12	11	12	10	12	12	11	12
A3	Кафедра 3	11	11	12	12	10	12	11	11	12	12	10	10	10	11	12	10	11	12	11

+ Добавить альтернативу

Кр20	Кр21	Кр22	Кр23	Кр24	Кр25	Кр26	Кр27	Кр28	Кр29	Кр30	Кр31	Кр32	Кр33	Кр34	Кр35	Кр36	Кр37			
11	11	10	12	10	11	12	12	12	12	11	11	12	10	11	11	12	12	12	12	✖
12	11	12	12	11	12	10	11	10	10	10	11	11	11	12	11	11	12	12	12	✖
11	12	11	10	12	10	11	11	11	11	12	12	11	12	11	12	10	12	12	12	✖

Рисунок 4 – Страница задания сравниваемых объектов и их оценок в СППР NooTron

В СППР NooTron для метода взвешенных сумм реализован стандартный вариант расчета глобальных оценок сравниваемых объектов – полилинейной аддитивной свёрткой.

На рисунке 5 показана страница результата решения модельной задачи по составлению рейтинга кафедр.

NooTron. Our DSS does help you!

Гость

[Выход](#)

- Главная
- Решить задачу
- Справка

Рейтинг кафедр. Результат

Метод Взвешенных Сумм

Цель: Составить рейтинг кафедр за календарный год

Альтернативы, упорядоченные в порядке убывания Глобальных оценок:

№	Альтернативы	Гл.Оценки
1	Кафедра 3	11.394
2	Кафедра 1	11.013
3	Кафедра 2	10.919

[<< Назад](#)
 [Далее >>](#)

| Главная | Справка | Портфолио | Мы в контакте | Copyright © 2011-2012 Группа разработчиков - студентов НМетАУ

Рисунок 5 – Модельный пример рейтинга кафедр в СППР NooTron

Таким образом, модель составления рейтинга кафедр, построенная на основе интегрированного метода МВС+МАИ, представляет собой древовидную иерархическую структуру критериев, входными данными которой являются нормализованные к шкале «1-12» оценки кафедр по частным (первичным) критериям. Результатом является список кафедр, упорядоченных в порядке убывания их глобальных оценок.

Выводы. Рассмотренный интегрированный метод МВС+МАИ позволяет решить существенную проблему ранжирования – согласованное нахождение весов критериев.

Разработана модель многокритериального ранжирования кафедр и показана возможность её реализации в СППР NooTron.

На базе предложенной модели построения рейтинга кафедр проектируется расширение веб-приложения «Система поддержки принятия решений NooTron», что позволит упростить процесс сбора и хранения данных, а также представлять результаты в соответствии с уровнем доступа.

В перспективе предполагается добавить МАИ «в абсолютных измерениях» в библиотеку методов СППР NooTron, и провести сравнительный анализ расчёта рейтинга данным методом и интегрированным методом МВС+МАИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив: Учебное пособие. – СПб.: Издательство "Лань", 2009. - 272 с: ил.
2. Михалёв А.И., Кузнецов В.И., Теплякова Г.Л. Система поддержки принятия решений NooTron // Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення: матеріали міжнар. наук. - техн. конф. Севастополь, 3-7 вересня 2012 р. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України; Севастоп. нац. техн. ун-т; наук. ред. В.Я. Копп - Севастополь:, СевНТУ, 2012. – С. 222-223.
3. Михалёв А.И., Кузнецов В.И., Ковалик Н.Н., Теплякова Г.Л. Интеграция методов многокритериального анализа и их применение в системе поддержки принятия решений // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (75). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 140-152.
4. Михалёв А.И., Кузнецов В.И., Теплякова Г.Л. Оценка эффективности проектов объединённым методом многокритериального анализа // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (80). – Дніпропетровськ, 2012. – С. 113-121.
5. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

Аннотация. В статье рассматривается метод оптимизации интеллектуального интерфейса на основе информационного поля при создании интеллектуальных систем автоматического управления. Задача оптимизации интерфейса рассмотрена в смысле обеспечения минимального времени на восприятие и обработку информации.

Ключевые слова. Интерфейсные системы, оптимальный графический интерфейс, информационное пространство, информационное поле, оптимальное управление.

Постановка проблемы

Основой современных методов разработки интерфейсных систем является системный подход, рассматривающий обобщенное изображение и механизмы его обработки и восприятия. Развитие уровня современной технической базы и программного обеспечения позволяет реализовывать быстродействующие алгоритмы генерации, управления и сравнения изображений в структуре интеллектуального интерфейса. Направление этой работы определяют требования по повышению эффективности систем представления информации в смысле обеспечения минимального времени на восприятие и обработку информации при создании оптимальных интерфейсных систем.

Анализ публикаций

Задача создания современных оптимальных интерфейсных систем основывается на комплексном рассмотрении всех процессов генерации, представления и оценки информации в задаче восприятия визуальной информации [1]. Особое внимание вызывает описание информационных подходов к описанию систем на основе интеллектуальных интерфейсов, которые базируются на описании k -го образа интерфейса $\omega_k(I)$ в пространстве образов, физической реализации $\psi_k(x, y, I)$ в пространстве сигналов и принятия решения в информа-

ционном пространстве $I_k(x, y)$ (рис. 1). Это обеспечивает единство решения задачи и обобщенного описания функционирования системы.

При построении интеллектуальных систем автоматического управления необходимо учитывать, что они обеспечивают автоматическое принятие управляющих решений на основе контекстного и ситуационного анализа объекта.

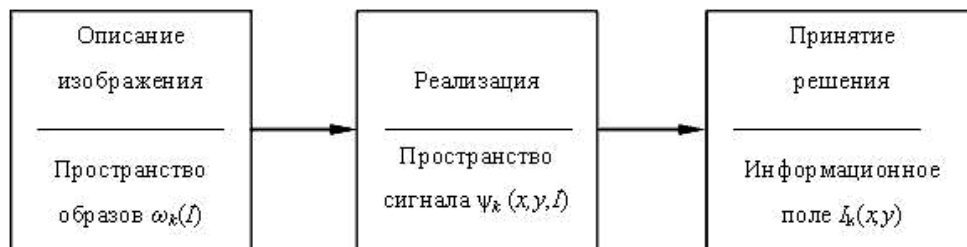


Рисунок 1 - Система на основе интеллектуального интерфейса

Постановка задачи

Разработка методов оптимизации интеллектуального интерфейса на основе понятия информационного поля.

Основная часть

Ограничивая задачу рассмотрением плоских изображений, возникающих на устройствах индикации интерфейсного комплекса, рассмотрим особенности формирования информационного пространства. Изображение, принадлежащее k -му образу, формирует в пространстве сигналов скалярное поле $\psi_k(x, y, I)$, где координаты точки поля определяются вектором x с компонентами x и y . В информационном пространстве порождается скалярное поле $I = I(x)$ с декартовыми координатами точек изображения. Так как изображение $A(x)$, принадлежащее алфавиту A кадров интерфейса, формируется композицией образов, то поле в виде функции $A(x)$, описывает изображение, как сцену. Следовательно, пространство изображения порождает информационное поле $V(x)$, если каждому элементу $I(x)$ поставлено в соответствие элемент набора типовых сцен из алфавита A

$$\begin{aligned} A_k(x) &\in A, \quad k = 1, \dots, j; \\ I_k(x) &\in V, \quad k = 1, \dots, j. \end{aligned} \tag{1}$$

где $A_k(x)$ – типовая сцена, $I_k(x)$ – информативность элемента изображения.

Особенностью информационного поля является наличие поля изображения, выступающего как эталон. Собственно, под эталоном понимается изображение, которое может построить система принятия решения, исходя из хранящейся в ней информации. При этом «эталон» может быть гораздо беднее, чем реальное изображение, но его должно быть достаточно для правильного принятия решения о предъявленном изображении.

Информационное поле может быть представлено в виде линий равного уровня [2], описывающие положение точек с равной информативностью в пределах поля кадра

$$A_k(x) = C. \quad (2)$$

Так как основной интерес в задаче связан с пространством образов и его отображением в информационном поле, целесообразно рассматривать задачу поиска критерия соответствия образа и эталона. Элементы изображения представляют собой входные образы, которые принадлежат линейному нормированному метрическому пространству V с нормой $\|v\|$ и метрикой $\alpha(v_1, v_2)$ [3]. Элемент из пространства образов ω_k принадлежит вероятностному пространству Ω , где его основным свойством является присутствие в сцене, оцениваемое вероятностью появления. Описывая вероятностные свойства пространства образов через двумерные функции распределения плотности вероятности $f_k(x)$ и предположив существование линейного отображения элемента из пространства образов Ω в информационное пространство A получаем

$$\omega_k(I) \rightarrow f_k(x, y, I) = f_k(I). \quad (3)$$

Таким образом, можно определить соответствие входных образов ω и их информативность I_k . Предполагая [2], что в задаче распознавания плотность вероятности по информации пропорциональна вероятности, получаем информационное пространство с нормой и метрикой

$$\begin{aligned} \|v_k\| &= -\log_{\alpha} f_k(x) = I_k(x), \\ \alpha(v_k, v_j) &= -\log_{\alpha} f_{k/j}(x) = I_{k/j}(x). \end{aligned} \quad (4)$$

Действительно, для соответствия Γ между пространством образов Ω и информационным пространством I

$$\Gamma: \omega \rightarrow I,$$

где Γ – множество соответствий, то в этом случае для неотрицательного $\omega \geq 0$ справедливо

$$\Gamma : \|\omega\| \rightarrow \|\mathbf{I}\|.$$

Для взаимно-однозначного отображения, где для Γ существует обратное отображение Γ^{-1} норму для пространства Ω можно выразить через норму в пространстве V , для которого имеется возможность измерения

$$\Gamma^{-1} : \|\mathbf{I}\| \rightarrow \|\omega\|.$$

Функция распределения в общем случае представляет собой плотность распределения вероятности появления объекта и зависит от координат и информации

$$f = f(x, y, I). \quad (5)$$

Тогда расстояние между объектами можно представить в виде ряда [2]:

$$f(x, y, I) = f_{x^* I^*} + \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{I^*}^{x^*} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Big|_{I^*}^{x^*} \Delta y + \frac{\partial f}{\partial I} \Big|_{I^*}^{x^*} \Delta I + \dots + R,$$

$$\frac{\partial f(x, y, I)}{\partial I} \Delta I = \phi(x, y, I), \quad (6)$$

где x и y – параметры.

Оценка информации в каждом конкретном случае требует знания градиента функции цели по информации, либо как гипотезы, либо как полученной зависимости. На основе физических свойств задачи можно выдвинуть гипотезу

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial x} &= \phi_1(x, y, I) \\ \frac{\partial A}{\partial y} &= \phi_2(x, y, I) \\ \frac{\partial A}{\partial I} &= \phi_3(x, y, I) \end{aligned} \right\} = \nabla A. \quad (7)$$

Решая систему дифференциальных уравнений (7), получаем зависимость информации от координат (рис. 2), которые определяют скалярное поле:

$$I = \Phi(x, y, \text{const}).$$

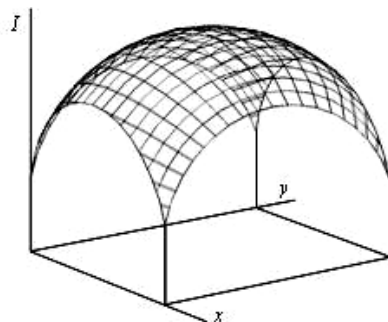


Рисунок 2 - Информационное поле

Для того, чтобы мера информации имела практическую ценность [Ошибка! Источник ссылки не найден.], она должна быть такой, чтобы она отражала количество информации пропорционально плотности распределения

$$\frac{\partial f(x, y, I)}{\partial I} = \alpha f(x, y, I) . \quad (8)$$

Далее получаем норму и метрику в виде

$$I_{(x,y)} = -\ln f(x) = \|I\|, \\ \alpha(f_i, f_j) = \ln(f_j(x) / f_i(x)). \quad (9)$$

Образ v_{kl} связан с его реализацией и для оптических образов $v_{kl} \rightarrow \psi(x, y)$ – это двумерное скалярное поле в декартовых координатах. Элементы изображения представляют собой входные образы, которые принадлежат нормированному метрическому пространству V с нормой $\|v_k\| = P(v_k)$ и метрикой $\alpha(v_l, v_k) = 1 - P(v_l, v_k)$, определяющей расстояние между входным событием и выдвинутой гипотезой.

При этом следует обратить внимание на то, что при принятом допущении о выполнении условий органического роста связи информации с вероятностью в пространстве образов, в информационном поле расстояние между точками оценивается логарифмическим отношением правдоподобия. Однако это справедливо только в рамках принятой гипотезы о зависимости вероятности от информации, принятой при построении пространства объектов. Таким образом, информационное поле можно рассматривать как скалярную функцию от вектора x :

$$I = I_k(x). \quad (10)$$

Предположение об аналитичности информационного поля позволяет представить его в виде ряда Тейлора в окрестностях x^* :

$$A = A|_{x^*} + \frac{1}{1!} \nabla A|_{x^*} \Delta x + \dots + R. \quad (11)$$

Так как информационное поле представляет собой скалярное поле аргумента x , то на него распространяются свойства скалярных полей [2]. Локальное свойство скалярного поля – изменение величины $A(V)$ при переходе от данного элемента изображения v_{kl} к ближайшему $v_{(k+1,l+1)}$. Для этого используем производную поля $A(V)$ по направлению $\frac{\partial A(V)}{\partial \lambda}$, где λ – фиксированный единичный вектор и его направление совпадает с направлением отрезка между элементами изображения.

Производная характеризует скорость изменения $A(V)$ в направлении λ . Если элементы изображения очень близки, т.е. расстояние между ними можно принять равным нулю, получаем

$$\left. \frac{\partial A(v_{k,l})}{\partial \lambda} = \frac{\partial A(v_{(k+1,l+1)})}{\partial h} \right|_{h=0} = \frac{\partial A}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial A}{\partial y} \cos \beta, \quad (12)$$

где h – расстояние между ближайшими элементами изображения, α , β – расстояние между осями координат и направлением λ .

Выражение (1) можно рассматривать как скалярное произведение двух векторов: единичного вектора, определяющего направление $\lambda = (\cos \alpha, \cos \beta)$ и вектора, имеющего компоненты $\frac{\partial A}{\partial x}, \frac{\partial A}{\partial y}$. Этот вектор называют градиентом скалярного поля A , и таким образом

$$\text{grad} A = \left(\frac{\partial A}{\partial x}, \frac{\partial A}{\partial y} \right). \quad (13)$$

Следовательно,

$$\frac{\partial A}{\partial \lambda} = (\text{grad} A, \lambda). \quad (14)$$

При этом следует учитывать, что градиент скалярного поля зависит не от выбора системы координат, а от самого поля.

Если B – векторное поле, можно получить некоторую функцию области $\Phi(\Omega)$, поставив в соответствие каждой пространственной

области Ω , ограниченной гладкой или кусочно-гладкой поверхностью Σ , поток вектора B через внешнюю сторону поверхности Σ .

Дивергенцией векторного поля B будет производная функции $\Phi(\Omega)$ по объему

$$\operatorname{div} B = \lim_{\Omega \rightarrow v_{kl}} \frac{\int_{\Sigma} B_n d\sigma}{V(\Omega)} \quad (15)$$

Поток вектора B через внешнюю сторону замкнутой поверхности Σ равен интегралу от дивергенции поля B , взятому по области ограниченной поверхностью Σ

$$\int_{\Sigma} B_n d\sigma = \int_{\Omega} \operatorname{div} B dv. \quad (16)$$

Это выражение представляет собой суммарную мощность источников, расположенных в области Σ , а $\operatorname{div} B$ – это плотность источников.

Информационное поле, полученное при обработке изображения, будет обладать следующими свойствами:

Анализируя изображение, коррекцию возмущений целесообразно выполнить в виде аффинного преобразования, что позволяет значительно сократить объем вычислений, при этом аффинное преобразование окрестности точки в информационном поле сохраняет сферность. Хотя при вырожденности матрицы аффинного преобразования возможна потеря информации.

Нормирование – отношение интегрального поля к нормированному значению поля всегда равно 1.

Для замены переменных [0] $x = x(\gamma, \eta)$ и $y = y(\gamma, \eta)$ в двойном интеграле функции $f(x, y)$ в пространстве V нужно подставить в функцию f вместо x и y их выражения, и заменить элемент площади $dx dy$ его выражением в криволинейных координатах

$$\iint_V f(x, y) dx dy = \iint_{\Delta} f(x(\gamma, \eta), y(\gamma, \eta)) |J(\gamma, \eta)| d\gamma d\eta. \quad (17)$$

Математическое ожидание в информационном поле определяет частотную характеристику поля или уменьшение разрешающей способности системы.

Градиент информационного поля $A(V)$ зависит от самого поля, а не от выбора системы координат и характеризует скорость изменения типовых сцен A .

Дивергенция информационного поля представляет собой плотность распространения образов.

Связь между поверхностным интегралом по замкнутой поверхности и тройным интегралом по пространственной области, ограниченной этой поверхностью, устанавливает формула Остроградского [2].

$$\iiint_V \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z} \right) dx dy dz = \iint_S P dy dz + Q dz dx + R dx dy. \quad (18)$$

где V – замкнутая пространственная область, S – поверхность, ограничивающая эту область; $P(x, y, z)$, $Q(x, y, z)$, $R(x, y, z)$ – функции непрерывные вместе со своими частными производными первого порядка в данной области.

Формула Остроградского для плоскопараллельного поля имеет вид

$$\int_L [P \cos(n, x) + Q \cos(n, y)] dl = \iint_V \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right) dx dy, \quad (19)$$

которая означает, что двойной интеграл от дивергенции плоского поля A по некоторой области V равен потоку вектора A через границу L этой области, где n – нормаль к контуру L .

Задача восприятия изображения может быть рассмотрена как задача оптимального управления с функционалом цели, зависящим от времени и затрат управления на анализ изображения. Если функция цели имеет единственный максимум или минимум, ее называют унимодальной, в противном случае полимодальной [5]. Для полимодальной функции цели можно определить точную верхнюю границу

$$\sup J(x) = \max \max J(x),$$

и точную нижнюю границу

$$\inf J(x) = \min \min J(x).$$

При анализе экстремальных свойств функции цели, возможна различная постановка задачи, однако простейшей задачей оптимизации является задача безусловной минимизации функции цели.

Выводы:

Задача оптимизации графического интерфейса относится к задачам анализа информационных полей.

Расстояние между объектами в информационном поле, при выполнении гипотезы Хартли, описывается логарифмической функцией правдоподобия.

При построении оптимального графического интерфейса решается задача оптимизации траектории анализа изображения за счет обеспечения выпуклости информационного поля изображения.

Для реального информационного поля изображения функция цели полиморфна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катус Г.П. Обработка визуальной информации / Г.П. Катус. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
 2. Будах Б.М. Кратные интегралы и ряды/ Б.М. Будах, С.В. Фомин. – М.:Наука. 1965. – 608 с.
 3. Бражник Д.А. Информационная модель инвариантной системы распознавания /Д.А. Бражник, Ф.Б. Рогальский, В.А. Ткач //Проблемы информационных технологий. – 2009. - №1 (005). – С.31-37.
 4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель. – М.:Наука, 1964. – 576 с.
 5. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учебное пособие/ А.В. Пантелеев, Т.А. Летова – М.: Высшая школа, 2002. – 544 с.
- Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.3/ Г.М. Фихтенгольц. – М.:Наука, 1970. – 656 с.

О.О. Илюнин, С.Г. Удовенко, А.А. Шамраев, А.И. Лазарев
**СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАВЛЕНИЕМ
СТАЛИ С КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ
ДЕФЕКТОВ ПРОКАТА**

Аннотация. В работе предложена нечеткая модель определения дефектов на поверхности металлической полосы и формирования управляющих воздействий, позволяющая улучшить качество управления травлением при существующих ограничениях. Модифицированная схема управления непрерывным травильным агрегатом основана на реализации комбинированного травления с применением компараторной идентификации и нечеткой логики. Сформированы логические правила управления непрерывным процессом селективного и выравнивающего травления для последующего синтеза нечеткого регулятора.

Ключевые слова: травление проката, компараторная идентификация, нечеткий регулятор, функция принадлежности, логические правила управления

Введение

В настоящее время получили развитие исследования, позволяющие формализовать задачи идентификации и управления для технологических процессов (ТП) непрерывного серноокислотного травления полосовой стали на крупных металлургических предприятиях (в частности, на ММК им. Ильича) [1,2,3]. Основными критериями эффективности работы непрерывного травильного агрегата (НТА), применяемого для этих ТП, являются скорость и качество травления (чистота поверхности листового проката на выходе), удельная энергоемкость и ресурсоемкость технологического процесса. Существующие схемы управления НТА имеют ряд недостатков, связанных, прежде всего, с несовершенной схемой идентификации дефектов на поверхности металлической полосы (пятен, участков окалины и вкатышей различной формы), что приводит к товарным потерям из-за выбраковки полос с такими дефектами и снижению скорости ТП. Важным направлением повышения эффективности управления технологиче-

ским процессом непрерывного травления проката, основанным на кислотном удалении окалина с поверхности листовой стали и последующем визуальном контроле качества, является внедрение современных микроконтроллерных средств автоматизации и методов вычислительного интеллекта.

Скорость травления, во многом определяющая производительность и качество данного участка металлургического производства, зависит от двух классов технологических параметров. К первому классу относятся характеристики стали, состав и структура окалина, нечетко зависящие от процессов, предшествующих травлению, и определяющие условия неопределенности технологического процесса. Ко второму классу относятся такие связанные нелинейными взаимограничениями параметры, как концентрация кислоты $C_{H_2SO_4}$ и солей железа C_{Fe} в растворе, температура раствора $T_{p-ра}$, время контакта дефекта с травильным раствором (скорость сматывания) $v(t)$ и давление P_t при контакте раствора с дефектной поверхностью. При этом, если задача стабилизации температуры раствора $\Delta T_{p-ра}$ с приемлемой для процесса погрешностью ($\Delta T_{p-ра} = \pm 1^\circ C$) и снижением энергоемкости на 60-70% уже реализована на практике, то задача управления концентрацией травильного раствора (КТР) представляет теоретический и практический интерес для металлургических предприятий Украины, традиционно применяющих для травления серную кислоту [2].

Существующие методы повышения качества травления основаны, как правило, на статистическом подходе к техническому анализу дефектов проката. Например, в работе [4] при управлении НТА предлагается использовать базу данных (БД), формируемую и постоянно пополняемую путем сбора статистики по выборке рулонов из партии. Начальные параметры регулятора, наиболее близкие к эталонам БД, устанавливаются для всей партии на основании косвенных измерений при стехиометрическом анализе отработанного раствора. В ходе ТП параметры анализируются и по комплексному критерию чистоты поверхности Z поддерживаются в оптимальном режиме. В работе [1] предложен классификатор, описывающий наборы несистемных дефектов на выходе НТА в виде кортежей ($\langle$ форма, ширина(диаметр),

цвет(оттенок серого), контраст, длина>). По частоте регистрации определенных кортежей на контрольном рулоне из партии проката производится настройка и обучение регулятора, предназначенного для устранения дефектов. Отметим, что такие схемы управления НТА малочувствительны к ограничениям по температуре и концентрации в силу стабильности свойств реагентов и не различают несистемные дефекты.

В общем случае сложная взаимосвязь элементов НТА и переменных в функциях, описывающих поведение элементов системы, затрудняет формализацию задач идентификации и управления ТП, что делает целесообразным построение нечетких моделей и правил логического вывода для совершенствования системы управления травлением стали с учетом всех возможных видов дефектов проката.

Постановка задачи

Целью настоящей работы является разработка процедуры определения дефектов на поверхности металлической полосы и формирования управляющих воздействий по их устранению при существующих ограничениях для параметров ТП. При этом необходимо решить следующие задачи:

- разработать модель ТП комбинированного травления с избирательным действием в начальные периоды и выравнивающим действием в конце процесса с применением компараторной идентификации и нечеткой логики;
- разработать набор логических правил управления (ЛПУ) для последующего синтеза нечеткого регулятора НТА.

Решение задачи

Общий принцип работы системы управления ТП с нечеткой логикой состоит в следующем: числовые значения измерений фаззифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются с помощью базы правил или логических правил управления системы, дефаззифицируются и в виде физических сигналов подаются на исполнительные устройства.

В связи с невозможностью точных измерений толщины дефектов σ_n , образующихся как спонтанно, так и системно, в работе [2] предлагается оценивать значения σ_n в виде лингвистической переменной, которая задается набором из трех компонент:

$$\langle Id, X, R(Y, x) \rangle,$$

где Id – имя признака <цвет дефекта>, X – множество допустимых значений признака, $R(Y, x)$ – нечеткое множество, определенное на множестве X и представляющее собой нечеткое ограничение на числовую оценку значения признака x , обусловленное лингвистической характеристикой Y <толщина дефекта>.

Системные дефекты, выраженные образованием окалины различных оттенков серого цвета по краям рулона металлического проката, можно устранять предварительным орошением раствором через позиционированные сопла с изменяющимся сечением сопла.

Для фаззификации системных дефектов, связанных с образованием оксидных пленок различных цветов по центральной части рулона металлического проката (цветов побежалости), построим нечеткие LR-интервалы, вырожденные до стандартных $\wedge$ -функций принадлежности $\mu_n(y_m)$ с областью определения на интервале $[0, 1]$, определяющей степень принадлежности m -го дефекта к n -му классу по значению признака, характеризующего закономерности количественного проявления толщины дефектов, значения которых находятся в нечетком LR-интервале $\sigma_n = [D_n - c_n; D_n + c_n]$ (таблица 1).

Таблица 1

Значения функции принадлежности

n	y_m = «Цвет побежалости»	$T_{обр.}, ^\circ C$	Толщина оксидной пленки $\sigma_n, \text{\AA}$		$\mu_n(y_m)$
			D_n	c_n	
1	Соломенный	220	425	35	0.73
2	Золотистый	230	495	25	0.85
3	Коричневый	240	500	30	0.86
4	Красно-коричневый	250	540	40	1.00
5	Пурпурный	260	595	35	Не оцениваются
6	Фиолетовый	260	660	35	
7	Синий (васильковый)	300	690	40	

Учитывая, что задача поддержания уровня КТР традиционно решается по критерию минимизации расхода кислоты, сформируем ЛПУ концентрацией травильного раствора: «ЕСЛИ((Цвет = y_m) И ($C_{H_2SO_4} < \text{необходимой для } y_m$)), ТО (увеличить $C_{H_2SO_4}$ до необходимой для y_m)).».

Дефаззификацию этого ЛПУ осуществим по правилу: «ЕСЛИ ($y_m(t)$ И $C_{H_2SO_4}(t) < a - C_{H_2SO_4}(t) * \mu_n(y_m(t))$) ТО [$C_{H_2SO_4}(t') = C_{H_2SO_4}(t) + \mu_n(y_m(t)) * (a - C_{H_2SO_4}(t))$]]».

Численные ограничения на дефазифицируемые ЛПУ накладывает расчетная задача поддержания концентрации травильного раствора, представленная типичной MRP-II (Manufacturing Resource Planning) моделью управления запасами, потребляемыми с нечетко определенной скоростью U и пополняемыми до режимного уровня со скоростью V [2]:

$$\frac{dC(t)_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{dt} = V - U \quad (1)$$

с обязательным для реального процесса условием $V - U \geq 0$.

Изменение КТР определяется функцией времени $C(t)_{\text{H}_2\text{SO}_4}$, описываемой предложенным в [3] уравнением, которое применительно к рассматриваемой задаче принимает следующий вид:

$$\ln \frac{C(t_{i+1})_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{C(t_i)_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = A \cdot e^{-(E_a/RT)t}, \quad (2)$$

где $C(t_{i+1})_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – концентрация кислоты в момент времени t_{i+1} ;

$C(t_i)_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – концентрация кислоты в предыдущий момент времени t_i ;

A – предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса;

E_a – энергия активации реакции;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура травильного раствора ($^{\circ}\text{K}$);

t – длительность травления проката $[t_i; t_{i+1}]$.

Уравнение (2) всегда имеет единственное решение, причем повышение точности решения требует уменьшения шага $\Delta t_{\text{изм}}$ (периода измерения концентрации кислоты и оперативного поддержания ее на заданном уровне). Это обеспечивает локальную асимптотическую устойчивость динамической системы химических реагентов.

На рисунке 1 приведена временная диаграмма процесса травления, из которой следует необходимость снижения запаса $C(t)_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ до уровня a' [2].

Методика определения нижней границы $C = b'$ приведена в [6].

В момент времени t возникновения ситуации $y_m(t)$ при концентрации раствора $C(t)_{H_2SO_4}$ (с соответствующей оценкой $\mu_n(y_m(t))$) происходит пополнение запаса (внеплановое повышение КТР в интервал времени $[T; 2T]$ за время срабатывания дозатора системы долива) $\Delta t_d = t' - t$:

$$\Delta a(t) = (1 - \mu_n(y_m(t))) \cdot (a' - C(t)_{H_2SO_4}). \quad (3)$$

Интерпретируемое управляющее воздействие графически отражено на рисунке 1, где приняты следующие обозначения:

$[b; a]$ – минимальное и максимальное значения КТР, рассчитываемые по стехиометрическим методикам определения материального баланса для конкретной марки проката;

c – предельно допустимая концентрация солей железа $C(t)_{Fe_2SO_4}$ в травильном растворе, при превышении которой раствор сливают или обновляют путем доливания;

d – минимально допустимое значение КТР, при уменьшении которого раствор не подлежит восстановлению;

a' – минимальный уровень верхней границы КТР при заданном периоде измерения и последующей коррекции $\Delta t_{изм}$;

b' – максимальный уровень нижней границы КТР.

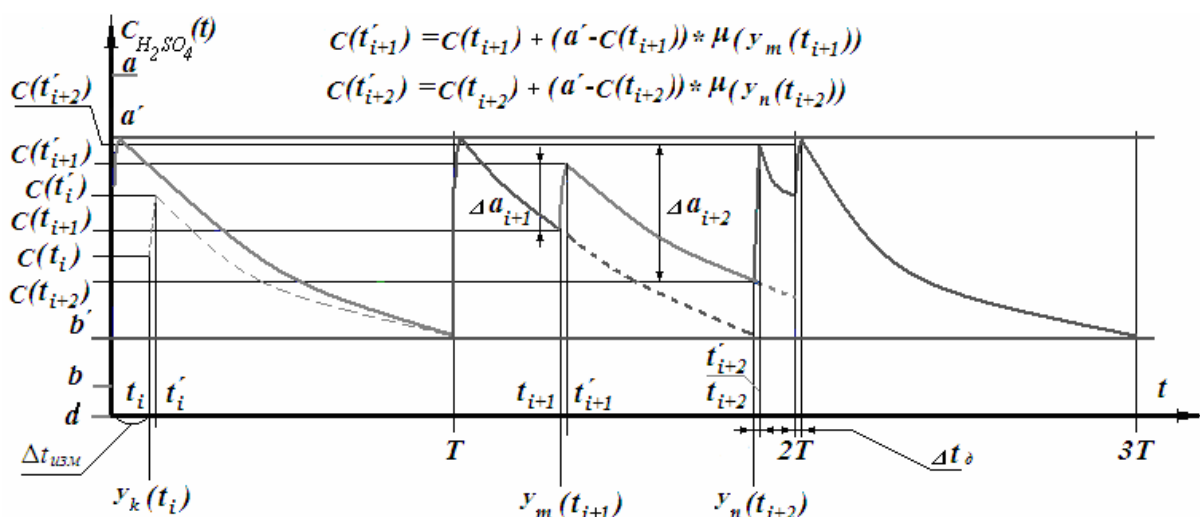


Рисунок 1 – Управление концентрацией раствора по нечеткой модели

Значения a' , b' , $\Delta t_{изм}$ уточняются в процессе настройки синтезируемого нечеткого регулятора.

В работе [7] было отмечено, что скорость реакции (стартовая энергия активации раствора E_a) линейно зависит от корня касательного напряжения потока травильного раствора $\tau_{ct}(P_t)$, создаваемого на поверхности дефекта давлением P_t .

Аналогично была формализована задача травления системных дефектов в виде окалины различных толщин и оттенков серого цвета по краям рулона [8]. Интерпретируемое управляющее воздействие – изменение давления подачи травильного раствора P_i в i -м сопле орошения, позиционно покрывающем координатную область дефекта.

Несистемные дефекты нечетко опишем с помощью функции $\pi_n(z_m)$ с областью определения на интервале $[0,1]$, определяющей степень принадлежности дефекта к n -му классу по значению признака z_m = «черный» в сформированном классификаторе [8].

На рисунке 2 приведена предлагаемая схема нечеткого управления НТА с компараторной идентификацией возможных дефектов на поверхности металлической полосы, подлежащих предварительному селективному и/или сглаживающему системному травлению.

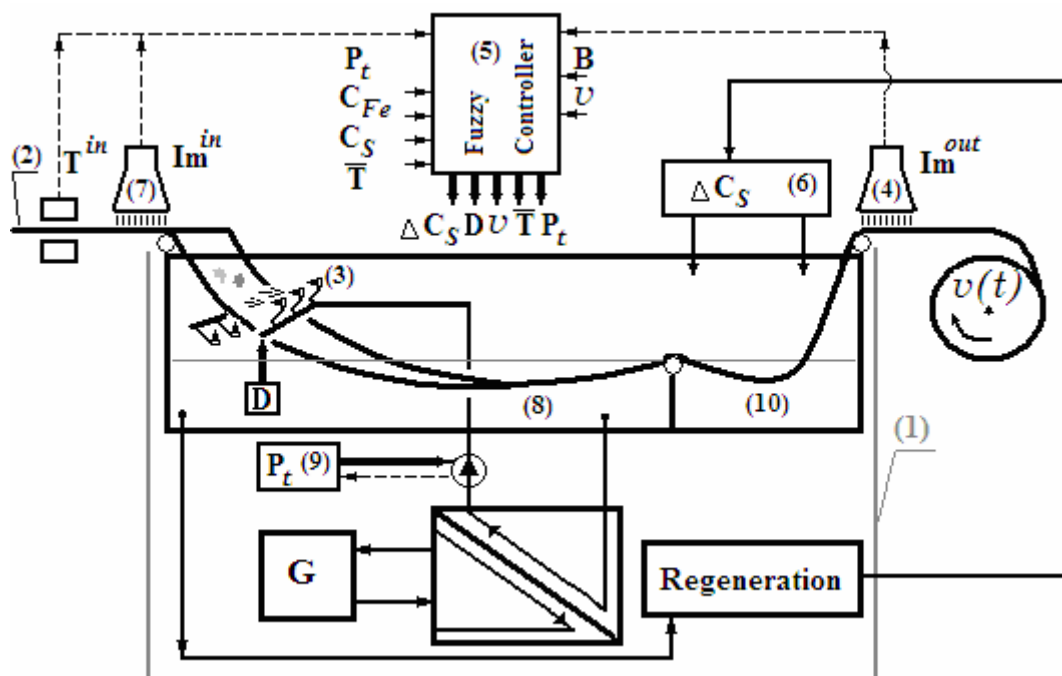


Рисунок 2 – Схема управления НТА с идентификацией и позиционированием несистемных дефектов полосы проката

Схема содержит: 1 – травильный агрегат с узлами нагрева и регенерации травильного раствора и узлом теплогенерации; 2 – металлическую полосу; 3 – блок для подачи травильного раствора через N сопел, расположенных по обеим сторонам плоскости движущейся металлической полосы с регулируемым давлением P_t ; 4 – оптический датчик выходного контроля качества травления металлической полосы с обеих сторон; 5 – блок обработки оптической информации и нечеткого управления технологическим процессом; 6 – дозатор; 7 – оптический датчик входной идентификации и позиционирования несистемных дефектов металлической полосы с обеих сторон; 8 – ванну орошения травильного агрегата; 9 – второй дозатор; 10 – комплекс погружных травильных ванн (или одну травильную ванну).

Получая данные от входного оптического датчика 7, блок 5 определяет позиционные координаты дефекта D^m в виде прямоугольника $(x_1^m, y_1^m) - (x_2^m, y_2^m)$, и подает на блок 3 сигнал для включения сопел N_j ($j=i, i+1, \dots, k$) на период времени $T_j = (y_2^m - y_1^m) / v(t)$. При этом область орошения сопел N_j покрывает дефект D^m на участке полосы шириной $[x_1^m, x_2^m]$. Регулятор 5 формирует также сигнал для дозатора 9 по изменению номинала площади проходного сечения A_j сопла с целью достижения на выходе сопла N_j давления травильного раствора P_t в соответствии со значением функции $\pi_n(z_m = \text{Цвет})$.

Интерпретируемое управляющее воздействие представляет собой изменение $C(t)_{H_2SO_4}$ и/или P_t подачи травильного раствора в i -м сопле орошения, позиционно покрывающем координатную область дефекта.

Выводы

Представленная процедура определения дефектов на поверхности металлической полосы и формирования управляющих воздействий позволяет улучшить качество управления травлением при существующих ограничениях. Модифицированная схема управления НТА основана на реализации комбинированного травления с применением компараторной идентификации и нечеткой логики. Применение нечеткой модели травления с избирательным действием в начальные периоды и выравнивающим действием в конце процесса, а также набора полученных ЛПУ позволило синтезировать нечеткий регулятор НТА для сернокислотного травления полосовой стали на ММК

им. Ильича (Мариуполь). Результаты тестирования подтверждают работоспособность рассмотренного подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Patent US. Process and equipment for a metal strip pickling / Wielfried Schlechter. – № 6,419,756 B08B 1/02; B08B 7/04, Jul. 4, 2002. – 6p.
2. Ілюнін О.О. Управление концентрацией травильного раствора непрерывного травильного агрегата с использованием нечетких LR-интервалов / О.О. Ілюнін, П.А. Капустенко, А.Ю. Перевертайленко, В.А. Тимофеев // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №2. – С.52-56.
3. Заявка. Пристрій для безперервного травлення прокату листової вуглецевої сталі / О.П. Арсеньєва, О.О. Ілюнін, О.Ю. Перевертайленко, П.М. Подпружников, О.М. Селяков, В.О. Тимофєєв. – № U2012-09-428; заявл. 2.08.2012. – 5с.
4. Patent US. Pickling plant and method of controlling the same / Katsumi Mabuchi. – № 6,096,137 B08B 1/02; B08B 3/08, Aug. 1, 2000. – 22p.
5. Питеркин С.В. Практика применения EPR-систем / С.В. Питеркин, Н.А. Оладов, С.Н. Исаев. – Альпина Паблишер, 2003. – 368с.
6. Капустенко П.О. До питання автоматизації процесу безперервного травлення листової вуглецевої сталі за умов невизначеності / П.О. Капустенко, О.О. Ілюнін, О.Ю. Перевертайленко, Самер Лага // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк, 2011. – № 5. – С.100-107.
7. Товажнянский Л.Л. К вопросу о загрязнениях поверхности теплопередачи пластинчатых теплообменников // Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко. – Энергетика. Известия ВУЗов МВССО СССР. – Минск: БПИ, 1984. – №6. – С.101-102.
8. Ілюнін О.О. Интеллектуальное управление селективным травлением полосового проката / О.О.Ілюнін, П.А.Капустенко, А.Ю.Перевертайленко, В.А. Тимофеев // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №4/ – С.113-116.

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДОНА ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ SLICE-ОПЕРАТОРА В НЕЕВКЛИДОВОЙ МЕТРИКЕ

Аннотация. Предложен алгоритм вычисления быстрого преобразования Радона, основанный на использовании slice-оператора в L_p -метрике.

Замена метрики при преобразовании координат в slice-операторе позволяет уменьшить размер обрабатываемой матрицы, и за счёт этого увеличить быстродействие алгоритма. Проведено сравнение быстродействия алгоритма преобразования Радона с использованием slice-оператора в евклидовой метрике и в метрике L_p .

Ключевые слова: преобразование Радона, slice-оператор, временная сложность, L_p -метрика, обнаружение прямых линий.

Введение

Одним из наиболее распространённых методов поиска прямых на изображениях является метод преобразования Радона [1]. Преобразование Радона отображает исходное изображение, заданное двумерной функцией $f(x, y)$ декартовых координат $\vec{\xi} = (x, y)^T$ в пространство параметров прямой (ρ, ϕ) . Выделив локальные максимумы в полученном отображении $g(\rho, \phi)$, локализуют прямые, содержащиеся в исходном изображении. Можно отметить, что в случае поиска прямых, преобразование Радона эквивалентно преобразованию Хафа [2].

Основным недостатком прямого преобразования Радона (как и преобразования Хафа) является низкое быстродействие. По этой причине преобразование Радона $\hat{R}^{(2)}(f)$ обычно вычисляют, основываясь на теореме о центральном сечении [2]:

$$\hat{R}^{(2)}(f) = \left(\hat{F}^{(1)} \right)^{-1} \hat{P}^{(2)} \hat{F}^{(2)}(f), \quad (1)$$

где $\hat{F}^{(1)}, \hat{F}^{(2)}$ – операторы интегральных преобразований (типа Фурье), $\hat{P}^{(2)}$ – оператор «вырезания» центрального слоя (slice-оператор).

При этом основное внимание уделяется выбору вида преобразований и их реализации [2-3]. Например, в работе [3] предлагается заменить преобразование Фурье преобразованием Хартли. Оно имеет ядро $H^{(n)}(x, k_x) = \text{cas}(2\pi x k_x)$, где $\text{cas}(t) = \cos(t) + \sin(t)$, следовательно, оперирует с действительными числами. За счёт этого ёмкостная сложность алгоритма снижается вдвое, а также повышается его быстродействие.

Вместе с тем, можно показать, что значительное влияние на быстродействие алгоритмов преобразования Радона оказывает выбор slice-оператора. Причём этот выбор не зависит от выбора интегрального преобразования. Анализ slice-оператора составляет предмет исследования данной работы.

При этом ставится цель – подобрать такой вид этого оператора, который обеспечивал бы повышение быстродействия преобразования Радона при сохранении разрешающей способности.

Преобразование Радона.

Нормированное уравнение прямой на плоскости имеет вид:

$$\rho = x \cos \varphi + y \sin \varphi = \vec{\xi}^T \vec{n}, \quad (2)$$

где $\vec{\xi} = (x, y)^T$, $\vec{n} = (\cos \varphi, \sin \varphi)^T$.

Его параметры имеют простой геометрический смысл: φ – это угол между нормалью $\vec{n}$ и осью абсцисс, а ρ – расстояние от прямой до начала координат.

Преобразованием Радона [2] называется интеграл от функции $f(x, y)$ вдоль прямой (2):

$$R(\rho, \varphi) = \iint f(x, y) \delta(\rho - x \cos \varphi - y \sin \varphi) dx dy, \quad \int \delta(x) dx = 1 \quad (3)$$

Будем обозначать через $\hat{X}^{(n)}(f)(\vec{\eta}) = \langle f, X^{(n)} \rangle(\vec{\eta})$ линейные операторы, действующие на функцию $f(\vec{\xi})$. Верхний индекс указывает размерность оператора, $\vec{\eta}$ представляет собой координатное пространство отображения, $X^{(n)}(\vec{\xi}, \vec{\eta})$ – ядро оператора, угловые скобки обозначают скалярное произведение в гильбертовом пространстве:

$$\langle f, X^{(n)} \rangle \equiv \int_{\mathbb{R}^n} f(\vec{\xi}) X^{(n)}(\vec{\xi}, \vec{\eta}) d^n \vec{\xi}, \quad \vec{\xi}, \vec{\eta} \in \mathbb{R}^n \quad (4)$$

В операторной форме преобразование Радона (3) будет иметь вид:

$$\hat{R}^{(2)}(f)(\rho, \varphi) = \langle f, R^{(2)} \rangle(\rho, \varphi), \quad R^{(2)}(\vec{\xi}, \rho, \varphi) = \delta(\rho - \vec{\xi}^T \vec{n}(\varphi)). \quad (5)$$

Обычно вычисление преобразования Радона основано на теореме о центральном сечении (projection-slice theorem), устанавливающей связь преобразования Радона с преобразованием Фурье [2,3]:

$$\hat{F}^{(1)} \left(\hat{R}^{(2)}(f)(\rho, \varphi) \right)(r) = \hat{P}^{(2)} \left(\hat{F}^{(2)}(f)(\omega_x, \omega_y) \right)(r, \varphi), \quad (6)$$

или в операторной форме

$$\hat{F}^{(1)} \hat{R}^{(2)}(f) = \hat{P}^{(2)} \hat{F}^{(2)}(f). \quad (7)$$

где $\hat{P}^{(2)}(f)(r, \varphi)$ и $\hat{F}^{(n)}(f)(\vec{\eta})$ – операторы перехода к полярным координатам и n -мерного преобразования Фурье соответственно. Их ядра имеют вид

$$P^{(2)}(\vec{\omega}, r, \varphi) = \delta(\vec{\omega} - r \vec{n}(\varphi)), \quad F^{(n)}(\vec{\xi}, \vec{\eta}) = \exp(-2\pi i \vec{\eta}^T \vec{\xi}). \quad (8)$$

Доказательство (6)-(7) несложно. В самом деле: ядро оператора, стоящего в левой части (7) имеет вид:

$$\begin{aligned} \ker \left(\hat{F}^{(1)} \hat{R}^{(2)} \right) &= \langle F^{(1)}(\rho, r), R^{(2)}(\rho, \vec{\xi}, \vec{n}) \rangle(r, \vec{\xi}, \vec{n}) = \\ &= \langle \exp(-2\pi i r \rho), \delta(\rho - \vec{\xi}^T \vec{n}) \rangle(r, \vec{\xi}, \vec{n}) = \exp(-2\pi i r \vec{\xi}^T \vec{n}). \end{aligned} \quad (9)$$

Аналогичным образом найдём ядро оператора правой части (7):

$$\begin{aligned} \ker \left(\hat{P}^{(2)} \hat{F}^{(2)} \right) &= \langle P^{(2)}(\vec{\omega}, r, \vec{n}), F^{(2)}(\vec{\omega}, \vec{\xi}) \rangle(\vec{\xi}, r, \vec{n}) = \\ &= \langle \delta(\vec{\omega} - r \vec{n}), \exp(-2\pi i \vec{\xi}^T \vec{\omega}) \rangle(\vec{\xi}, r, \vec{n}) = \exp(-2\pi i r \vec{\xi}^T \vec{n}). \end{aligned} \quad (10)$$

Из (9)-(10) непосредственно следует выражение (1) являющееся математическим описанием алгоритма вычисления преобразования Радона через преобразования Фурье.

Оценка быстродействия алгоритма преобразования Радона

Численный алгоритм преобразования Радона:

1. К матрице исходных данных X_{ij} (размерности $N \times N$) применяют двумерное преобразование Фурье;

2. В пространстве Фурье-образов выполняют переход к полярным координатам, т.е. из комплекснозначной $N \times N$ матрицы W_{ij} получают матрицу $P_{l,m}$ размерности $L \times M$ (где строки соответствуют координате φ , а столбцы – r). Формулы пересчёта координат имеют вид:

$$\begin{aligned} \varphi = -\pi + l \cdot \Delta\varphi, \quad r = m \cdot \Delta r, \quad j = \left\lfloor \frac{N}{2} + r \cos \varphi \right\rfloor, \quad y = \left\lfloor \frac{N}{2} - r \sin \varphi \right\rfloor, \\ l = 0, \dots, L-1, \quad m = 0, \dots, M-1; \end{aligned} \quad (11)$$

3. К строкам матрицы $P_{l,m}$ применяют одномерное обратное преобразование Фурье, получая в итоге матрицу преобразования Радона размерности $L \times M$ в координатах (ρ, φ) .

Преимуществом алгоритма, основанного на (1), по сравнению с прямым вычислением (3) является более высокое быстродействие. Оно описывается формулой

$$T(N, M, L) = T_1(N) + T_2(L, M, N) + T_3(L, M), \quad (12)$$

где $T_1(N)$, $T_2(L, M, N)$, $T_3(L, M)$ – сложность реализации операторов

$$\hat{F}^{(2)}, \hat{P}^{(2)}, \left(\hat{F}^{(1)} \right)^{-1} \text{ соответственно.}$$

Для T_2 имеет место оценка: $T_2(L, M, N) \sim \max(M, N) \cdot \max(L, N)$. При этом $T_2 \ll \min(T_1, T_3)$. Значения N и M обычно выбирают равными степеням двойки и используют быстрые алгоритмы преобразования Фурье (БПФ) с быстродействием $t_F(N) = \theta(N \log(N))$. В этом случае

$$T_1(N) = 2N \cdot t_F(N) \sim 2N^2 \log(N), \quad T_3(L, M) = L \cdot t_F(M) \sim LM \log(M). \quad (13)$$

Значения L и M в принципе можно выбирать произвольно. Однако, чем они меньше, тем ниже точность преобразования.

С другой стороны, их увеличение приводит к росту вычислительных затрат. Целесообразно выбирать значения L и M таким образом, чтобы сетка координат $P_{l,m}$ покрывала диапазон исходных данных не менее плотно, чем исходная декартова W_{ij} . Например, можно потребовать [3], чтобы изменение декартовых координат $\Delta x, \Delta y$, вызванное шагом вдоль любой из координат полярной сетки (r, φ) , не превышало единицы:

$$\Delta x_{\max} = \sup_{r, \varphi} \left| \frac{\delta x(r, \varphi)}{\delta r} \Delta r \right| \leq 1, \quad \Delta y_{\max} = \sup_{r, \varphi} \left| \frac{\delta y(r, \varphi)}{\delta \varphi} \Delta \varphi \right| \leq 1. \quad (14)$$

При этом, очевидно, $\Delta r = \frac{r_{\max}}{M} = \frac{N}{M\sqrt{2}}$ и $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{L}$. Из (14) следу-

ет, что $\Delta r \leq 1$, $x_{\max} \Delta \varphi \leq 1$. Таким образом, $M \geq N / \sqrt{2}$, $L \geq \pi N$, $LM \geq \frac{\pi}{\sqrt{2}} N^2$. Если учесть, что M должна быть степенью двойки, то получим, что

$$M \geq N, \quad L \geq \pi N, \quad LM \log(M) \geq \pi N^2 \log(N). \quad (15)$$

Можно заметить, что выбранный способ параметризации соответствует $r \in [0, \frac{N}{\sqrt{2}})$, $\varphi \in [-\pi, \pi)$. При альтернативном способе $r \in [-\frac{N}{\sqrt{2}}, \frac{N}{\sqrt{2}})$, $\varphi \in [0, \pi)$ значение L должно быть вдвое меньше, чем (15), а M – вдвое больше. Поскольку уменьшение M важнее, чем уменьшение L , то выбранный способ – предпочтительнее.

Для временной сложности описанного алгоритма справедлива оценка

$$T(N) \sim (\pi + 2)N \cdot t_F(N) = \theta(N^2 \log(N)). \quad (16)$$

В это же время сложность исходного алгоритма (3) составляет $\theta(N^3)$. Однако, требования к памяти алгоритма (1) как минимум вчетверо выше. Это связано с тем, что преобразование Фурье оперирует с комплексными числами.

В выражении (16) специально были сохранены числовые коэффициенты. Они показывают, что именно третий этап алгоритма (обратное БПФ по координате r) является наиболее трудоёмким: не менее, чем в π раз, чем первый. Причиной тому является увеличение размеров матрицы $P_{l,m}$ по сравнению с W_{ij} .

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что преобразование координат оказывает существенное влияние на быстродействие алгоритма.

Модификация slice-оператора

На самом деле, теорема о центральном слое (7) гораздо более обща. Так, легко заметить, что тождественность выражений (9)-(10) не зависит от вида вектора $\vec{n}$ и скаляра r .

В настоящей работе предлагается обратить внимание на тот факт, что оператор «вырезания» центрального слоя $\hat{P}^{(2)}$ (slice-оператор) вовсе не обязательно должен быть полярным преобразованием координат. Достаточно, чтобы он удовлетворял условию (8), т.е. осуществлял $(x, y) \rightarrow (r, \varphi)$ преобразование вида

$$x = r \cdot n_1(\varphi), \quad y = r \cdot n_2(\varphi). \quad (17)$$

В настоящей работе предлагается использовать преобразование координат, основанное на обобщённой L_p -метрике ($p > 2$):

$$r = \left(|x|^p + |y|^p \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (18)$$

Параметр φ является длиной дуги единичной окружности в метрике L_p и варьируется в пределах $0 \leq \varphi \leq C_p$. Полная её длина (C_p) в метрике L_p , и функции n_1, n_2 определяются из уравнений

$$\int_0^{C_p} \left(|n_1'|^p + |n_2'|^p \right)^{\frac{1}{p}} d\varphi = 1, \quad |n_1|^p + |n_2|^p = 1. \quad (19)$$

Для метрики L_p $r_{\max} = 2^{\frac{1-p}{p}} N$, и условия (14) будут иметь вид

$$\Delta r = \frac{r_{\max}}{M} = \frac{N}{M} 2^{\frac{1-p}{p}} \leq 1, \quad \Delta \varphi = \frac{x_{\max} C_p}{L} \leq 1. \quad (20)$$

Из (20) следует, что

$$M \geq N \cdot 2^{\frac{1-p}{p}}, \quad L \geq \frac{N}{2} C_p, \quad LM \geq \lambda(p) N^2. \quad (21)$$

Известно [4], что $2\pi = C_2 \leq C_p \leq C_\infty = 8$. При этом $\lambda(p) = 2^{\frac{1-2p}{p}} C_p$ является строго убывающей функцией с пределом $2 < \pi / \sqrt{2}$. Её значения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения функций C_p , $\lambda(p)$, $\varepsilon(p)$, $\tau(p)_k$

p	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	∞
$C_p / 4$	2	1,630	1,571	1,630	1,698	1,749	1,786	1,814	1,836	2
$\lambda(p)$	4	2,587	2,221	2,054	2,020	2,009	2,005	2,003	2,002	2
$\varepsilon(p)$	0,5	0,316	0,215	0,117	0,073	0,050	0,036	0,027	0,022	0
$\tau(p)$	1,285	1,416	1,440	1,416	1,390	1,371	1,358	1,348	1,340	1,285

Важным с практической точки зрения является тот факт, что $r_{\max}$ с ростом p приближается к $N/2$. Если установить $r_{\max} = N/2$ (т.е. $\Delta r = 1$ и $M = N/2$), то доля теряемой частотной информации ($\varepsilon(p)$) быстро убывает. В этом случае по аналогии с (16) легко показать, что

$$T^{(p)}(N) \sim (C_p / 4 + 2)N \cdot t_F(N) = \theta(N^2 \log(N)). \quad (22)$$

Таким образом, замена обычного полярного преобразования обобщённым позволяет уменьшить число столбцов матрицы $P_{l,m}$. За счёт этого уменьшаются как затраты памяти, так и вычислительные затраты. Сравнение (16) и (22) позволяет получить примерную оценку повышения производительности (также приведённую в табл.1):

$$\tau(p) = \frac{T(N)}{T^{(p)}(N)} \geq \frac{\pi + 2}{C_p + 2} \geq 1.285. \quad (23)$$

Платой за увеличение быстродействия алгоритма является искажение пространства параметров преобразования Радона: точка (p, ϕ) по-прежнему будет соответствовать прямой $p = \xi^T \tilde{n} = x \cos \phi + y \sin \phi$, однако параметр p уже не будет евклидовым расстоянием (p) от прямой до начала координат, а ϕ – не будет углом наклона нормали.

При этом важно заметить, что для решения задачи локализации прямых достаточно определить точки сгущения в плоскости параметров (p, ϕ) . Соответственно преобразования (23) проводятся только для этих точек, а не для всего изображения.

Заключение

В настоящей статье предложен алгоритм вычисления быстрого преобразования Радона, основанный на использовании slice-оператора в L_p -метрике. Показано, что замена метрики при преобразовании координат позволяет уменьшить размер обрабатываемой матрицы на этапе одномерного обратного БПФ по координате r , а за счёт этого увеличить быстродействие алгоритма преобразования Радона не менее, чем на 28%.

Сравнительный анализ качества выполнения преобразования Радона $\varepsilon(p)$ и индекса роста быстродействия $\tau(p)$ (табл.1) показал,

что при значениях $p > 4$ эти показатели варьируются слабо, поэтому представляет собой научный и практический интерес исследование влияния метрики slice-оператора на быстродействие и разрешающую способность преобразования Радона при значениях $2 < p \leq 4$ и $p = \infty$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс – М., Издательский Дом "Вильямс", 2004.
2. A Fast Hough Transform for the Parametrisation of Straight Lines using Fourier Methods / [Cheyne Gaw Ho, Rupert C. D. Young, Chris D. Bradfield, Chris R. Chatwin] // Real-Time Imaging – 2000 – Vol.6, num.2, pp.113-127.
3. Волегов Д.Б. Обнаружение прямых линий на изображениях на основе преобразования Хартли. Быстрое преобразование Хафа / Д.Б. Волегов, В.В. Гусев, Д.В. Юрин// International Conference Graphicon 2006 – Новосибирск, 2006 – с.182-191.
4. Деза Е.И. Энциклопедический словарь расстояний / Е.И. Деза, М.-М. Деза – М.: Наука, 2008.

А.В. Бахрушин, В.Е. Бахрушин

**ТЕСТИРОВАНИЕ ГИПОТЕЗ О НЕЛИНЕЙНЫХ СВЯЗЯХ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ R**

Аннотация. Средствами языка программирования R разработаны модули для вычисления выборочного коэффициента детерминации, являющегося универсальным показателем наличия статистической связи для числовых данных. Проведено тестирование программ, показавшее корректность вычисления коэффициента детерминации для разных типов связи.

Ключевые слова: коэффициент детерминации, статистическая связь, нелинейная связь, язык программирования R.

Введение

Одной из наиболее важных задач статистического анализа является проверка гипотез о существовании связей между исследуемыми выборками. На сегодня известно большое число методов, предназначенных для решения этой задачи при наличии данных различного типа, а также для проверки гипотез о множественной корреляции [1]. Однако далеко не все они реализованы в стандартном программном обеспечении. В частности, в специализированных статистических пакетах SPSS, Statistica и др. не реализованы методы проверки гипотез о наличии нелинейной статистической связи между выборками количественных данных. Язык программирования R в настоящее время стал неофициальным стандартом для статистических исследований [2]. Его преимуществами являются: наличие обширных библиотек, реализующих большое число классических и неклассических методов статистического анализа данных; возможность создания собственных программ, реализующих новые алгоритмы, а также открытая лицензия на использование среды разработки и имеющихся программ. В связи с этим целью данной работы являлась реализация методик проверки гипотезы о наличии нелинейной статистической связи средствами языка программирования R.

1. Нелинейные статистические связи в сложных системах и современные подходы к их оцениванию

Проверку гипотезы о наличии парной статистической связи целесообразно начинать с построения корреляционного поля или другого типа диаграмм, способных отображать проверяемую связь. Это дает возможность предварительно установить возможное наличие связи, а также ее тип. Грубой методической ошибкой является вывод о наличии или отсутствии статистической связи только на основании малых значений коэффициента парной корреляции Пирсона, который является мерой линейной связи и нечувствителен ко многим типам нелинейных связей.

Для проверки гипотезы о наличии нелинейной связи между количественными данными можно использовать выборочный коэффициент детерминации, корреляционное отношение и индекс корреляции [1]. Все эти показатели тесно связаны между собой. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать только выборочный коэффициент детерминации.

В общем случае его величина определяется [3] как

$$K_d = 1 - \frac{s_{err}^e}{s_{tot}^2}, \quad (1)$$

где s_{err}^2 - оценка дисперсии остатков используемой модели связи, а s_{tot}^2 - оценка полной дисперсии зависимой переменной. Эта величина показывает долю общей вариации зависимой переменной, которая может быть объяснена рассматриваемой моделью.

Для оценивания дисперсии остатков используют два подхода [1]. Если модель связи $f(X)$ задана в явном виде, то

$$s_{err}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f(X_i))^2, \quad (2)$$

где n - объем выборки, y_i - значение зависимой переменной для i -ой точки, а $f(X_i)$ - его оценка, даваемая используемой моделью.

Если модель связи не задана, то данные предварительно распределяют по m интервалам. После этого, дисперсию остатков можно оценить по формуле:

$$s_{err}^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{1}{v_j} \sum_{i=1}^{v_j} (y_{ij} - \bar{y}_j)^2, \quad (3)$$

где v_j - число точек в j -ом интервале, y_{ij} - значения зависимых переменных для точек, попавших в j -й интервал, а $\overline{y_j}$ - их среднее арифметическое. Для случая парной корреляции такая оценка соответствует приближению неизвестной модели связи кусочно-постоянной функцией. При этом выбор интервалов группирования может существенно влиять на результат.

В [4] было предложено использовать вместо (3) оценки неизвестной функции связи, получаемые сглаживанием эмпирической зависимости методом скользящего среднего. В этом случае в (2) используется величина:

$$f(X_i) = \frac{\sum_{j=i-p}^{i+p} y_j}{2p+1}, \quad (4)$$

где $d = 2p + 1$ - длина интервала сглаживания, которая также является субъективно определяемым параметром. Однако, как показано в [4], в этом случае оценки в меньшей степени зависят от его выбора. Кроме того, отсутствие необходимости в предварительном упорядочивании данных дает возможность использовать получаемую величину для оценивания тесноты связи в случае неоднозначных функций.

2. Программная реализация оценивания коэффициента детерминации

На рис. 1 приведены фрагменты программ, которые реализуют две методики оценки коэффициента детерминации. В обоих случаях исходный массив данных формировали как синусоидальную зависимость, к которой добавлена нормально распределенная аддитивная погрешность с нулевым средним значением и стандартным отклонением 0,1 (рис. 2). Программа 1а оценивает коэффициент детерминации K_d по формулам 1, 2, 4, а программа 1б - по формулам 1, 3. Видно, что полученные значения сильно различаются. При этом во втором случае полученное значение гораздо лучше соответствует имеющейся связи.

R Console

```

> e=rnorm(nx, mean = 0, sd = 0.1)
> y=e+sin(2*3.1416*x/4)
>
> p=2
> mz=vector('numeric',length(y)-2*p)
> dz=vector('numeric',length(y)-2*p)
> d2z=vector('numeric',length(y)-2*p)
> for(i in (p+1):(length(y)-p))
+ {mz[i-p]=0
+ for (j in (i-p):(i+p))
+ {mz[i-p]=mz[i-p]+y[j]
+ }
+ mz[i-p]=mz[i-p]/(2*p+1)
+ dz[i-p]=y[i]-mz[i-p]
+ }
> d2z=dz*dz
> se=sum(d2z)
> y1=y[p:(length(y)-p)]
> sy=sum((y1-mean(y1))^2)
> Kd=1-se/sy
> Kd
[1] 0.9749843
> cor(x,y)
[1] 0.1537285
> plot(x,y)
> KDTrue = 1 - var(e)/sy
> KDTrue
[1] 0.9998161

```

а

R Console

```

> nx = nr*nc
> x = seq(xmin, xmax, len = nx)
>
> e=rnorm(nx, mean = 0, sd = 0.1)
> y=e+sin(2*3.1416*x/4)
> mat=matrix(data = y, nrow = nr, ncol = nc)
> su=vector('numeric', nc)
> se=0
> for(i in (1:nc))
+ {su[i]=sum((mat[,i]-mean(mat[,i]))^2)/nr
+ se=se+su[i]
+ }
> se=se/nc
> sy=sum((y-mean(y))^2)/nx
> Kd=1-se/sy
> Kd
[1] 0.5183555
> cor(x,y)
[1] 0.1664784
> plot(x,y, type = "o")
> KDTrue = 1 - var(e)/sy
> KDTrue
[1] 0.9836567
>

```

б

Рисунок 1 - Программные модули для расчета коэффициента детерминации по формулам: а – 1, 2, 4; б – по формулам 1, 3

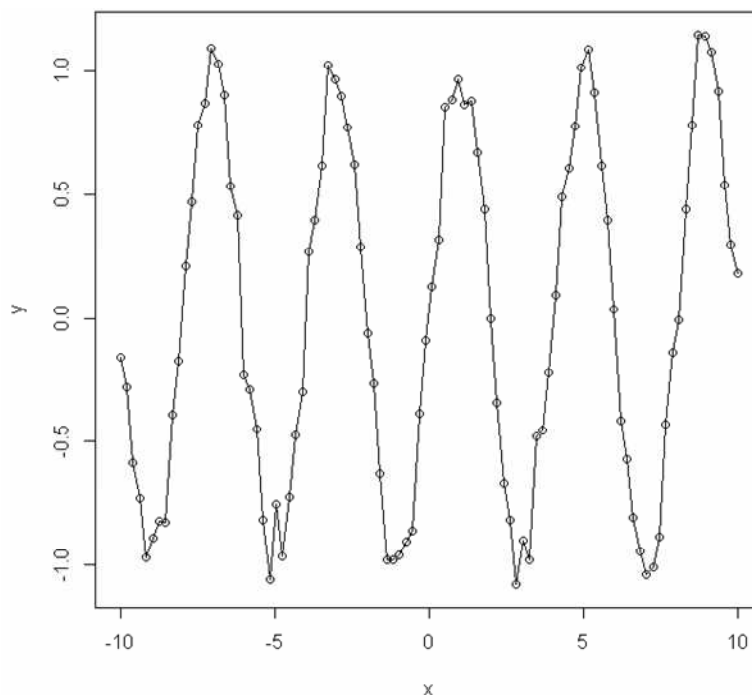


Рисунок 2 - График анализируемой зависимости

Приведенные на рис. 1 программные модули также выводят величину коэффициента корреляции Пирсона $\text{cor}(x, y)$, которая показывает отсутствие значимой линейной связи, и величину KDTrue , характеризующую «истинный» коэффициент детерминации, рассчитываемый относительно использованной модели связи. Видно, что результаты расчета по формулам 1, 2, 4 значительно лучше согласуются с этой величиной, что подтверждает целесообразность ее использования. В то же время традиционный подход вычисления коэффициента детерминации более пригоден для решения задач нелинейного авто- и кросс-корреляционного анализа временных рядов [5].

Проведенное тестирование показало корректность работы написанных программных модулей и возможность их использования для получения оценок выборочного коэффициента детерминации.

Выводы

Предложены написанные на языке R программные модули, реализующие различные подходы к расчету выборочного коэффициента детерминации. Они могут быть использованы для проверки гипотез о наличии нелинейных статистических связей в сложных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних / В.Є. Бахрушин. – Запоріжжя: КПУ, 2011. – 268 с.
2. Статистический анализ данных в системе R / А.Г. Буховец, П.В. Москалев, В.П. Богатова, Т.Я. Бирючинская; Под ред. проф. Буховца А.Г. – Воронеж: ВГАУ, 2010. – 124 с.
3. Everitt B.S. The Cambridge Dictionary of Statistics. – Cambridge University Press, 2002. – 420 p.
4. Бахрушин В.Е. Методы оценивания характеристик нелинейных статистических связей / В.Е. Бахрушин // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2011. - № 2(73). – С. 9 – 14.
5. Бахрушин В.Є. Застосування показників нелінійної кореляції для побудови й аналізу крос-кореляційних функцій / В.Є. Бахрушин, В.Є. Павленко, С.В. Петрова // Складні системи і процеси. – 2009, № 2. – С. 78 – 85.

В.Й. Ніколайчук, І.В. Баклан

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ІТ-ПРОЕКТАХ НА ОСНОВІ ПРИХОВАНИХ МОДЕЛІ МАРКОВА

Анотація. В статті розглянуті питання системного підходу, принципів управління ризиками в ІТ проектах на основі прихованих моделей Маркова.

Ключові слова: ризики ІТ проектів, принцип методологічної конвергенції, приховані моделі Маркова.

Вступ. На сучасному етапі розвиток інформаційних технологій характеризується динамічними процесами, особливо в термінах розробки та реакції на необхідність виконання ІТ проектів в режимі реального часу.

Оскільки розроблення, впровадження, розвиток та експлуатація інформаційних систем та технологій (ІСТ) характеризується певними, визначеними або прихованими ризиками, то вони стають невід'ємною частиною процесів глобального управління міждержавного, державного, економічного управління. Відповідно, оцінка та управління ІТ-ризиками, особливо прихованими зі всіх аспектів реалізації, потребують аналізу та моделювання, як специфічних для області ІТ методів та факторів, так і комплексного обліку (факторного врахування) умов на різних рівнях управління.

Основною проблемою діяльності в галузі ІТ структур є реалізація проектів з максимальною можливістю зниження ризику при їх розробленні та впровадженні. Важливим аспектом є визначення ймовірностей настання ризиків, їх ідентифікація, прогнозування та методи управління на всіх етапах ІТ проекту.

Постановка проблеми. *Ризик проекту* - це кумулятивний ефект ймовірностей настання невизначених подій, здатних вплинути негативний або позитивний вплив на цілі проекту [1]. Ризики підрозділяються на відомі і невідомі. Відомі ризики ідентифікуються і підлягають управлінню - створюються плани реагування на ризики і

резерви на можливі втрати. Невідомі ризики не можна визначити, і отже, неможливо спланувати дії з реагування на такий ризик.

Подія ризику - потенційно можлива подія, яка може завдати шкоди або принести вигоди проекту [1].

Ймовірність виникнення ризику - ймовірність того, що подія ризику настане. Наслідки ризику, якщо він станеться, виражаються через дні розкладу, трудовитрати, гроші і визначають ступінь впливу на цілі проекту.

Величина ризику - показник, який об'єднує ймовірність виникнення ризику і його наслідки. Величина ризику розраховується шляхом множення ймовірності виникнення ризику на відповідні наслідки. Резерв для непередбачених обставин (або резерв для покриття невизначеності) - сума грошей або проміжок часу, які необхідні понад розрахункових величин для зниження ризику, пов'язаного з досягненням цілей проекту, до прийнятного для організації рівня.

Методологія - визначає і описує підходи, інструменти та джерела даних, що використовуються для роботи з ризиками.

Інструменти - розділ визначає, які методи кількісного та якісного аналізу ризиків рекомендується застосовувати і в яких випадках.

Контроль - розділ, що визначає формат плану реагування на ризики.

Основною проблемою стає розвиток методології управління ризиками в умовах функціональної, параметричної залежності ризикових ситуацій та їх наслідків.

Аналіз досліджень і публікацій. В сфері державного управління принципову вагу має ступінь його інтегрованості і комплексності. З одного боку, в розвиток організаційної структури та методів управління на основі використання інформаційно-аналітичних систем, що будуються на основі мережевих технологій, привносяться характерні риси та методи мережевого управління (NetGovernment). Створюється динамічний, двосторонній процес інформаційного взаємовпливу на основі виникнення та побудови магістралей інформаційних потоків. Така взаємодія та взаємодоповнення повинна виступати як цілеспрямований, динамічний, керований процес методологічної конвергенції. Цей про-

цес повинен базуватися на основних принципах інформатизації, сформульованих В.М.Глушковым [2]:

- автоматизація документообігу;
- інтеграція інформаційної бази;
- принцип одноразового вводу даних;
- принцип динамічної цілісності;
- принцип системної єдності;
- типовість (універсальність і уніфікація);
- модульність.

Інтегровані інформаційно-аналітичні системи, що будуються і функціують за цими принципами, прямо або опосередковано орієнтують на розвиток та створення дійових механізмів ефективного управління та прийняття рішень.

Традиційно, на сьогодні, конвергенцію співвідносять до телекомунікацій та інформаційних технологій, виключаючи з цього процесу сферу оперативного управління.

Визначимо **методологічну конвергенцію** як зближення та цілеспрямований розвиток інтегрованих інформаційно-телекомунікаційних технологій та методів оперативного управління з метою створення умов та шляхів забезпечення ефективного управління як проектами в цілому, та і їх ІТ складової частини [5].

Експертні системи (ЕС) відіграють особливу роль управлінні ІТ проектами. Методи ймовірнісних експертних оцінок є сьогодні базовими для визначення ризиків на якісному та кількісному рівні. Базова структура ЕС описується базовими відношеннями [3]:

$$ЕС = БЗ + МЛВ + ІП \quad (1)$$

де: БЗ – база знань;

МЛВ – машина логічного висновку;

ІП- інтерфейс користувача.

Зважаючи на досить великий рівень стану наукових досліджень в галузі експертних систем, вважаємо доцільним розглянути аспекти в спеціалізованих напрямках досліджень, зокрема у використанні прихованих моделей Маркова для управління ризиками в ІТ-проектах.

Наведемо базові визначення згідно [4] з деякими уточненнями. Процес Маркова – це випадковий процес, конкретні значення якого

для будь-якого заданого часового параметру $t + 1$ залежать від значення у момент часу t , але не залежать від його значень у моменти часу $t - 1$, $t - 2$ і т. д.

Прихована модель Маркова (ПММ) – це статистична модель, що імітує роботу процесу схожого на процес Маркова із невідомими параметрами, із завданням експертної оцінки невідомих параметрів на основі параметрів спостережування **в реальному часі**. В цьому варіанті статистична модель набуває статусу динамічної, тобто ПММ в реальному часі, або гібридних моделей ПММ.

Мета роботи. Метою даної статті є розгляд комплексного, інтегрованого підходу для визначення принципів, методології та моделювання управління ризиками в ІТ проектах в умовах безперервного процесу розвитку та зміну умов життєвого циклу проекту.

Аспекти реалізації підходів до управління ризиками ІТ проектів. Враховуючи основні принципи, ПММ розділяються за наступними основними класифікаційними ознаками [4]:

- напівмарковські ПММ;
- гібридні ПММ;
- ПММ за кількістю станів;
- ПММ за кількістю рівнів;
- за часовими характеристиками;
- за видом розподілу ймовірностей, що лежать в основі ПММ;
- за параметричністю;
- за видом топології;
- за гомогенністю;
- за лінійністю;
- за динамічними властивостями;
- за структурою матриці переходів;

Гібридне моделювання – багатоетапний процес переходу від оригіналу до моделі й експериментів з моделлю, причому у якості оригінала виступає неоднорідне завдання, засіб переходу будується з автономних методів, моделей, технологій, алгоритмів, а модель комбінується з різномірних представлень та процедур.

Принципи гібридного моделювання

Принцип неоднорідності

Принцип плюралізму

Принцип системного аналізу неоднорідного завдання

Принцип конструктора

Принцип поступовості.

Перший принцип спадкування

Другий принцип спадкування

Принцип самоорганізації агрегованої моделі

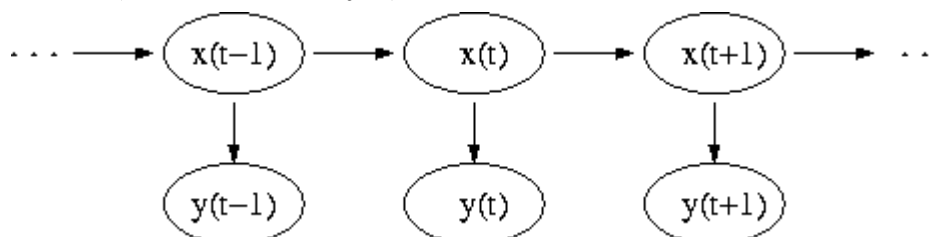
Принцип повноти.

Принципи інформатизації академіка Глушкова, на основі яких виведені вище принципи та узагальнювальний принцип методологічної конвергенції при використанні методології прихованих моделей Маркова дозволяють узагальнювальний висновок про анонсацію узагальненого виду типу використання прихованих моделей Маркова в напрямку:

Глобальний просторовий та часовий аналіз моделювання інформаційного середовища (Global and Time Modeling Information Space, GTMIS). Прихована марковська модель (ПММ) — статистична модель, що імітує процес, схожий на марковський процес із невідомими параметрами. Завданням ПММ є визначення невідомих параметрів на основі спостережуваних. Отримані параметри можуть бути використані в подальшому аналізі в процесі управління ризиками ІТ проектів. У звичайній марковській моделі стан видно спостерігачеві, тому ймовірності переходів - єдиний необхідний параметр. У прихованій марківській моделі ми можемо стежити лише за змінними, на які впливає цей стан. Кожен стан має ймовірнісний розподіл серед усіх можливих вихідних значень. Тому послідовність символів, згенерована ПММ, дає інформацію про послідовність станів.

Діаграма, подана нижче, показує загальну структуру ПММ. Овали - це змінні з випадковим значенням. Випадкова змінна $x(t)$ відповідає значенню прихованої змінної в момент часу t . Випадкова змінна $y(t)$ - це значення змінної, за якою ми спостерігаємо, в момент часу t . Стрілки на діаграмі символізують умовні залежності. Із діаграми можна дізнатись, що значення прихованої змінної $x(t)$ (в момент часу t) залежить тільки від значення прихованої змінної $x(t-1)$ (в момент $t-1$). Це називається властивістю Маркова. Хоча в той же час значення змінної $y(t)$, за

якою ми спостерігаємо, залежить лише від значення прихованої змінної $x(t)$ (в момент часу t).



Ймовірність спостерігати послідовність

$Y = y(0), y(1), \dots, y(L-1)$ довжини L дорівнює:

$$P(Y) = \sum_x P(Y | X) P(X),$$

тут сума пробігає по всіх можливих

послідовностях прихованих вузлів

$$X = x(0), x(1), \dots, x(L-1).$$

Основні приховані марковські моделі можна описати за допомогою таких змінних:

N - кількість станів

T - кількість спостережень

$\theta_{i=1 \dots N}$ - параметр для спостереження за зв'язками між станами

$\phi_{i=1 \dots N, j=1 \dots N}$ - ймовірність переходу із стану i до стану j

$\Phi_{i=1 \dots N}$ - N -мірний вектор, що складається із $\phi_{i,1 \dots N}$

$x_{t=1 \dots T}$ - стан спостереження за час t

$y_{t=1 \dots T}$ - результат спостереження за час t

$F(y|\theta)$ - функція розподілу ймовірності спостережень, параметризованих по θ

Для пошуку максимальної ймовірності оцінки параметрів прихованої моделі Маркова при заданому наборі спостережень використовується алгоритм Баума — Велша. Наступні дослідження автори виконують саме в цьому напрямку.

Висновки. В статті розглянутий комплексний інтегрований підхід для визначення принципів, методології та управління ризиками в ІТ проектах в умовах безперервного процесу розвитку та змін умов життєвого циклу проекту. Визначений напрямок для управління ризиками ІТ проектів на основі прихованих марковських моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Руководство к своду знаний по управлению проектам (руководство PMBOK) Project Management Institute, Inc., 2004. – 388с
2. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики - М.: Наука
3. М.З. Згуровський, І.І. Коваленко, К.Кондратюк, Є. Кондратюк. Експертні системи в управлінні проектами. Проблеми управління і інформатики, 2000 № 6. с.102-109.
4. Баклан І.В., Степанкова Г.А. Класифікація моделей марковського типу: наукова монографія.- К.: Національна академія управління, 2012. – 84 с.
5. Ніколайчук В.Й. Принцип методологічної конвергенції як основа адаптації державного управління до інформаційного суспільства //Збірник наукових праць НАДУ. - Випуск 2/2005. - С.70-78.
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_Markov_model

СОДЕРЖАНИЕ

Баклан І.В. Інтервальний підхід до побудови лінгвістичної моделі.....	3
Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., Гринько А.Ю., Степаненко А.Ю. Алгоритмические и программные средства системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки.....	9
Дорош Н.Л., Храпач Ю.О. Розробка програмного засобу для аналізу і збереження зображень...	15
Дубовик Т.Н., Семёнов В.А. К вопросу об адаптации и настройке моделей обучения	19
Желдак Т.А., Слесарев В.В., Воловенко Д.О. Застосування механізмів формування знань в складі інтелектуальної СППР оптимізації процесу розкислення сталі в конвертерному виробництві	29
Жуковицкий І.В., Пахомова В.М., Литвинов О.С. Необходимость узгодження технології АТМ з технологіями локальних мереж в інформаційних системах на залізничному транспорті	40
Кириченко Л.О., Кобицкая Ю.А., Стороженко А.В. Разработка алгоритмов принятия решений в экспертной системе фрактального анализа.....	54
Косолапов А.А., Жуковицкий И.В. Тенденции развития архитектуры автоматизированных систем управления	62
Мазурок Т.Л. Интеллектуальные преобразования В реализации синергетической модели управления.....	72
Никитина Т.Б., Волошко А.В., Татарченко М.О. Синтез анизотропийного регулятора комбинированой системы робастного управления скоростью электромеханической системы	80
Островская Е.Ю., Михалев А.И. Формирования адресных предложений клиентов с учетом их предпочтений методами Data Mining	84
Почта Ю.В. Интеллектуальные информационно-управляющие системы водоснабжения и водопотребления	93
Ризун Н.О., Тараненко Ю.К. Получение математической модели интеллектуальной деятельности тестируемого с применением статистических методов.....	97

Рудакова А.В.	
Методы получения оценки оптимальных решений при управлении системами в критических режимах при дефиците времени.....	109
Селиванова А.В.	
Моделирование процесса управлеНиЯ обобщенной холодильной установкой	117
Михалев А.И., Журавлев В.Н., Сухомлин Р.А., Гасик М.И.	
Методы Гильберта-Хуанга и КМА в задачах идентификации технического состояния авиационных редукторов.....	124
Теплякова Г.Л.	
Модель построения рейтинга кафедр интегрированным многокритериальным методом МВС+МАИ	135
Ткач В.А.	
Методы оптимизации управления в интеллектуальных интерфейсах	142
Илюнин О.О., Удовенко С.Г., Шамраев А.А., Лазарев А.И.	
Система нечеткого управления травлением стали с компараторной идентификацией дефектов проката.....	151
Шергин В.Л.	
Повышение быстродействия преобразования радона путём применения slice-оператора в неевклидовой метрике	160
Бахрушин А.В., Бахрушин В.Е.	
Тестирование гипотез о нелинейных связях с использованием языка программирования R.....	168
В.Й. Ніколайчук, І.В. Баклан	
Управління ризиками в ІТ-проектах на основі прихованих моделей Маркова	173

РЕФЕРАТЫ

УДК 519

Баклан І.В. **Інтервальний підхід до побудови лінгвістичної моделі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.3 - 8.

В статті розглянуті питання розбиття множини значень часового ряду на інтервали для побудови лінгвістичних моделей.

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 669.162.2:669.162.275.2:681.3.008.6

Тогобицька Д.М., Белькова А.І., Грінько А.Ю., Степаненко Д.О. **Алгоритмічні та програмні засоби системи контролю та керування шлаковим режимом доменної плавки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.9 - 14.

Викладені функціональні можливості та особливості розвитку алгоритмічних і програмних засобів системи контролю та керування шлаковим режимом доменної плавки "Шлак". Особлива увага приділена програмній архітектурі системи та проблемам, що виникають при її подальшій розробці й впровадженні. Описано системний підхід до модернізації системи на основі шаблону "Шари", що дозволяє підвищити гнучкість, відкритість, зручність супроводу й швидкість розширення додатків програмної розробки.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 004.9:616.1

Дорош Н. Л., Храпач Ю. А. **Разработка программного средства для анализа и сохранения изображений** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.15 - 18.

Представлены результаты разработки программного средства для обработки изображений в системе MatLab. В программе используется иерархическое представление результатов обработки RGB - изображений, возможна отдельная обработка R,G,B-слоя и сборка в полноцветное RGB-изображение. Сохраняется история обработки.

УДК 004.94+001:372.82

Дубовик Т.М., Семьонов В.О. **До питання про адаптацію та налаштування моделей навчання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.19 - 28.

Запропонована стаття присвячена вирішенню актуальної задачі: підвищення якості освіти шляхом розробки навчального середовища з використанням навчальних тренажерів. Адаптація навчального матеріалу дозволяє обґрунтувати обидва основні режими роботи комп'ютерного тренажера — контролюючий і навчальний. В якості нового навчального елемента розглянута особливість колективної роботи учнів з використанням технологій інтернет-форумів. Розглянуто необхідність налаштування різних моделей учнів — учасників форумів.

УДК 004.891.2 : 669-1

Желдак Т.А. **Застосування методів формування знань в складі інтелектуальної СППР оптимізації процесу розкислення сталі в конвертерному виробництві** / Т.А. Желдак, В.В. Слесарев, Д.О. Воловенко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.29 - 39.

В роботі викладено один з можливих підходів до оптимізації витрат розкислювачів у металургійному виробництві, заснований на експертній системі. Навчання системи здійснюється на прикладах вдало виконаних плавок. В якості механізмів добування знань запропоновані мережі Байєса та дерева рішень.

Бібл. 10, іл. 1, табл. 2.

УДК 656.212.5:681.3

Жуковецкий И.В., Пахомова В.Н., Литвинов А.С. **Необходимость согласования технологии АТМ с технологиями локальных сетей в информационных системах на железнодорожном транспорте** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.40 – 53.

Составлена формальная модель уровня адаптации ААЛ по алгоритму RED. Разработана имитационная модель АТМ с использованием составленной диаграммы состояний. Проведены соответствующие исследования на имитационной модели

Библ. 10, рис. 6, табл. 1.

УДК 519.2:004.9

Кіріченко Л.О., Кобицька Ю.О., Стороженко О.В. **Розробка алгоритмів прийняття рішень в експертній системі фрактального аналізу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.54 – 61.

В роботі розглянуто завдання роботи механізму виведення в експертній системі, що призначена для аналізу фрактальної структури часових рядів та вибору математичної моделі стохастичного процесу, який має необхідні фрактальні та імовірнісні властивості.

Бібл. 10, іл. 1.

УДК 656.2 : 681.5 : 004.09

Косолапов А.А., Жуковецкий И.В. **Тенденции развития архитектуры автоматизованных систем керування** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.62 – 71.

Розглянуті основні види архітектур інформаційних систем (ИС), їхні переваги, недоліки й етапи розвитку. Визначені умови ефективності застосування мультипроцесорних структур перед кластерними конфігураціями. Обґрунтована необхідність використання в сучасних умовах 4-х рівневої архітектури автоматизованих систем типу sc-As-ws-dbs, зокрема, в автоматизованій системі керування вантажними перевезеннями Українських залізниць АСК ВП УЗ-Е, яка має, як показали дослідження, достатні резерви обчислювальних ресурсів для свого розвитку.

Бібл. 13, іл. 4

УДК 681.335:004.891

Мазурок Т.Л. **Интеллектуальні перетворення у реалізації синергетичної моделі управління** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.72 – 79.

Проаналізовано структурно-функціональну схему, яка реалізує синергетичну модель управління. Визначено необхідні перетворення для вироблення управляючого впливу на прикладі автоматизованої системи управління процесом індивідуалізованого навчання. Наведено результати узагальнення та класифікації перетворень, засоби їх реалізації.

Бібл. 5, іл. 1, табл.1.

УДК 621.3.076

Нікітіна Т.Б., Волошко О.В., Татарченко М.О. **Синтез анізотропійного регулятора комбінованої системи робастного управління швидкістю електромеханічної системи** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.80 – 83.

Розроблена методика синтезу анізотропійного робастного регулятора комбінованої системи робастного управління швидкістю двомасової електромеханічної системи. Наведений приклад порівняння динамічних характеристик синтезованої системи робастного управління з анізотропійним регулятором із системою з типовим регулятором. Показано, що застосування робастних регуляторів дозволило зменшити помилку регулювання швидкості обертання механізму приблизно у двічі.

Бібл. 3, іл. 2.

УДК 681.3.06 (075.8)

Островська К.Ю., Михальов О.І. **Формування адресних пропозицій клієнтів з урахуванням їх перевагу методам Data Mining** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.84 – 92.

Розглянуто ситуацію на прикладі сегментації покупців з використаних методів Data Mining на прикладі одного з найбільш популярних підходів до підвищення лояльності - Direct Marketing.

Бібл. 3.

УДК 681.51:628.1

Почта Ю.В. **Интеллектуальные информационно-управляющие системы водоснабжения и водопотребления** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.93 – 96.

Отличительная особенность современной технологии интеллектуальной сети «Smart Water» - это двунаправленный интерфейс, позволяющий не только дистанционно получать данные о параметрах потребления отдельных абонентов, но и дистанционно управлять сервоприводами исполнительных устройств типа шаровых кранов или клапанов.

Данная технология решает проблему интеграции систем безопасности с учетом различных энергоносителей в единой системе мониторинга и управления жизнедеятельностью. Обеспечивается возможность дистанционного оповещения абонентов и сервисных

служб об аварийных ситуациях, а также прозрачный доступ поставщика и потребителя энергоресурсов к расчетным данным.

Лит. 2, ил. 3, табл. 1

УДК 681.5:378.1

Різун Н.О., Тараненко Ю.К. **Отримання математичної моделі інтелектуальної діяльності тестованих із застосуванням статистичних методів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.97 – 108.

Виконано моделювання об'єкта дослідження – індивідуальної інтелектуальної діяльності досліджуваного по розпізнаванню інформаційних моделей (тестових завдань) в процесі діагностики його професійної підготовленості, розглянутої як динамічна система. Математична модель, що отримано, дозволяє визначити форму імпульсної перехідної та перехідною функцій для груп досліджуваних, ідентифікованих у відповідності з обґрунтованими нормованими ділянками значень коефіцієнта кореляції між рядами фактичного і еталонного часу розпізнавання інформаційної моделі по індивідуальних характеристиках режимів функціонування. Формалізовано якісні динамічні характеристики груп досліджуваних з стійким рівноважним і періодичним станами індивідуальної інтелектуальної діяльності.

УДК 519.876: 681.518

Рудакова Г.В. **Методи отримання оцінки оптимальних рішень при керуванні системами в критичних режимах при дефіциті часу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.109 – 116.

У статті аналізується можливість застосування безперервних моделей для вирішення задач оперативного керування великими системами. Висунуто гіпотезу про те, що безперервне уявлення динаміки систем у вигляді оболонки дає більш сильний оптимум, ніж вихідна задача, на основі якого можна визначати найкраще керування з множини можливих і оцінювати якість керування. Розглянуті методи знаходження розв'язання рівнянь стану в безперервній формі, методи аналізу стійкості системи по безперервній моделі, можливість коректної постановки задачі оптимального керування й застосування методів варіаційного обчислення для її розв'язання.

Бібл. 8, іл. 1.

УДК 681.335:004.891

Селіванова А.В. **Моделювання процесу управління узагальненою холодильною установкою** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.117 – 123.

В роботі показана необхідність створення моделі управління узагальненою холодильною установкою при розробці комп'ютерного тренажера, проаналізовані класичні та інтелектуальні моделі управління, розроблена схема управління узагальненою холодильною установкою та схема взаємодії системи управління із суб'єктом, показана доцільність використання інтелектуальних методів управління у комп'ютерному тренажері.

Бібл. 4, іл. 1

УДК 004.67:004.9

Михальов О.І., Журавльов В.М., Сухомлин Р.О., Гасик М.И. **Методи Гільберта-Хуанга та КМА в задачах ідентифікації технічного стану авіаційних редукторів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.124 – 134.

Проведена ідентифікація технічного стану авіаційного редуктора методами заснованими на перетворенні Гільберта-Хуанга та короткомасштабному аналізі. Обидва методи показали прийнятні результати аналізу.

Бібл. 7, рис. 3.

УДК 669.168

Теплякова Г.Л. **Модель побудови рейтингу кафедр інтегрованим багатокритеріальним методом МЗС + МАІ** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.135 – 141.

Розглядаються модель та етапи побудови рейтингу діяльності кафедр на базі інтегрованого методу МЗС + МАІ. Побудована багаторівнева ієрархічна структура критеріїв оцінки діяльності кафедр. Запропонований підхід дозволяє вирішити основну проблему ранжування - узгоджене визначення вагів критеріїв. Наводиться ілюстраційний приклад, що демонструє побудову даним методом рейтингу кафедр у веб-додатку «СППР NooTron» (<http://nootron.net.ua>).

Бібл. 5, іл. 5

УДК 004.94

Ткач В.О. **Методи оптимізації керування в інтелектуальних інтерфейсах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.142 – 150.

У статті розглядається метод оптимізації інтелектуального інтерфейсу на основі поняття інформаційного поля при створенні інтелектуальних систем автоматичного керування. Задача оптимізації інтерфейсу розглянута в значенні забезпечення мінімального часу на сприйняття та обробку інформації.

Бібл. 6, іл. 2.

УДК 519.62

Ілюнін О.О., Удовенко С.Г., Шамраєв А.А., Лазарев А.І. **Система нечіткого керування травленням сталі з компараторною ідентифікацією дефектів прокату** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.151 – 159.

У статті розглянуто формалізацію логіко-аналітичної задач визначення дефектів поверхні вуглецевого сталюого полосового прокату. Запропоновано спосіб нечіткого оцінювання товщини окисних дефектів, кожному з яких відповідає нечіткий LR-інтервал. Наведені логічні правила керування концентрацією сірчаної кислоти в процесі безперервного травлення, які визначаються функціями належності за результатами обробки LR-

інтервалів. Запропоновано схему нечіткого керування агрегатом безперервного комбінованого травління.

Бібл. 8, іл.2, табл. 1.

УДК 004.931

Шергін В.Л. **Підвищення швидкодії перетворення Радона шляхом застосування slice-оператора в неевклідовій метриці** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.160 – 167.

Запропонований алгоритм обчислення швидкого перетворення Радона, який базується на застосуванні slice-оператора в L_p -метриці. Заміна метрики під час перетворення координат в slice-операторі дає змогу зменшити розмір матриці, що обробляється, і таким чином збільшити швидкість алгоритма. Проведено порівняння швидкості роботи перетворення Радона із застосуванням slice-оператора в евклідовій метриці та в узагальненій метриці L_p .

Бібл. 4, табл. 1.

УДК 519.23

Бахрушин О.В., Бахрушин В.Є. **Тестування гіпотез про нелінійний зв'язок із застосуванням мови програмування R** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.168 – 172.

Засобами мови програмування R розроблено модулі для обчислення вибіркового коефіцієнта детермінації, що є універсальним показником наявності статистичного зв'язку для числових даних. Виконано тестування програм, яке довело коректність обчислення коефіцієнта детермінації для різних типів зв'язку.

Бібл. 5, іл. 2.

УДК 519

Николайчук В.И., Баклан И.В. **Управление рисками в ит-проектов на основе скрытых модели Маркова** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (86). - Днепропетровск, 2013. - с.173 – 179.

В статье рассмотрены вопросы системного подхода, принципах управления рисками в ИТ проектах на основе скрытых моделей Маркова.

UDK 519

Baklan I.V. **Interval Approach to Construct of the Linguistic Model** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.3 - 8.

The paper deals with the partition of the set of values of the time series into intervals to construct of the linguistic model.

Bibl. 4, ill. 1.

UDK 669.162.2:669.162.275.2:681.3.008.6

Togobitskay D. N., Bel'kova A.I., Grin'ko A.U., Stepanenko D.A. **Algorithmic and software of the monitoring system and managements of a slag mode of domain fusion** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.9 - 14.

Functionality and features of development algorithmic and monitoring system and management software is stated by a slag mode of domain fusion "Slag". The special attention is given program architecture of system and the problems arising by its further working out and introduction. The system approach to modernisation of system on the basis of a template "Layers" that allows to raise flexibility, an openness, convenience of support and speed of expansion of appendices of program working out is described.

Bibl. 4, ill. 4.

UDK 004.9:616.1

Dorosh N.L., Hrapach J.A. **Development of software tools to analyze and store images** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.15 - 18.

The results of the development of software for image processing system MatLab. The program uses a hierarchical representation of the results of processing RGB - image processing capabilities of a single R, G, B-layer and build a full-color RGB-image. Keeps history of treatment.

UDK 004.94+001:372.82

Dubovik T.N., Semenov V.A. **On the question of adaptation and adjustment training models** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.19 - 28.

As a new educational element of the features of the collective work of students using the technology of online forums. The necessity of setting up various models of students — members forums.

The proposed article is devoted to solving the actual problem: improving the quality of education through the development of the learning environment, using training simulators. Adapting training material enables us to justify both the main modes of computer simulator - control and training.

UDC 004.891.2: 669-1

Zheldak T.A. **Methods of knowledge discovery for the intellectual decision support system to optimize the process of steel deoxidation in converter shop** / T.A. Zheldak, V.V. Slesarev, D.A. Volovenko // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.29 - 39.

The paper presents a possible approach to the optimization of costs in deoxidizing steel production, based on an expert system. System training is carried out by example the success-

ful execution of swimming trunks. As the methods of knowledge extraction proposed Bayesian networks and decision trees.

Bibl. 10, Fig. 1, Table. 2.

UDC 656.212.5:681.3

Zhukovitsky I.V., Pakhomova V.N., Litvinov A.S. **The need for harmonization of ATM technology with LAN technologies in information systems in rail transport** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.40 - 53.

Drafted a formal model adaptation layer AAL algorithm RED. Developed a simulation model of the ATM using a compiled state diagram. Conducted relevant research of simulation models.

Bibl. 10, fig. 6, tabl. 1.

UDC 519.2:004.9

Kirichenko L.O., Kobitskaya Ju.A., Storozhenko A.V. **Development of decision-making algorithms for expert system of fractal analysis** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.54 - 61.

The work deals with the tasks functioning of the inference mechanism in the expert system, which is designed for the time series fractal analysis and the choice of the mathematical stochastic model with the required probability and fractal properties.

Ref.10, fig.1.

UDC 656.2 : 681.5 : 004.09

Kosolapov A.A., Zhukovitsky I.V. **Trends of architecture avtomated control systems** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.62 - 71.

The main types of architectures of information systems (IS), their advantages, disadvantages, and stages of development. The conditions for effective application of multi-agencies before the cluster configuration. The necessity to use in today 4-tier architecture the automated systems of the SC-AS-WS-DBS, in particular, in the automated system of freight transportation by Ukrainian Railways АСУ ГП УЗ-Е, which is, as shown by the study, sufficient reserves of computing resources for its development.

Bibl. 13, ill. 4

UDC 681.335:004.891

Mazurok T.L. **Intellectual conversion in realization synergetic model control** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.72 - 79.

Analyze the structural and functional circuit realizing synergistic control model. The necessary conversion to generate the control action on the example of an automatization of process control system of individualized teaching. The results of generalization and classification conversions, the means to implement them.

Ref. 5, fig. 1, tabl. 1.

UDC 621.3.076

Nikitina T., Volochko A., Tatarchenko M. **Anisotropic regulator synthesis for combined robust control by electromechanics system speed** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.80 - 83.

A method of anisotropic regulator synthesis of combined robust control by speed of the twomass electromechanics system is developed. An example of dynamic descriptions comparison of synthesized robust control system with anisotropic regulator and system with the model regulator is resulted. It is shown, that the application of robust regulators allowed to decrease an of control rotation speed error of mechanism approximately in two times.

UDC 681.3.06 (075.8)

Ostrovsky K.U., Mikhalev A.I. **Formation of the address of offers customers based on their preference by Data Mining** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.84 - 92.

Consider the situation as an example of segmentation customers using Data Mining methods on the example of one of the most popular approaches to increase loyalty - Direct Marketing.

Bibl. 3.

UDC 681.51:628.1

Pochta Y. **Intelligent information-control of water supply and water use** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.93 - 96.

A distinctive feature of the modern technology of the intelligent network «Smart Water» - a bi-directional interface that not only remotely receive data on the parameters of the consumption of certain customers, but also remotely control the servo actuator type ball valves or valves.

This technology solves the problem of integration of security systems with the different energy carriers in a single system for monitoring and control vital functions. Enabling remote alert subscribers and support services for emergency situations, as well as transparent access provider and consumer of energy to the calculated data.

Ref. 2, pic. 3, tab. 1

UDC 681.5:378.1

Rizun N.O., Taranenko J.K. **Getting the mathematical model of intellectual test against the application of statistical methods** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.97 - 108.

Modeling of the object of research – individual intellectual activity of an examined in terms of recognizing information models (textual tasks) in the process of his/her professional readiness, considered as a dynamic system, is completed. The received mathematical model allows defining the form of an impulse transient and a transitional function for a group of examined, which are identified in accordance with the justified normalized sections of values of the correlation coefficient between the rows of actual and sample time of recognizing of the information model with individual characteristics of functioning regimes. Qualitative dynamic characteristics of groups of examined with stable balanced and periodical regimes of individual intellectual property are formalized.

UDC 519.876: 681.518

Rudakova G.V. **Methods of getting of optimum decisions evaluation at a management the systems in the critical modes at the time deficit** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.109 - 116.

In the article possibility of application of continuous models is analysed for the decision of tasks of operative management the large systems. A hypothesis is pulled out that continuous presentation of the systems dynamics as a shell gives a prepotent optimum, than initial task, on the basis of which it is possible to determine the best management from a great number possible and to estimate management quality. The methods of finding of decision of equalizations of consisting of continuous form, methods of analysis of the system stability on a continuous model, possibility of the correct raising of optimal control task and application of variation calculation methods for its decision are considered.

Bibl. 8, ill. 1.

UDC 681.335:004.891

Selivanova A. **Modeling of control process by the generalized refrigeration unit** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.117 - 123.

The necessity of creation of case frame is in-process shown by the generalized refrigeration unit at development of computer trainer, classic and intellectual case frames are analysed, a management chart is worked out by the generalized refrigeration unit and chart of cooperation of control system with a subject, expediency of the use of intellectual methods of control is shown in a computer trainer.

Lit. 4, pic. 1

UDK 004.67:004.9

Mikhalev A., Zhuravlev V., Sukhomlin R., Gasik M.I. **The Hilbert-Huang and MRA in problems of identification of technical condition of aircraft gear** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.124 - 134.

Identified on the technical condition of aircraft gear method is based on Hilbert-Huang transform and multiresolution analysis. Both methods showed acceptable test results.

Bibl. 7 ill. 3.

UDC 669.168

Teplyakova G.L. **The model of university's departments ranking based on integrated multicriteria analysis method SAW+AHP** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.135 - 141.

The model and steps of university's departments ranking based on integrated multicriteria analysis method SAW+AHP are considered. The multilevel hierarchical structure of the assessment criteria of departments is built. The proposed approach enables to solve the essential ranking problem such as the agreed definition of the criteria weights. The illustrating example is given to demonstrate university's departments ranking by this method in the web application "DSS NooTron» (<http://nootron.net.ua>).

Refs. 5, ill. 5

UDC 004.94

Tkach V.A. **Methods of optimisation of control in intellectual interfaces** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.142 - 150.

In article the method of optimisation of the intellectual interface on the basis of concept of an information field is considered at creation of intellectual systems of automatic control. The problem of optimisation of the interface in sense of maintenance of minimum time for processing and perception of the information is put.

Bibl. 6, ill. 2.

UDC 519.62

Ilunin O.O., Udovenko S.G., Shamraev A.A., Lazaryev A.I. **Fuzzy Control System etching steel with comparator identification of rolled defect** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.151 - 159.

Formalization of logic-analytical problems of fuzzy control the continuous process of pickling strip carbon steel in conditions of uncertainty. The article is devoted to the formalization of logic-analytical problems of definition of defects of the surface of carbon steel strip. The method of uncertain estimation thickness of the oxide defects with the help of their colors, each of which corresponds to the fuzzy LR-interval of thickness is proposed. The logic control rules (LCR) for the concentration of sulphuric acid in the process of continuous pickling, which are defined by the accessory function, formed on the basis of processing LR-interval is considered. The scheme of fuzzy control unit continuous combined etching is proposed.

Bibl. 8.

UDC 004.931

Shergin V.L. **The speedup Radon transform based on using slice-operator at non-Euclidean metric** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.160 - 167.

The fast Radon transform algorithm is proposed based on using slice-operator at generalized L_p - metric. By changing the polar transform based on Euclidean metric to the generalized one results in reducing by factor of 1.5-2 memory required and so in speedup the transform calculation. The comparison of speed of the fast Radon transform based on slice-operator using both metric L_2 and L_p is presented.

Ref. 4, Tab. 1.

UDC 519.23

Bakhrushin A.V., Bakhrushin V.E. **Testing of the hypothesis about nonlinear relationships, using programming language R** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.168 - 172.

Using the tools of the programming language R there were developed modulus for calculation of sample determination coefficient, which is a universal indicator of the presence of the statistical relationship for numeric data. The programs were tested, and it was shown the correct calculation of the determination coefficient for different types of relationship.

Ref. 5, Il. 2.

UDC 519

Nikolaychuk V.I., Baklan I.V. **Risk management in IT projects based of hidden Markov model** // System technologies. N 3 (86) - Dnipropetrovsk, 2013.- P.173 - 179.

The paper deals with a systematic approach, Principle of risk management in IT projects based on hidden Markov models.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Баклан Ігор Всеволодович – к.т.н., доцент, зав. кафедрою інтелектуальних систем Національної Академії Управління, м. Київ.

Тогобицкая Дарья Николаевна - д.т.н., профессор, отделом физико-химических проблем металлургических процессов, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Белькова Алла Ивановна - к.т.н., старший научный сотрудник отдела физико-химических проблем металлургических процессов, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Гринько Анастасия Юрьевна - к.т.н., научный сотрудник отдела физико-химических проблем металлургических процессов, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Степаненко Дмитрий Александрович - к.т.н., научный сотрудник отдела физико-химических проблем металлургических процессов, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Дорош Наталія Леонідівна - доцент, НметАУ, кафедра інформаційних технологій і систем.

Храпач Юлія Олександрівна - доцент, Академія Митної служби України, кафедра вищої математики та інформатики.

Дубовик Татьяна Николаевна – ассистент кафедры «Специализированных компьютерных систем» ГВУЗ «УГХТУ».

Семёнов Виталий Александрович – доцент кафедры «Компьютерных технологий и высшей математики» ГВУЗ «УГХТУ».

Желдак Тімур Анатолійович – к.т.н., доцент, докторант кафедри системного аналізу і управління, Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”.

Слесарев Володимир Вікторович – д.т.н., професор, завідувач кафедри системного аналізу і управління, Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”.

Воловенко Денис Олексійович – аспірант кафедри системного аналізу і управління, Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”.

Жуковицький Ігор Володимирович - д.т.н., проф., завідувач кафедри ЕОМ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Пахомова Вікторія Миколаївна - к.т.н., доц., доцент кафедри ЕОМ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Литвинов Олександр Сергійович - студент спеціальності «Комп'ютерні системи та мережі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Кириченко Людмила Олеговна – к.т.н., доцент каф. прикладної математики Харківського національного університета радіоелектроніки.

Кобицкая Юлия Александровна – стажер-исследователь каф. прикладной математики Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Стороженко Александра Владимировна – к.т.н., доцент каф. экономической кибернетики Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Косолапов А.А. - Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Мазурок Татьяна Леонидовна - д.т.н., профессор кафедры прикладной математики и информатики, ДЗ «Южноукраинский национальный педагогический университет им. К.Д. Ушинского» (г.Одесса).

Никитина Татьяна Борисовна - д.т.н., профессор кафедры системного анализа и управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Волошко Александр Валерьевич - к.т.н., младший научный сотрудник Научно-технического центра магнетизма технических объектов Национальной академии наук Украины.

Татарченко Максим Олегович - аспирант кафедры системного анализа и управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Островская Екатерина Юрьевна – к.т.н., доцент кафедры Информационных технологий и систем, НМетАУ.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., проф., зав. кафедры Информационных технологий и систем, НМетАУ.

Почта Юлия Викторовна - аспирант кафедры электроники и вычислительной техники ВГУУ “Национальный горный университет”.

Ризун Нина Олеговна - к.т.н., доцент, Днепропетровский университет имени Альфреда Нобеля.

Тараненко Ю.К. - к.т.н., доцент, Днепропетровский университет имени Альфреда Нобеля.

Рудакова Анна Владимировна - доцент, к.т.н., доцент кафедры технической кибернетики, Херсонский национальный технический университет.

Селиванова Алла Витальевна - аспирантка, старший преподаватель кафедры информационных технологий и кибербезопасности, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики Одесской национальной академии пищевых технологий.

Журавлев Владимир Николаевич – доцент Запорожского национального технического университета, к.т.н.

Сухомлин Роман Александрович – аспирант Национальной металлургической академии.

Гасик Михаил Иванович - академик НАНУ, доктор технических наук, профессор Национальной металлургической академии.

Теплякова Галина Львовна - аспирант кафедры Информационных технологий и систем НМетАУ.

Ткач Вера Алексеевна - старший преподаватель кафедры основы конструирования, Херсонский национальный технический университет.

Илюнин Олег Олегович - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант каф. Электронных вычислительных машин. Ведущий инженер АСУ ТП АО «Содружество-Т Альфа Лаваль Украина».

Удовенко Сергей Григорьевич - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, д.т.н., профессор каф. Электронных вычислительных машин.

Шамраев Анатолий Анатольевич - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, к.т.н., доцент каф. Электронных вычислительных машин.

Лазарев Андрей Иванович - Siemens AG, Industry Sector, Drive Technologies.

Шергин Вадим Леонидович – к.т.н., доцент кафедры Искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Бахрушин Алексей Владимирович – студент Классического частного университета.

Бахрушин Владимир Евгеньевич – академік АН высшей школы Украины, д.ф.-м.н., профессор кафедры системного анализа и программной инженерии Классического частного университета.

Ніколайчук Валерій Йосипович – старший викладач кафедри інтелектуальних систем Національної Академії Управління, м. Київ.