

# БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

---

---

№ 2 (83)

2014

---

---

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**Основан в октябре 1967 г.**

Учредитель и издатель  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

Периодичность издания – *2 раза в год*

**СОДЕРЖАНИЕ**

**СТРУКТУРНАЯ, ПРИКЛАДНАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА**

*Четвериков Г. Г.* Алгебологічні та лексикографічні аспекти моделювання природної мови ..... 3  
*Лазаренко О. В.* Моделирование процесса понимания текста с использованием инвариантной репрезентации ситуаций в системе автореферирования ..... 15  
*Данилевич С. Б.* Применение методов корпусной лингвистики для получения информации на незнакомом языке ..... 19

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ. ТЕОРИЯ ИНТЕЛЛЕКТА**

*Стрижак А. Е.* Таксономические характеристики онтологических систем ..... 24  
*Процай Н. Т., Вечирская И. Д.* Определение образа линейного логического оператора и отображения Галуа по пустой области в терминах кванторной алгебры предикатных операций ..... 30  
*Михаль О. Ф.* Моделирование парадоксов логического мышления на сетях Петри ..... 34  
*Семенец В. В., Наталуха Ю. В., Тарануха О. А., Токарев В.В.* Зрительная система человека и метод нуля – орган ..... 46  
*Вечірська І. Д., Гончаров І. Е., Шепілов С. І.* Дослідження логіки скінченних предикатів як композиційно-номінативної логіки ..... 53

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

*Ерохин А. Л., Нечипоренко А. С.* Формальные модели дифференциальной диагностики функции носового дыхания ..... 61  
*Петров Э. Г., Губаренко Е. В.* Системологическая модель устойчивого развития ноосферы (технобиосферы) ..... 66  
*Литвин О. М., Лобанова Л. С., Мірошніченко Г. А.* Про один підхід до математичного моделювання в задачах оптимального управління ..... 74  
*Иевлев Е. С., Иевлева С. Н.* Вероятностные модели управления сетевыми процессами в корпоративных компьютерных сетях ..... 79  
*Литвин О. О., Коваль Ф. Ф., Чорна О. С.* Математичне моделювання тривимірного розподілу корисних копалин за даними про них в системі похилих свердловин ..... 83

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ**

*Бритик В. И., Жилина Е. Ю.* Исследование возможностей различных фильтров и их применение в задачах распознавания образов ..... 88  
*Чалый С. Ф., Буцукина И. Б.* Ситуационная модель представления процессных знаний ..... 96  
*Кораблев Н. М., Фомичев А. А.* Автоматическая классификация данных на основе модели искусственной иммунной сети ..... 100  
*Высоцкая Е. В., Демин Ю. А., Страшненко А. Н.* Определение риска заболеваемости населения болезнями глаза и придаточного аппарата в различных регионах Украины ..... 107

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ**

*Михнова А. В., Имишенецкий Д. А.* Метод оценивания эффективности учебного плана подготовки в вузе ..... 111  
*Сафоник А. П., Таргоній І. М.* Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу магнітного очищення води ..... 117  
*Дудар З. В., Каук В. І., Ревенчук І. А., Шатовська Т. Б.* Універсальна структурна модель організації інноваційної та підприємницької діяльності ІТ-студентів ..... 122  
*Чайников С. И., Солодовников А. С.* К вопросу организации контрольных точек восстановления данных вычислительных процессов ..... 128  
*Михнов Д. К., Переход И. В.* Концепция построения бизнес-модели бюджетных авиакомпаний ..... 132

Об авторах ..... 139  
 Правила оформлення рукописів для авторів науково-технічного журналу «Біоніка інтелекту» ..... 142  
 Instructions for authors of manuscripts of the scientific journal «Bionics of intelligence» ..... 143



Г.Г. Четвериков

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, chetvergg@kture.kharkov.ua

## АЛГЕБРОЛОГІЧНІ ТА ЛЕКСИКОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Статтю присвячено питанню організації даних та ефективного вибору програмних і технічних засобів при розробці мовно-інформаційних інтерфейсів та проектів. Наведено аналіз тенденцій моделювання механізмів природної мови. Викладено також принципи та методи побудови багатовходових універсальних  $k$ -значних просторових структур мовних систем штучного інтелекту.

ПРИРОДНА МОВА, ЛОГІКА, СКІНЧЕННИЙ ПРЕДИКАТ, АЛГЕБРА СКІНЧЕННИХ ПРЕДИКАТІВ, БАГАТОЗНАЧНА СТРУКТУРА, АСП-СТРУКТУРА, ПРИКЛАДНА ЛІНГВІСТИКА, КОРПУСНА ЛІНГВІСТИКА, ЛІНГВІСТИЧНИЙ КОРПУС

### Вступ

Для сучасного етапу розвитку науково-технічного прогресу характерне переваження неформалізованих чи погано формалізованих проблем, алгоритмічне рішення яких чи то не існує, чи то не може бути отримане на наявних сьогодні машинах. Орієнтація на досягнення високорівневої технології обробки інформації, зокрема природномовної, проявляється у спробах реалізувати цю обробку на фон-нейманівських комп'ютерах у галузі штучного інтелекту (ШТІ) [1–3].

Підсумовуючи процес аналізу перспективних шляхів створення надшвидкодійних структур для вирішення задач створення систем ШТІ відмітимо, що така концепція є апіорною й сформована на основі аналізу широкого спектру власних наукових досліджень та досліджень вчених, що працюють над створенням систем ШТІ, а також тих, що вивчають природний інтелект [1–12].

Сьогодні не викликає сумніву той факт, що інтелектуальні інформаційні технології та відповідні комп'ютерні системи, зокрема, онтолого-керовані інформаційні системи (ОКІС), будуть і далі інтенсивно розвиватися в напрямках, що відповідають найбільш істотним ознакам розумової діяльності людини, в тому числі розпізнавання, перетворення і розуміння знакових систем (включаючи природномовні – ПМ).

Результатом зазначених комплексних завдань є генерація смислу, закладеного в аналізовану знакову систему. При цьому під смислом розуміється те, що робить знакову систему текстом, а останній – джерелом знань. Розвиток комп'ютерної лінгвістики та онтологічного інжинірингу пов'язаний з удосконаленням методів комп'ютерної обробки ПМ-інформації та предметних знань. Можна відмітити, що добре опрацьовані сучасні методи та засоби обробки ПМ-інформації для вирішення прикладних задач у вузькоспеціалізованих предметних галузях недостатні для вирішення комплексних задач, пов'язаних з формально-логічним поданням ПМ-інформації, добуванням предметних знань, з

подальшим використанням у довільних предметних галузях. Це підтверджує актуальність і важливість розробки нових наукових методів і підходів до автоматичного аналізу та глибинно-семантичного розуміння ПМ-інформації, її формалізованого подання в рамках відповідної теорії, автоматичного виявлення і вилучення нових знань, технологій і, врешті – відповідних інструментальних засобів автоматизованої побудови баз даних та знань предметних галузей.

Отже сучасні, нові вимоги до технології обробки інформації можна звести до таких двох моментів: необхідність вирішення проблем, що погано формалізуються, та наявністю кінцевого користувача, який за своєю професійною та творчою діяльністю не є програмістом.

В роботі з усього розмаїття предметних знань особливий статус надається мовним знанням і відповідним онтологіям, побудованим на їх основі, зокрема всесвітньо відомій WordNet та іншим. Виконано достатньо глибокий аналіз вказаних онтологій, зокрема, дано підставу для розробки оригінальної лінгвістичної онтології – мовно-онтологічної картини світу, яка орієнтована, в першу чергу, на українську мову.

Аналіз природномовних текстів включає формування понятійних структур, які забезпечують автоматичне вилучення знань із текстів та їх прагматичну інтерпретацію в термінах прикладних задач. При цьому текст розглядається як об'єкт різних рівнів аналізу: як знакова система, як граматична система, система знань про світ і, зрештою, як джерело вихідних даних для вирішення прикладних задач. При цьому кожен рівень має свої особливості, свої засоби вираження, а отже, допускає присутність специфічних методів обробки.

Усі відомі системи обробки природномовних текстів, як правило, містять (чи можуть приєднувати відомі) різноманітні інструментальні засоби, які суттєво спрощують розробникам чи користувачам досягнення кінцевої мети. Важливо, що автор статті також пропонує свій, так званий

інструментальний комплекс онтологічного призначення, який реалізує дві самостійні інтегровані технології: алгебологічну та лексикографічну.

Серед питань, які потребували глибоких досліджень в роботі, можна виділити наступні:

– задачі створення та розвитку української науково-технічної термінології;

– застосування формальної теорії (так звана теорія інтелекту на підставі алгебри скінченних предикатів) з метою формалізації подання інформації на різних стадіях обробки мовної інформації;

– методи та способи автоматизованої побудови онтологічних баз знань предметних галузей, включаючи розробку інструментальних (лексикографічних) засобів для обробки великих об'ємів текстової інформації;

– методи системної інтеграції знань різних предметних галузей, що представлено в онтологічній формі і шляхи автоматизації обробки мовної інформації;

– методи розробки апаратних засобів підтримки трудомістких процедур лінгвістичного аналізу ПМ-інформації: АСП-структури.

Вищенаведений аналіз головних фрагментів змісту даної роботи показує її безсумнівну актуальність.

## 1. Алгебологічний аспект

### 1.1. Огляд розробок мовного інтерфейсу систем штучного інтелекту

Запити інтелектуалізації вимагають від ЕОМ здатності розуміння людської мови, достатньої «кмітливості», здатності мислення й творчості. У зв'язку з цим, перед вченими й творцями засобів обчислювальної техніки ставиться задача забезпечення її достатньо «високоорганізованим інтелектом», що базується у першу чергу на програмних, а в другу – на апаратних засобах наближених за своїми можливостями до природної мови людини [1–4].

Задача інтелектуалізації ЕОМ не передбачає простого й швидкого вирішення. Виникають суттєві складнощі принципового характеру. Через ці складнощі не дають бажаних результатів роботи з автоматизації програмування, створення високоякісного перекладу з однієї мови на іншу, побудови систем для розпізнавання достатньо складних об'єктів, формування здатності машин зрозуміти побачене й почуте, спрямоване на рішення аналогічних питань тощо. Головна перепона, на яку нашовахуються всі спроби радикально підвищити інтелектуальні здібності ЕОМ, полягає у недосконалому машинних мов. Вони значно поступаються щодо промовистості природним мовам. Роста число прихильників точки зору, що створення «машинного інтелекту» вимагає вивчення й моделювання людського інтелекту та, у першу

чергу, природної мови [1–3], що лежить у його основі. Стає все очевиднішим, що при подальшому вдосконаленні машинних мов необхідно використовувати ширше організацію людської мови. У цьому зв'язку виникає необхідність створення математичних моделей лінгвістичних зв'язків (законів мови), що лежать в основі мовної діяльності людини. Важливо математично описати ієрархічну структуру природної мови, що проявляється під час словесного опрацювання українських текстів, зображених у графічній чи акустичній формі.

Практичні досягнення автоматизації мовної діяльності людини вражають бідні у порівнянні з важливістю проблеми та величезними зусиллями, що затрачені упродовж третини віку на їх реалізацію. Дуже мало створено програм лінгвістичного характеру, що виявилися придатними для вирішення реальних задач автоматизації праці людини. Причини такого положення для багатьох розробників тепер вже зрозумілі. Механізм природної мови, не дивлячись на видиму легкість користування ним людиною, надзвичайно складний й до того ж слабо вивчений. Отже розроблення систем обробки мовної інформації дуже часто базуються на недостатньо міцному лінгвістичному фундаменті. Багато хто з дослідників, що займалися автоматизацією мовної діяльності, перейшли до поглибленого вивчення, дослідження й моделювання окремих сторін механізму природної мови [1–12].

Як видно з блок-схеми однією з основних функцій інтелектуальної системи є функція підсистеми спілкування на природній мові. Традиційна схема аналізу та синтезу тексту на природній мові включає наступні види оброблення: виділення слів та фраз у передредакторі, морфологічний аналіз, синтаксичний аналіз, семантичний аналіз, перекладу у внутрішнє зображення, розуміння тексту (рис. 1 та рис. 2).

Зауважимо, що процедури оброблення інформації природної мови утворюють комплекс, що дозволяє як аналізувати, так і синтезувати текст, чому й називають його лінгвістичним процесором. Якщо літерами подано речення чи зв'язаний текст, то процес переходу від знаку до смислу (концепту) умовно можна розбити на три етапи аналізу: морфологічного, синтаксичного та семантичного. Відповідно виділяють три рівні мовного знаку та мовної системи.

На *морфологічному* рівні аналізуються словоформи поза зв'язком з контекстом. Визначаються їх граматичні ознаки (рід, число, відмінок тощо) та лексичне значення. Останнє важливе через те, що граматичні ознаки слів можуть збігатись і розрізнити їх можна лише за лексичним значенням.

На *синтаксичному* рівні встановлюються синтаксичні зв'язки між словами речення, що відображають смислові зв'язки між поняттями. Для

встановлення синтаксичних зв'язків використовуються морфологічні відомості про словоформи.

На семантичному рівні значення тексту подається на внутрішній формальній мові системи ШТІ. Тобто створюють відображення смислу тексту природної мови в термінах, що зрозумілі машині.

Завершуючи огляд інженерних та наукових розробок у галузі автоматизації мовної діяльності людини відмітимо, що тут існують декілька тенденцій: перехід до постановки вузких спеціалізованих наукових задач автоматизації обробки текстів та практичної реалізації на ЕОМ у програмному та програмно-апаратному вигляді мовної діяльності людини і вивчення глибинних механізмів природної мови.

Вибір задач, що вирішуються у роботі базується на цих тенденціях. Українське слово як об'єкт моделювання вибрано тому, що воно є найпростішим компонентом нашої мови. При цьому

досліджується його структура на різних рівнях: морфологічному, коли з букв утворюються морфи (корінь, префікс, суфікс та закінчення), вплив морфів один на одного, послідовність морфів у слові, яка визначається смислом. Морфи несуть різноманітне граматичне та смислове навантаження. Слово, крім цього, пов'язане з контекстом і всією сумою знань людини складними семантичними залежностями. Усі ці закони лінгвістикою вивчені неповно, а моделювання перебуває у початковому стані. Нижче наводиться аналіз стану досліджень моделювання механізмів природної мови та їх машинного моделювання.

### 1.2. Аналіз тенденцій моделювання механізмів природної мови

Формальні мови, за допомогою яких формально описуються та реалізуються перелічені вище методи аналізу та синтезу людської мови, використовують різні мови програмування, апарат теорії графів,

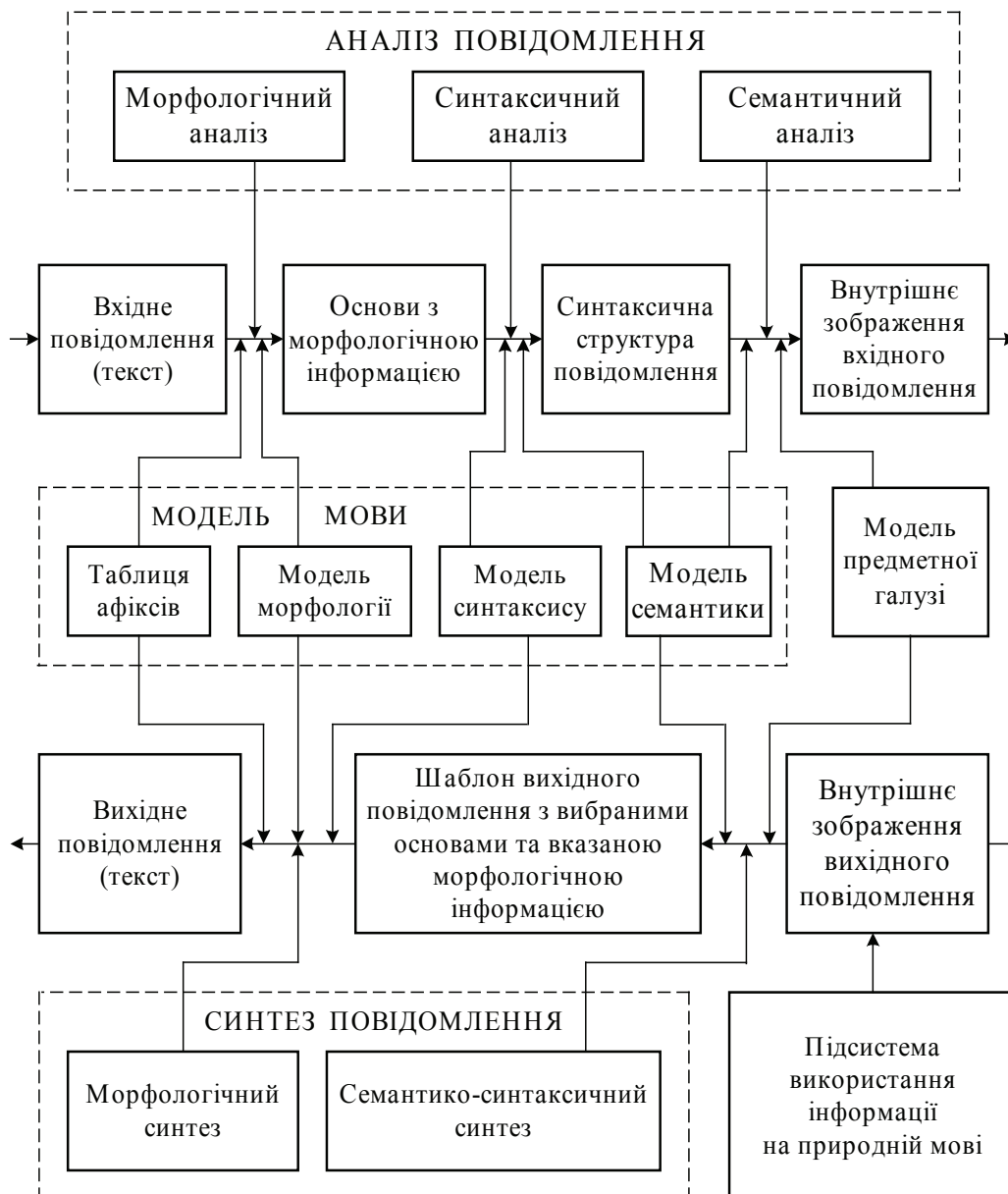


Рис. 1. Структура процедур опрацювання інформації на природній мові

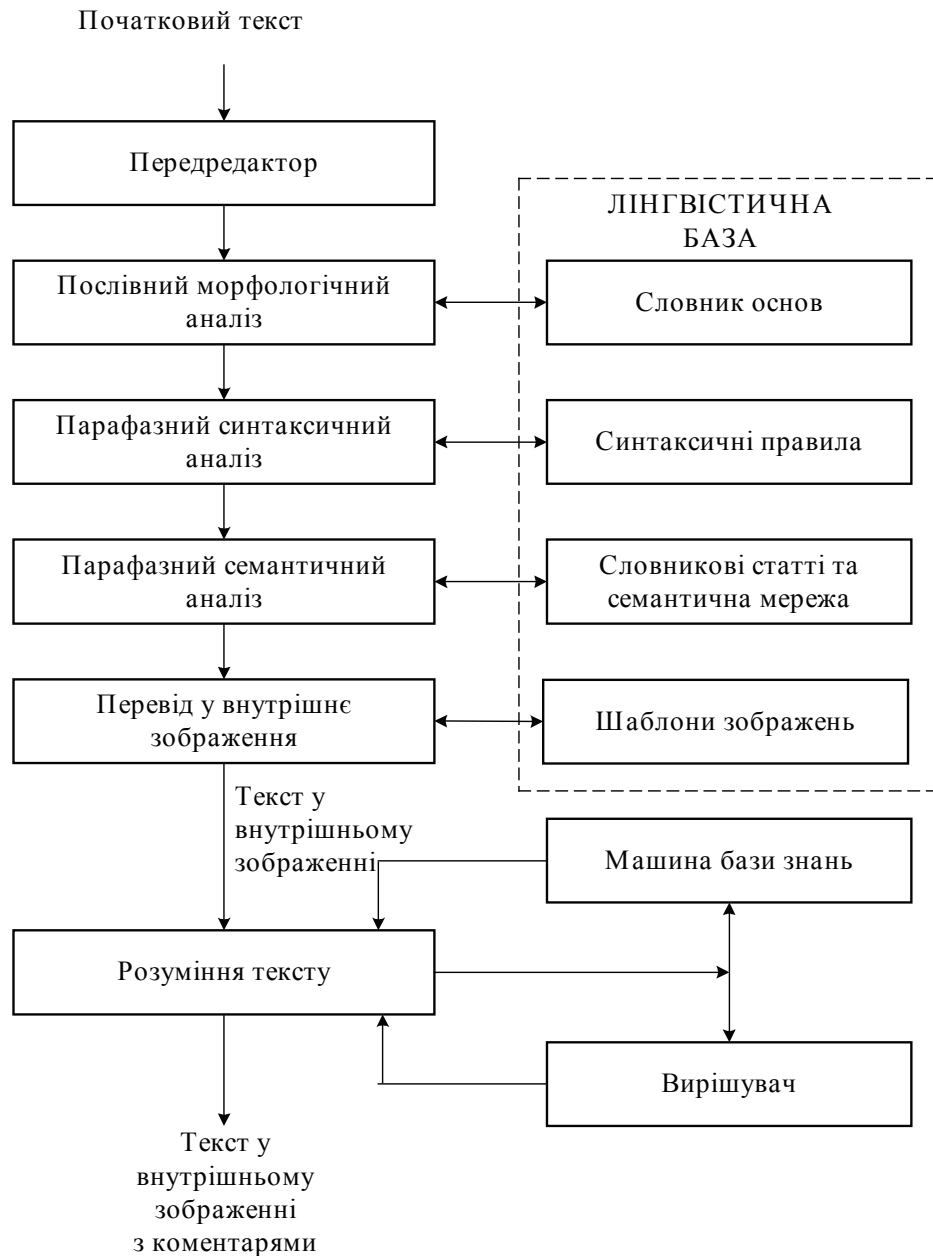


Рис. 2. Схема аналізу тексту

мову теорії алгоритмів та логічні числення. Тривалі й малоефективні спроби створення систем спілкування на природній мові показали, що всі ці засоби погано пристосовані для задач формального опису людської мови та ще й створюють непереборні труднощі під час її моделювання. Оскільки природна мова лежить у основі інтелектуальної діяльності, то й моделювання ієрархії інших шарів інтелекту наведеними засобами виявиться також неефективним.

Людська мова, як явище дискретне, очевидно, повинна описуватись засобами дискретної математики. Крім цього, природна мова багатозначна, що проявляється у вигляді омографічності слів, тобто неоднозначності їх змісту. Мови ж програмування та теорії алгоритмів можуть описувати тільки однозначні функції. Природна ж мова вимагає формальних засобів для опису багатозначних функцій, іншими словами, — відношень. Таку мову

утворюють логічні числення висловлювань та числення предикатів, які дають можливість описати мову за допомогою апарату відношень (рівнянь). Та щоб розв'язувати такі рівняння, необхідно довести числення предикатів до рівня алгебричної системи. Коли ж звернутись до апарату багатозначної ( $k$ -значної) логіки [2, 3], то в ній, на сьогоднішній день, не існує вчення про розв'язки рівнянь, а відповідний розвиток у цьому напрямку веде до алгебри скінченних предикатів [1]. Дійсно, для того щоб записувати найзагальніші рівняння  $k$ -значної логіки, у правій частині немає потреби ставити довільні формули, достатньо писати константи. По-друге, необов'язково використовувати всі  $k$  констант, достатньо взяти всього два знаки: 0 та 1, але як тільки це зроблено, то виникає поняття скінченного предиката й моделювання природної мови приходить до алгебри скінченних предикатів.

Наявність алгебри скінченних предикатів (АСП) [1–3, 11] відкриває можливість переходу від алгоритмічного опису інформаційних процесів до опису їх у вигляді рівнянь, а рівняння задають відношення між змінними. Усі змінні в рівнянні рівноправні, будь-які з них можуть виступати як у ролі незалежних, так і в ролі залежних. Алгоритми та програми описують необоротний процес роботи систем від входів до виходів, рівняння ж АСП – забезпечують у процесі роботи систем й зворотній процес: вхідні сигнали можна подати на будь-які полюси системи і, відповідно, зняти сигнал теж можна з будь-яких полюсів. При цьому рівняння дають ту перевагу перед алгоритмами, що можна розрахувати реакцію системи навіть при неповній визначеності вхідних сигналів, у той час як неповністю розроблений алгоритм є непрацездатним. По-друге, за умов зміни знань про об'єкт система рівнянь АСП, покладених на структуру системи, завжди готова до використання, а алгоритм часто вимагає докорінної зміни її структури.

Аналіз відомих робіт з моделювання механізму слова показує, що майже в усіх випадках моделі описуються на мовах теорії алгоритмів чи мов програмування. При цьому моделюються, як правило, окремі режими мовної діяльності людини: аналізу, синтезу чи нормалізації мовного повідомлення. Але людина, що володіє природною мовою, крім цих режимів здатна реалізувати практично незліченне число інших режимів мовної поведінки. Так, вона може відновити текст нечітко вимовленого мовного повідомлення, заповнити витерту букву в тексті, виправити друкарську помилку. Вона також може відновити значення частини ознак при неповному завданні тексту словоформи та відомих (наявних) значеннях деяких інших ознак.

Для здійснення повноцінної автоматизованої мовної діяльності необхідно моделювати велику кількість різних режимів оброблення слів. З ситуації, що виникла бачиться тільки один вихід: необхідно перейти від алгоритмічного опису окремих видів мовної діяльності до реляційного опису закономірностей мови, тобто відношень, які є основою керування мовної діяльності. Необхідна формальна мова, на якій можна було б записувати ці відношення у вигляді рівнянь. Нарешті, необхідні ефективні машинні методи розв'язку систем таких рівнянь [1–6].

Проте задача сприймання та видавання інформації на природній мові не вирішена й до сьогоднішнього часу оскільки спроби обробки природної мови є копіюванням задач, методів та моделей дво-значної логіки й схемотехніки, що були відомі й до створення апарату АСП. Зокрема, математичні моделі природної мови описуються паралельними алгоритмами АСП, а потім послідовно програмно обробляються на процесорах фон-Неймана; усунуто

з розгляду власне суть багатозначного ( $k$ -значного) характеру мовних повідомлень; виникають проблеми розмірності систем рівнянь АСП та методів їх розв'язування; виникають проблеми з задачами мінімізації в задачах формального синтезу схем [1–3].

### 1.3. Задачі створення та розвитку української науково-технічної термінології

Однією з сучасних задач в Україні є вирішення завдання створення, розвитку й відродження української науково-технічної термінології. Українську мову офіційно забороняли (укази Петра Першого, Валуєвський циркуляр, Емський указ), оголошували придуманою німцями, вважали діалектом російської чи польської мов, дивилися як на «хлопську», призначали її тільки для «домашнього вжитку». Її свідомо принижували, не допускали у сферу науки, техніки, на фабрики, заводи, до армії, в спорт – до тих сфер, що важливі для діяльності та повноцінного життя нації [2]. Разом з тим, фонетична розкіш, лексичне та фразеологічне багатство, синтаксична гнучкість, величезні словотворчі можливості дістали загальне визнання у Парижі (1934 р.) на всесвітньому конкурсі краси мов, де українська зайняла третє місце (на першому – французька, на другому – перська).

Найголовніше – виходити з тези: українська мова має бути мовою державною, інакшого шляху в народі, який себе поважає, нема. Українська Академія наук до її погрому (1933 рік) видала 35 українських словників з окремих галузей науки і техніки [2, 7–10].

Без перебільшення українська мова була і є однією з найбагатших у світі, зокрема й серед слов'янських. Наші академіки-словникарі не мали жодної потреби запозичувати в чужинців і склали науково-технічні словники з мовних скарбів українського народу. Українське наукове й технічне назовництво є найбільш слов'янське запоміж слов'янських, крім чеського [2].

В українському алфавіті порівняно з російським є суттєві відмінності [123]. Так, у російському алфавіті відсутні букви **ї**, **є**, **г** та апостроф; українській букві **є** відповідають **э** та **е** (електрика – электричество, театр – театр); українській букві **и** в російській графіці відповідає буква **ы** (син – сын, рити – рыть).

Наявна в російському алфавіті та відсутня в українському буква **ё** передає звукосполучення [jo] або м'якість попереднього приголосного та голошний [o]: ёлка – [jo'лка], ёжик – [jo'жик], тётка – [t'отка].

Буква «г» в українській фонетиці позначає гортанний звук, для задньо-язикового використовується буква «ґ»: грати (на бандурі); (міцні) грати, а в російській мові наявний лише задньоязиковий [г]: играть, голова, игнорировать, який передається буквою «г».

Як суттєву відміну слід зауважити тверду вимову приголосних перед буквою «е» в українській мові проте м'яку в російській: день [д'ен'] – день [д'ен'], тепер [тепе'р] – теперь [т'эп'р'].

Замість апострофа, властивого українській графіці, у російській – використовується твердий знак «ъ»: з'їзд – съезд, об'явити – объявить (але в'ялий – вялый, кров'ю – кровью оскільки в російській мові губні приголосні є м'якими).

Підкреслимо ще одну особливість, яка розмежує українську мову від російської з її прийменником «у» або «в» [2]. У російській мові прийменники «у» та «в» до того ж самого кореня дають слова не однакового, а різного значення, тоді як в українській мові такі слова мають одне значення й від зміни прийменника «у» на «в» й навпаки їх значення залишається те ж саме. Наприклад, по українськи: улетіти і влетіти – куди? – в клітку, в кімнату; уїхати, в'їхати – куди? – в двір; внести й унести – куди? – в хату тощо. А в російській мові справа стоїть цілком інакше, наприклад, улететь – откуда? – з клітки, з кімнати, а влететь – куда? – в клітку, в кімнату; уехать – откуда? – з двору, въехать – куда? – в двір; унести – откуда? – з хати, а внести – куда? – в хату тощо. Отже, для прикладу, в словах «Україна» та «Вкраїна» початкове «у» і «в» не корінні звуки, а прийменники до кореня «КРА» і можуть змінювати одне другого. Український народ належить до Адріатичної або Динарійської слов'янської раси, тому ці слова з спільнослов'янським коренем «КРА» є і в сербів, словаків, боснійців, словенів, хорватів, оскільки вони належать до тієї ж Адріатичної слов'янської раси. Отже, слова край, країна, Вкраїна і Україна – мають своїм коренем старослов'янське слово «КРА» і звідси пішло слово «УКРАЇНА», а не від «окраїна», як це твердять деякі російські ідеологи. Але, з іншого боку, значення слів «україна» та «окраїна» абсолютно різні й отожнювати їх неможливо.

Подамо наглядні приклади: вбити-убити...обити, впасти-упасти...опасти, вбігти-убігти...обігти, вскубти-ускубти...оскубти, вгнути-угнути...огнути, вмити-умити...омити, втікати-утікати...отікати, всипати-усипати...осипати, вкраїна-україна...окраїна, впадати-упадати...опадати, вкопати-укопати ... окопати, вжити-ужити...ожити, впустити-упустити ...опустити, встригти-устригити...остригити, вкраяти-украяти...окраяти тощо.

Кожна мова позичає собі слова з інших, але розвинені мови запозичують лише нові наукові та вузько-технічні слова. А російська – мала можливість позичати звичайні, щоденні: її лексика має багато слів та виразів німецьких, французьких та англійських. Так російська взяла з німецької, наприклад: абрикос (жерделя), бархат (оксамит), брендмейстер (пожежник), брюки (штани), брухт (покидьки), бунт (повстання), бурт (купа), вакса

(мастило), вал (окіп), ванна (купіль), вахта (варта), гауптвахта (вартівня), горн (ріжок), гастроль (виступ), глетчер (льодовик), глазурь (полива), камердинер (покойовий), кант (облямівка), краги (холявки), кран (затичка), лозунг (гасло), лакей (прислужник), маклер (посередник), мундштук (цибух), орден (відзнака), офіцер (старшина), обер-, унтер-офіцер (над-, підстаршина), пакгауз (комора), парта (лавка), патронташ (ладунка), пилигрим (прочанин), пушка (гармата), ранец (наплечник), траур (жалоба), фальшивий (підроблений), флюс (пухлина), флаг (прапор), флагшток (щогла), фон (тло), форпост (передова варта), фрахт (перевіз), футляр (коробка), шанцы (окопи), шахта (копальня), швейцар (двірник), шельма (крутій), шина (обруч), шкатулка (коробочка), штемпель (тавро), штиблети (черевики), штука (одиниця), штурм (наступ), штурман (стерновий), шулер (шахрай) та десятки тисяч подібних.

Крім того, російська мова взяла десятки тисяч французьких слів щоденного вжитку, наприклад [2]: азарт (запал), акомпанемент (супровід), ампула (роль), ангажемент (запрошення), анонс (оповістка), антракт (перерва), аплодисменты (оплески), апломб (самовпевненість), армія (військо), артиллерист (гармаш), артист (митець), ассортимент (набір), атака (напад), афиша (оголошення), балюстрада (поруччя), баланс (рівновага), бандаж (перев'язь), барьер (перепона), бассейн (сточисьце, водойма), бивуак (табір), блондин (русявий), бокал (келих), бонна (нянька), бордюр (окрайка), ботфорти (чоботи), брошюра (книжечка), брюнет (смаглявий), бульйон (юшка), бутылка (пляшка), бюджет (кошторис), бюст (погруддя), визит (відвідини), вуаль (серпанок), галимаття (нісенітниця), гарантія (запорука), гардина (завіса), гарнизон (залога), гувернантка (вихователька), девиз (гасло), декаданс (занепад), департамент (відділ), деталь (подробиця, частина), диссонанс (розлад), експлуататор (визискувач), експорт (вивів), елегантний (чепурний), етажерка (полиця), етикетка (наліпка), жетон (значок), интерес (зацікавлення), интимный (близький), кавалерія (кіннота), канделябр (світильник), каприз (примха, вередування), карьер (каменище), квартира (помешкання), квитанція (посвідка), колонист (поселенець), команда (наказ), коммероант (торгівець), компанія (товариство), компот (узвар), компрометація (знеславлення), коммунікат (повідомлення), константировать (стверджувати), контур (обрис), конфеты (цукерки), костюм (убрання), кошмар (жах), кулінар (кухар), куліси (лаштунки), курьер (посланець), магазин (крамниця, склад), манеры (поведінка), манкировать (ухилятися), манто (накидка), марш (похід), маршрут (розклад подорожі), медаль (відзнака), мемуари (спогади), модистка (швачка), мотив (спонука),

оранжерея (теплиця), ордер (наказ), пансион (бурса), портмоне (гаманець), пейзаж (краєвид), пьедестал (підніжжя), персона (особа), поза (постава), престиж (повага), приз (нагорода), район (округа), рапорт (звіт), режим (лад), результат (наслідок), реноме (слава, розголос), репрезентабельный (показний), репрессия (утиск), ресторан (харчевня), ресурси (засоби, запас), секрет (таємниця), серьезный (поважний), сигнал (знак), спектакль (вистава), стаж (досвід), табуретка (стілець), тираж (наклад), трактир (корчма), фаворитка (улюблениця), фамильярность (панібратство), шеф (начальник), шофер (водій) тощо.

Порівняльний аналіз морфологічної та деривативної системи української та російської мов [2] показує наявність не дуже значної різниці між ними. Проте, спільність задач, що їх вирішує будь-яка мова та частково спільні витоки, як вказувалось вище, дозволяють використати розроблені в теорії інтелекту для російської мови основні математичні моделі словозміни та словотворення в достатньою ефективністю й для української мови.

Як російській мові, так й українській властиве яскраве демутивно-емоційне стилістичне зафарбування. Ця ж особливість зберігається й для словотворчого процесу даних мов. Найпродуктивніше в ній проявляється суфіксний спосіб словотворення для іменників та прикметників, у меншій мірі – для дієслів та числівників. Не дивно, що в іменників та прикметників української мови така різноманітна система суфіксних морфем, тоді як у дієслів різноманітніша система префіксної деривації.

Отже, проблемною задачею на сучасному етапі є вирішення завдання створення, розвитку й відродження української науково-технічної термінології, що в силу історичних обставин, є у значній мірі зрусифікованою, а також спотвореною навіть на рівні елементарної фонетики. *Мова ж є однією з головних прикмет нації, а культ нації – другим після релігії джерелом сили народу.* Розвиток та широке застосування рідної мови є тим важелем, що формує й породжує національну культуру і науку, виробництво та економіку. Нав'язування і використання чужомовної термінології веде до несприйняття суспільством новітніх технологій, занепаду культури та розпаду державності. Все це викликає потребу переосмислення нагромаджених фактів, зосередження зусиль на створенні нового теоретичного каркасу, у рамках якого отримали б розвиток та пояснення всі наявні знання у галузі інтелектуалізації ЕОМ на користь України.

#### 1.4. Шляхи автоматизації обробки мовної інформації

У даний час в системах штучного інтелекту машинний словник та комплекс програм (тезауруси) використовуються, як правило, для виконання будь-якої однієї функції: у вигляді аналізу деякого

повідомлення, його синтезу, виправлення помилок, нормалізація тощо. Розрізнене моделювання несхожих функцій породжує серйозні труднощі зі стиковкою процедур й знань у рамках підсистеми інтелектуального інтерфейсу (ІнІн) повної системи ШТІ, що виконує як аналіз так і синтез повідомлень на ПМ. Як правило, стає неможливим використання процедур однієї системи у складі інших систем. Вказані обставини приваблюють увагу до створення комплексних моделей, які реалізують здібності людини до сприйняття та видавання інформації у вигляді текстів на ПМ. Остане можливо завдяки запропонованим та модифікованим у роботі оборотним  $k$ -значним перемикальним ланцюгам просторового типу.

Отже, місце даного дослідження, щодо проблеми у цілому є наступне: представити укрупнену структуру ІнІн та виявити підсистеми (методи, структури, алгоритми), розробка яких забезпечить її функціонування.

Один із таких підходів до побудови подібних моделей передбачає виявлення та опис лінгвістичних відношень на фонетичному, морфологічному, синтаксичному та семантичному рівнях. Опис таких відношень робимо у вигляді формул (рівнянь) диз'юнктивно – кон'юнктивно алгебри предикатів. Тоді рішення конкретних задач аналізу, синтезу текстів та інші інтерпретуємо як підставлення відомих значень змінних до рівнянь і визначення невідомих [1–6, 11, 12].

Таким чином, будемо природну мову уявляти як математичний об'єкт (якась алгебра). При цьому смисл (зміст) думок можна висловити реченнями і текстами, що з точки зору їх математичної природи будемо розглядати як предикати. Наша відправна точка у даних міркуваннях: думки – це предикати. Таким чином, кожне речення виражає деяку функцію з двійковим значенням, тобто задає деякий предикат  $P(x) = \lambda$ . Незалежною змінною  $x$  даної функції буде змінна ситуація, залежною – істинна змінна  $\lambda$ . Після підставлення замість змінної  $x$  конкретної постійної ситуації  $x = a$  задане речення стає істинним ( $\lambda = 1$ ) або хибним ( $\lambda = 0$ ). Це залежить від того чи відповідає чи ні зміст цього речення ситуації  $a$ , до якої воно віднесено. А що означає змінна ситуація  $x$ ? Вона повинна удавати з себе набір  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  предметних змінних  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , як запропоновано вище. Будь-яка постійна ситуація  $x = a$  повинна бути набором  $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  деяких предметів  $x_1 = a_1, x_2 = a_2, \dots, x_m = a_m$ . Таким чином кожне речення повинно висловлювати деякий предикат  $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = \lambda$ , що представляє залежність істинної змінної від предметних змінних  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Проте будь-яке речення за природно-мовною формою відрізняється від математичної формули тим, що виражає не усю функцію  $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , а тільки її ім'я  $P$ . І це так, бо кожен

раз, коли людина перетворює те чи інше речення у відповідну до нього думку вона добудовує його до предикату. При цьому вона додає до нього (як до ім'я предикату) відсутні предметні змінні. Тільки після цього речення стає доступним для розуміння. Та, навпаки, перетворюючи деяку думку у речення, людина виключає з неї предметні змінні, що дозволяє передавати іншим людям не саму думку, а лише її ім'я. Продемонструємо сказане на прикладі, у якому зробимо доповнення речення предметними змінними.

Нехай маємо деяке речення, наприклад:

*«На майдані стоїть церква».* (1)

Визначимо число предметів про які йде мова у реченні (1). Очевидно, що таких предметів два: один характеризується словом «майдан», а інший – словом «церква». З множини  $Q$  виберемо будь-які дві предметні змінні, наприклад  $q_1$  і  $q_2$ , та введемо їх до речення (1) після зазначених слів. В результаті отримаємо наступне твердження:

*«На майдані  $q_1$  стоїть церква  $q_2$ ».* (2)

Воно висловлює зараз не лише ім'я предиката, як початкове речення (1), але й сам предикат з його аргументами  $q_1$  і  $q_2$ . Речення, що доповнено предметними змінними, будемо називати висловленням. Саме так називають будь-яке твердження в математичній логіці, що виражається предикатом.

Додамо до речення (1) ще одне

*«Поряд з нею квітне бузок».* (3)

що утворює спільний текст. У реченні (3) мова йде також про два предмета. Перший з них зазначено займенником «нею», другий – іменником «бузок». Із контексту (контекстом для речення (3) є речення (1)) очевидно, що слово «нею» може бути замінювачем слова «церква», що стосується предмета  $q_2$ , який фігурує у реченні (1). Слово «бузок» вводить третій предмет, що відрізняється від двох перших. У якості нової предметної змінної беремо  $q_3$ . В наслідок отримаємо висловлення

*«Поряд з церквою  $q_2$  квітне бузок  $q_3$ ».*

Зазначимо, що речення «Поряд з церквою квітне бузок» стає двозначним, якщо його розглядати поза контекстом та без змінних  $q_2$  і  $q_3$ . У даному випадку не можна однозначно визначити про яку конкретно церкву йде мова: про ту ж саму, що й в реченні (1) (тобто предмет  $q_2$ ) або про деяку іншу (наприклад, предмет  $q_3$ ). Ще більш багатозначним сприймається речення (3). У ньому слово «нею» можна віднести до будь-якого предмету, а не лише до церкви. Але якщо ввести предметні змінні, то подібні неоднозначності повністю можна усунути. Цей факт наявно демонструє необхідність доповнення речень предметними змінними для можливості їх однозначного розуміння. Однак наш перехід від речень до відповідних висловлювань повністю опирається на інтуїцію людини, що володіє українською

мовою. Формальний перехід також можливий: лише на основі аналізу тексту речення і навколишнього контексту без звернення до їх смислу. Ця задача дуже складна і очікує свого розглядання. Проте без її рішення неможлива автоматизація процесу розуміння текстів природної мови та побудова інтелектуального інтерфейсу взагалі [1–3, 11].

## 2. Лексикографічний аспект

### 2.1. Лексикографічні засоби моделювання природної мови

Мова – основа мислення, інтелектуальна діяльність без мови неможлива. Прояви мови вкрай складні і різноманітні, їх вивчають багато наукових дисциплін – морфологія, синтаксис, лексикологія, семіотика, стилістика та ін. вибираємо Для математичного опису вибираємо морфологію мови, тобто учення про граматику окремо взятого слова. Слово – це “атом” мови, щось первинне і найпростіше в мові. І проте, навіть окремо взяте слово надзвичайно складний об'єкт для математичного опису.

Лінгвістичні праці містять неформалізовані описи морфологічних явищ, що складно перекласти на математичну мову. Людина здатна розуміти їх «з півслова». Крім того, людина, що не приступала до вивчення морфології, фактично уже володіє мовою, морфологічні явища їй знайомі з власної мовної практики. Математичні описи морфології мови, які адресовані обчислювальній машині, повинні бути зрозумілі їй. Однак рівень «інтелекту» обчислювальної машини в порівнянні з людським надзвичайно малий. Обчислювальна машина в сенсі мовних здібностей – “чиста дошка”, ніякими мовними навичками вона не володіє. Це веде до того, що неформалізовані описи, що містяться в посібниках з морфології мови, обчислювальній машині зовсім незрозумілі, недоступні їй. До цих описів повинно бути додано ще дуже багато чого, перш ніж машина зможе їх сприйняти й освоїти [7].

Один із розділів, що вивчає застосування математичних моделей для опису лінгвістичних закономірностей являється комп'ютерна та прикладна лінгвістика. Лінгвістику в широкому сенсі слова (пізнання мови і передача результатів цього пізнання іншим людям) можна розділити на наступні напрямки:

– теоретична лінгвістика (наукова), передбачає побудову лінгвістичних теорій, розглядає всі аспекти і проблеми, пов'язані з мовою, склад і вживання, загальні закономірності пристосування та розвиток мови;

– прикладна лінгвістика, спеціалізується на вирішенні практичних завдань, пов'язаних з вивченням мови, а також на практичному використанні лінгвістичної теорії в інших областях. *Наприклад*, методика навчання рідної та нерідної мови, лексикографія, переклад, дешифрування,

орфографія, транслітерація, розробка термінології і тому подібне;

– практична лінгвістика, є сферою, де реально проводяться лінгвістичні експерименти, що мають на меті верифікацію положень теоретичної лінгвістики та перевірку ефективності продуктів, що створюються прикладною лінгвістикою. Наприклад, навчання дітей рідній мові, вивчення іноземної мови, переклад, викладання рідної та іноземної мови, літературне редагування, коректура, практична логопедія, побутова і художня словотворчість, мовна політика, створення нових писемностей і навчання грамоті, і тому подібне [7].

Основними напрямками прикладної лінгвістики, які пов'язані з практичними впровадженнями, є наступні:

- 1) комп'ютерна лінгвістика;
- 2) лінгвістична експертиза;
- 3) наука про впорядкування та стандартизацію науково-технічної термінології.

Серед важливих напрямів прикладних робіт у галузі комп'ютерної лінгвістики слід назвати корпусну лінгвістику (створення та використання електронних корпусів текстів), машинний переклад, системи пошуку та класифікації, автоматичне розпізнавання символів (системи автоматичної корекції правопису, такі як автокоректори, спелчекери і так далі); автоматичне реферування текстів (системи авто реферування); створення електронних словників, тезаурусів, онтологій (електронні одномовні та перекладні словники загального вжитку: тлумачні, орфографічні, термінологічні тощо); автоматичне розпізнавання мови (системи акустичного розпізнавання і синтезу мовлення); оптичне розпізнавання символів (системи оптичного розпізнавання); логічний аналіз текстів (системи логічного аналізу змісту текстів та локалізації знань).

Розглянемо деякі з основних напрямів комп'ютерної лінгвістики більш детально і з'ясуємо, яке місце посідають у системах обробки природної мови граматичні (морфологічні) підсистеми.

*Корпусна лінгвістика* займається розробкою, створенням і використанням текстових (лінгвістичних) корпусів. Під лінгвістичним корпусом текстів розуміємо великий, структурований, розмічений, філологічно компетентний масив мовних даних, представлений в електронному вигляді й призначений для розв'язання різних лінгвістичних завдань [7- 10]. Лінгвістичний корпус текстів доповнюється системою керування даними – універсальними програмними засобами для пошуку різноманітної лінгвістичної інформації та зручного представлення її користувачеві [7]. Важливим при створенні лінгвістичних корпусів вважається поняття розмітки. Головною задачею розмітки є відмежування корпусів текстів від звичайної

сукупності електронних текстів за допомогою мітки (індикатора), яка буває різних типів:

- а) зовнішня (зазвичай, це елементи бібліографічного опису: видання, рік, автор, тощо);
- б) структурна (описують структуру тексту: розділ, абзац, речення ...);
- в) лінгвістична (морфологічна (включає не тільки ознаки частини мови, але й ознаки граматичних категорій, властивих даній частині мови);
  - 1) синтаксична;
  - 2) семантична;
  - 3) анафорична;
  - 4) просодична (мітки, що описують наголос та інтонацію)).

Серед різних видів розмітки основною є морфологічна розмітка. Необхідними для її виконання є морфологічний аналізатор текстових слівформ на основі граматичного словника та алгоритми автоматичного усунення граматичної омонімії. Виконання цих етапів значно полегшує подальшу обробку текстів.

*Машинний переклад* – технологія перекладу текстів з однієї природної мови на іншу за допомогою спеціальної комп'ютерної програми. Під час машинного перекладу можна зустрітись з такими проблемами:

- проблема створення великих словників для систем;
- проблема навчання системи розпізнавання стійких виразів;
- проблема запису всіх правил побудови речення і перекладу у вигляді програми.

Щоб отримати текст для перекладу (текст-оригінал), слід почати з аналізу тексту. Аналіз тексту необхідно розбити на чотири модулі: передморфологічний, морфологічний, контекстний, синтаксичний. Після аналізу застосовуються алгоритми перекладу. Для перекладу використовуються автоматичний багатомовний перекладний словник та перекладний словник словосполучень. Наступний етап – це синтез вихідних слівформ та речення в цілому на вихідній мові. Синтаксис кожної мови має свої особливості. Наприклад, те, що в українському реченні - підмет, в іншій мові може (або повинно) бути виражено доповненням, а доповнення, навпаки, має перетворитися у підмет; те, що в одній мові позначається групою слів, перекладається на іншій всього одним словом. У зв'язку з цим в машинну пам'ять крім наборів синтаксичних правил для кожної мови «вкладають» і правила перетворення синтаксичних структур. До цього додають правила переходу від вже перетвореної структури до речення тієї мови, на яку роблять переклад.

*Інформаційно-пошукова система* забезпечує пошук і відбір необхідних даних у спеціальній базі з описами джерел інформації на основі

інформаційно-пошукової мови і відповідних правил пошуку. Основні функції:

- зберігання великих обсягів інформації;
- швидкий пошук необхідної інформації;
- внесення, видалення та зміна інформації, що зберігається;
- подання вихідної інформації в зручному для людини вигляді.

Розрізняють: автоматизовані (computerised); бібліографічні (reference); діалогові (online); документальні і фактографічні інформаційно-пошукові системи.

Всю сукупність методів аналізу тексту можна розділити на дві великі групи: лінгвістичний аналіз, статистичний аналіз. Перший орієнтований на отримання сенсу тексту за його семантичною структурою. Другий – за частотним розподіленням слів у тексті.

Лінгвістичний аналіз можна розділити на чотири взаємодоповнюючих аналізи:

- лексичний аналіз полягає в розділенні текстової інформації на окремі абзаци, речення, слова, визначенні національної мови викладення, типу речення, виявленні типу лексичних виразів і т.д.;

- морфологічний аналіз зводиться до автоматичного розпізнавання частин мови кожного слова тексту. Часто морфологічний аналіз використовується в статистичних методах аналізу для попередньої процедури обробки документів – приведення слів до базової форми;

- синтаксичний аналіз полягає в автоматичному виділенні семантичних елементів речення – іменних груп, термінологічних цілих, предикативних основ;

- семантичний аналіз полягає у визначенні інформативності текстової інформації та виділенні інформаційно-логічної основи тексту.

Дослідження впливу різних алгоритмів морфологічного аналізу на якість інформаційного пошуку в текстах на різних мовах дозволяють зробити висновок, що запровадження морфологічних модулів у пошукові системи дозволяє збільшити повноту і точність інформаційного пошуку [7 – 10]. Яскравим прикладом таких систем є програмні продукти серії Yndex (Языковой index) – набір засобів повнотекстової індексації й пошуку в текстових даних з урахуванням морфології російської мови [7].

Для більш ефективної роботи вище перерахованих алгоритмів скрізь використовували модуль морфологічного аналізу, основними функціями якого є:

- граматична ідентифікація словоформи;
- отримання канонічної форми для будь-якої словоформи;
- отримання повної словотвірної парадигми для будь-якого відмінюваного слова.

## 2.2. Морфологічний аналіз в системах обробки природної мови

Для мов флективного типу, які мають багату словозмінну парадигму, серед задач граматичної ідентифікації складним і праце містким завданням є формалізація процесів лексичної парадигматизації та лематизації, а саме отримання повного списку словоформ певної лексеми в усіх граматичних значеннях і виведення вихідної словоформи з будь-якої текстової словоформи [2, 7-10].

Морфологія описує не тільки формальні властивості слів та утворюючих їх морфем, але і ті граматичні значення, які виражаються всередині слова. Відповідно до цих двох задач, морфологію часто поділяють на дві області: «формальну» морфологію, або *морфеміку*, в центрі якої знаходяться поняття слова і морфеми, і *граматичну семантику*, що вивчає властивості граматичних морфологічних значень і категорій (морфологічно виражаємо словотворення і словозміну мов світу).

У розробці морфологічного аналізу виділяють кілька напрямків. Один з них моделює класичну схему аналізу шляхом поділу словоформи на основу і можливе закінчення з подальшою перевіркою на сумісність закінчення з основою, яка залишається. Інший напрям використовує інформацію, що міститься в кінцевих буквосполученнях. Ця інформація отримується в результаті попередньої статистичної обробки словника. Третій напрямок широко розвивається в останні роки. На цьому напрямку створюються універсальні математичні моделі морфології у формі відкритих систем рівнянь, які дозволяють шляхом обчислення, здійснювати нормалізацію словоформ, отримання граматичної інформації та синтез словоформ.

В основу побудови алгоритмів морфологічного аналізу покладено розділення всіх слів на класи, що визначають характер зміни літерного складу форм слова. Ці класи можуть бути названі морфологічними. Зміни форм слів може носити різний характер. Вони можуть бути пов'язані як зі зміною основи слова, так і зі змінами його закінчення. Зміна букв складу основ має місце, наприклад, в наступних парах: *око* – *очі*, *книга* – *книзі*, *садити* – *саджу*, *носити* – *ношу*, *ладжу* – *ладити*. Зміна закінчень є основним способом утворення різних форм слів.

Найпоширеніші види морфологічного аналізу:

- морфологічний аналіз зі словником основ;
- морфологічний аналіз зі словником словоформ;
- морфологічний аналіз методом логічного множення;
- морфологічний аналіз без словника, за допомогою таблиць.

Найбільш поширеним видом автоматичного морфологічного аналізу є *аналіз зі словником основ*,

що використовується для більшості європейських мов. В цьому виді аналізу використовується словник основ слів і ряд допоміжних таблиць. У словник включені основи простих і складних слів без внутрішньої флексії. Якщо слово має кілька форм основ, то в словник, як правило, включені всі форми основ слів.

*Морфологічний аналіз зі словником словоформ* також досить поширений. Із загальних міркувань він застосовується тоді, коли морфологія даної мови досить бідна. Крім того, на перший погляд здається, що алгоритм аналізу зі словником словоформ простіший, ніж алгоритм роботи зі словником основ: не треба здійснювати членування вхідної словоформи на морфеми з послідовним пошуком за словником. Але насправді при аналізі зі словником словоформ залишається наступна проблема – аналіз не знайдених у словнику слів. Визначення деякої інформації для слова, не виявленого в словнику, є необхідним для подальшого аналізу. Якщо кожна словоформа буде виступати як самостійна лексична одиниця, то це істотно ускладнить весь подальший аналіз і синтез. Словоформи одного слова повинні бути позначені як такі. Це означає, що система морфологічного аналізу зі словником словоформ повинна мати список афіксів, коренів (основ) слів і інші необхідні атрибути для ідентифікації різних словоформ однієї і тієї ж лексичної одиниці.

*Морфологічний аналіз методом логічного множення* застосовується до флективних мов і передбачає наявність словника основ. Сутність методу і застосування його до конкретних мов можна побачити на прикладі алгоритму аналізу російських словоформ, запропонованого угорським фахівцем Д. Варгою. Спочатку відбувається пошук слова у словнику основ. Якщо слова, що мають закінчення, не знаходяться в словнику, тоді від кожного такого слова відкидається по одній букві праворуч і пошук повторюється. При негативній відповіді відкидається наступна буква і т.д. Відкинуті літери утворюють закінчення і фіксуються. Кожна відкинута буква вважається елементарною одиницею морфологічного аналізу. Їй приписується булевий вектор – сукупність нулів і одиниць, компонентів цього вектора. Число компонентів цього вектора дорівнює числу граматичних категорій, які можуть бути виражені закінченням, частиною якого є дана буква. Оскільки попередньо був проведений пошук за словником основ і встановлена частина мови аналізованого слова, є можливість однако-вим буквам, що входять до закінчення різних частин мови (наприклад літерам в закінченні іменника і прикметника) приписувати різні вектори.

*Морфологічний аналіз без словника*, або так званий «незалежний» аналіз, проводиться без звернення до словника, тільки за рахунок використання

таблиць афіксів і особливого списку слів, які не мають граматичного значення. Такий спосіб використовується досить рідко.

Сучасний стан морфологічного аналізу характеризується тим, що сильно збільшилися вимоги до якісних показників систем автоматичної переробки тексту.

Елементи морфологічного аналізу досить сильно виражені навіть в мовах з граматичним складом, що істотно відрізняються від складу європейських мов. Морфологічний аналіз китайської мови, наприклад, передбачає процедуру аналізу односкладових і двоскладових китайських слів на рівні, близькому до рівня морфем.

Зазначимо, що вибір представленої багаторівневої програмної архітектури та використання інструментальних засобів платформи .Net Remoting стали базою для створення в Українському мовно-інформаційному фонді НАН України лексикографічної системи). На базі розробленої системи виконуються різноманітні лінгвістичні дослідження, програмний комплекс використовується як додатковий інструмент при розробці нових лексикографічних систем [7–10].

## Висновки

Таким чином, приходимо до розуміння одного з варіантів створення систем ШТІ – це симбіоз двох шляхів: перший – це аналіз, моделювання та синтез мовного інтелектуального інтерфейсу за допомогою засобів  $k$ -значної логічної системи, зокрема, алгебри скінченних предикатів (АСП) та  $k$ -значних структур і кодування, а другий – це за допомогою лексикографічних систем та технологій [11].

*Теоретичне значення роботи* полягає в тому, що в ній запропоновані та розроблені теоретичні основи побудови та проектування моделей ПМ-інформації з онтолого-керованою архітектурою, які застосовуються, в тому числі, для побудови онтологічних баз знань предметних областей, їх системної інтеграції з метою проведення складних міждисциплінарних досліджень та вирішення розкладних задач користувачів, що представляється значущим вкладом у розвиток прикладної теорії інженерії знань.

*Практичне значення одержаних результатів* полягає в наступному. Отримані в роботі наукові результати створюють методологічну базу для розробки ефективних підходів аналізу і синтезу ОКІС з обробкою предметно-орієнтованих знань, які дозволяють підвищити ефективність обробки великих обсягів текстової інформації, рівень автоматизації побудови онтологічних баз знань для довільних (у науково-технічній сфері) предметних галузей.

Вказані теоретичні результати використані при розробці цілого ряду онтологічних систем у

науково-технічній сфері та освіті та дозволяють на підставі принципу симбіозу двох запропонованих підходів будувати тлумачні словники різноманітних ПМ-інформаційних баз даних, баз знань та відповідних просторових структур.

Типові рішення найбільш трудомістких процедур граматичного аналізу (морфологічного аналізу і побудови відповідних АСП-структур) та їх технічні рішення захищено патентами України та РФ. Результати даної роботи використані при виконанні науково-дослідних проектів в Українському мовно-інформаційному фонді НАН України та при підтримці забезпечення навчального процесу для окремих предметних дисциплін у Харківському національному університеті радіоелектроніки.

**Список літератури:** 1. Четвериков Г.Г. Формалізація принципів та методів побудови універсальних  $k$ -значних структур мовних систем штучного інтелекту // Доповіді НАН України. – 2001. – №1 (41). – С. 76–79. 2. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії синтезу надшвидкодійних структур мовних систем штучного інтелекту. – К.: Наукова думка (ІЗМН), 1997. – 264 с. 3. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії багатозначних структур і кодування в системах штучного інтелекту. – К.: Наукова думка, 2003. – 336 с. 4. Пат. 14935 А. Україна, МКВ Н 03 К 19/08. Функціональний перетворювач / М.Ф.Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г.Четвериков (Україна). – №96010250; Дата подання 22.01.96; Опубл. 30.06.97, Бюл. №3. – 4 с. 5. Пат. 20462 А. Україна, МКВ Н 03 К 19/02. Двовходовий багатозначний логічний елемент / М.Ф.Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г.Четвериков (Україна). – №97031289; Дата подання 20.03.97; Опубл. 15.07.97, Бюл. №3. – 4 с. 6. Пат. 2147789 РФ, МКВ Н 03 К 19/02, Н 03 М 1/00. Функціональний преобразователь с многозначным кодированием / М.Ф.Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г.Четвериков (Україна). – №97101717/09; Заявл. 04.02.97; Опубл. 24.04.2000, Бюл.№11. – 6 с. 7. Корпусна лінгвістика / Широков В.А., Бугаков О.В., Грязнухіна

Т.О., Костишин О.М., Кригін М.Ю., Любченко Т.П., Рабулець О.Г., Сидоренко О.О., Сидорчук Н.М., Шевченко І.В., Шипнівська О.О., Якименко К.М. – К. – Довіра, 2005. – 473 с. 8. Широков В.А. Інформаційна теорія лексикографічних систем. – К.: Довіра, 1998. – 331 с. 9. Широков В.А. Феноменологія лексикографічних систем. – К.: Наук. думка, 2004. – 327 с. 10. Широков В.А. Елементи лексикографічних систем. – К.: Наук. думка, 2004. – 327 с. 11. Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. Теорія інтелекта. – Ч.3: Проблеми і перспективи. – Харків: Вища школа, 1987. – 160 с. 12. Бондаренко М.Ф. Мозгоподобные структуры: справочное пособие. – К.: Наукова думка, 2011. – 460 с.

*Надійшла до редколегії 24.07.2014*

УДК 519.62

**Алгебрологические и лексикографические аспекты моделирования естественного языка / Г.Г.Четвериков // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 3–14.**

Статья посвящена вопросу организации данных и эффективного выбора программных и технических средств для разработки языково-информационных интерфейсов и проектов. Дан анализ тенденций моделирования механизмов естественных языков. В статье также изложены принципы и методы построения многоходовых универсальных  $k$ -значных пространственных структур языковых систем искусственного интеллекта.

Ил. 2. Библиогр.: 12 назв.

UDC 519.62

**Algebra's logical and lexicographical aspects of modeling natural language / G.G.Chetverykov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 3–14.**

The paper is devoted to the problems of data structure organization and effective choice of software and technical solution for developing of the linguistic-informational interfaces and projects. The trend analysis of modeling natural language was imposed. The principles and methods of designing universal multiple-valued space structures of artificial intelligence were set out in this paper.

Fig. 2. Ref.: 12 items.

УДК 81'322. 2'33



О. В. Лазаренко

ХГУ «НУА», г. Харьков, Украина, lazolvlad@gmail.com

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОНИМАНИЯ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВАРИАНТНОЙ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМЕ АВТОРЕФЕРИРОВАНИЯ

Предложена процедура построения инвариантной репрезентации ситуации с использованием текстовых баз, ситуационных моделей и модели заголовка для смыслового анализа текста в системе автоматического реферирования.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕФЕРИРОВАНИЕ, ТЕКСТОВАЯ БАЗА, СИТУАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ИНВАРИАНТНАЯ РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ

### Введение

Работа над созданием искусственного интеллекта (ИИ) длится не первое десятилетие. Однако ключевая задача — научить компьютеры работать подобно человеческому мозгу — так же далека от своего решения, как и раньше. Одна из причин такого положения состоит в том, что разработчики ИИ (по мнению известного разработчика компьютеров в Силиконовой долине Джеффа Хокинса) «хотят достичь поставленной цели, обойдя вниманием вопрос о сути разума, о том, что означает слово “понимать”... Этим самым они “выплеснули с водой ребенка” — создавая мыслящие механизмы, забыли о разуме! Но все попытки создания искусственного интеллекта без учета особенностей естественного обречены на провал» [1].

Сравнивая работу человеческого мозга с работой компьютера, Дж. Хокинс задался вопросом — *какая составляющая разума отсутствует в компьютере?*

В поисках ответа на этот вопрос в августе 2002 года он открыл научно-исследовательский центр по изучению мозга, в котором первостепенное значение уделили изучению неокортекса — части головного мозга человека, ответственной за интеллект [1].

В ходе изучения неокортекса были обнаружены определенные особенности его работы, среди которых для нас представляет особый интерес способность мозга использовать инвариантные репрезентации объекта с сохранением его наиболее важных признаков на основе относительных измерений, пропорций и других характеристик, в которых возможны существенные упущения в сравнении с конкретным образом. Оказалось, что мозг запоминает важные взаимосвязи внешнего мира, а не привязывается к отдельным его элементам.

Аналогичным образом действует человеческий мозг и при чтении текстовой информации. Согласно гипотезе, выдвинутой голландским ученым А. ван Дейком, при чтении текста люди часто обрабатывают информацию не полностью или неточно и, тем не менее, понимают текст. «Языковому пользователю нет необходимости дожидаться конца абзаца, главы или целого текста, чтобы понять, о чем идет речь в тексте или в его фрагменте, ... пользователь

языка может догадаться о теме текста уже после минимума текстовой информации из первых пропозиций. Догадку может подтвердить самая различная информация: заглавие, тематические слова, тематические первые предложения...» [2], то есть наиболее важные аспекты и их взаимосвязи.

В процессе работы над созданием интеллектуальной системы автоматического реферирования [3] нами были исследованы различные аспекты процесса понимания текста [4, 5]. В результате мы пришли к выводу о необходимости разработки не только ситуационных моделей, позволяющих уйти от использования таких сложных хранилищ знаний как онтологии, но и *инвариантных репрезентаций ситуаций*, представляющих собой наборы наиболее важных признаков, выделенных на основе относительных характеристик ситуаций, в которых возможны существенные упущения в сравнении с конкретной ситуацией, описываемой в конкретном тексте. Все это позволит, на наш взгляд, не только упростить автоматизацию процесса понимания текстов, но и глубже разобраться в механизмах понимания текста человеком.

Основной *целью* наших исследований на этом этапе стала разработка процедуры построения ситуационных моделей текстов и инвариантных репрезентаций ситуаций на базе этих моделей. Для достижения поставленной цели, опираясь на построенные ранее семантико-контекстную модель текста, модель заголовка, модель реферата и разработанную процедуру построения текстовых баз с учетом влияния каждой из них на анализ смысла текста, нами была разработана процедура выделения наиболее важных смысловых составляющих определенной ситуации, образующих инвариантную репрезентацию ситуации.

### 1. Моделирование процесса реферирования

Цель наших исследований состоит в изучении процедуры реферирования, моделировании процесса реферирования, его формализации и создании на основе разработанных формализмов системы автоматического реферирования (АР) с опорой на знания.

Работа по созданию системы автоматического реферирования предполагала исследование наиболее общих закономерностей реферирования, выраженных в конечном продукте — реферате, т. е. на начальном этапе была сознательно допущена теоретическая и эмпирическая неполнота. С тем, однако, чтобы в дальнейшем, оттолкнувшись от понимания изученных закономерностей, расширить область исследования.

В результате моделирование процесса реферирования было сведено к нескольким самостоятельным, но взаимообусловленным задачам, решение которых осуществлялось поэтапно.

1 этап. Изучение особенностей синтаксической и семантической структур реферата. Моделирование компрессии на всех уровнях. Построение модели унифицированного реферата. Разработка алгоритма наполнения модели реферата соответствующей семантикой.

2 этап. Разработка процедуры семантического анализа текста с целью сжатия его смысла в процессе реферирования. Построение семантико-контекстной модели реферирования, включающей модель заголовка и текстовую базу. Выбор средств представления знаний в системе автоматического реферирования.

3 этап. Совершенствование технологии построения текстовой базы с использованием методов когнитивной лингвистики. Разработка процедуры построения ситуационных моделей и инвариантной репрезентации ситуации, обеспечивающих глубинный анализ смысла текста.

Проведенные исследования синтаксической и семантической структуры реферативных предложений позволили построить модель реферата в виде типовых для индикативных рефератов семантико-синтаксических конструкций и сформулировать правила порождения реферативных предложений.

Разработанная модель была положена в основу первой версии компьютерной программы АвтоРеферат, в которой осуществлялось порождение реферативного предложения, но пока без глубинного анализа смысла первичного текста.

Анализ результатов работы программы показал правильность порождения реферативных предложений в соответствии с разработанной моделью реферирования, и, как и ожидалось, указал на смысловую неполноту этих предложений и необходимость более глубокого смыслового анализа первичного текста, что составило задачу второго этапа исследований.

Для решения этой задачи необходимо было перейти к изучению семантических отношений исходного текста и реферата и построению модели представления знаний в системе автоматического реферирования.

Нами была разработана семантико-контекстная модель, включившая в себя заголовок,

являющийся концентрированным выражением смысла исходного текста; текстовую базу, являющаяся «информационным ядром» текста, содержащим информацию, зависящую от ситуации, описанной в тексте, и онтологии, содержащие независимую от ситуации информацию: онтологию верхнего уровня, онтологию общенаучной лексики и онтологии предметных областей.

По нашему мнению, анализ содержания текста должен включать анализ заголовка. Заголовки пишутся максимально сжато, лаконично, в них опущены все семантически второстепенные элементы. Следовательно, идет речь о компрессии содержания текста в максимальной степени. Поэтому мы рассматриваем заголовок как реферат минимального объема или как текст с максимальным уровнем обобщения содержания. Сравнительный анализ компрессии в заголовке и реферате позволил отследить четкое продолжение процедуры свертывания (компрессии) в заголовке в сравнении с процедурой компрессии в реферате как на семантическом, так и на синтаксическом, уровнях. При сохранении тех же смысловых составляющих в реферате и в заголовке они имеют свои синтаксические и грамматические особенности их выражения, повышающие уровень компрессии текста заголовка.

На базе выявленных аналогий была предложена модель заголовка, отражающая сходство его с рефератом, с целью более эффективного использования этой модели в процессе автоматического реферирования.

Наличие одних и тех же семантических компонентов в заголовке, реферате и тексте, являющихся разными формами выражения понятия, позволили описать смысловые структуры словосочетаний на разных уровнях компрессии информации. Однако для этого необходимо было использование онтологий предметных областей и общенаучной лексики. Это послужило основанием для включения в разрабатываемую нами систему автоматического реферирования онтологий как средства представления знаний.

В процессе анализа текста с целью выбора необходимой для построения реферата информации мы оказались перед необходимостью отбора тех предложений, которые содержат указания на объект, результат, цель и метод, т. е. смысловые аспекты, образующие смысловую структуру реферата. Выбор этих предложений представляет определенные трудности в силу разнообразия описания этих аспектов в исходном тексте.

Проанализировав ситуацию, мы пришли к выводу о необходимости поэтапного приближения к выбору необходимых предложений из текста. Поскольку предложений, указывающих на определенный смысловой аспект, может быть несколько, целесообразно выделить их из текста в текстовую базу, которая представляет

собой расширенное информационное ядро текста. Анализ заголовка, слов-указателей на смысловые аспекты и предложений из текстовой базы позволяет выбрать необходимую информацию для реферата.

В соответствии с концепцией понимания, предложенной в работах голландского лингвиста ван Дейка, для описания глобального содержания текста необходимо построение схемы, обеспечивающей «быстрый анализ поверхностных структур и выстраивание относительно простой и жесткой семантической конфигурации». Такие структуры текста (называемые макроструктурами) представляют собой обобщенное описание основного содержания дискурса, которое читатель строит в процессе понимания, и являются фактически рефератом или резюме. Предполагается, что последовательно применяя макроправила, можно построить формальный переход от исходного текста к реферату, состоящему из нескольких предложений. К числу таких правил относятся правила сокращения (несущественной информации), обобщения (двух или более однотипных пропозиций) и построения (т. е. комбинации нескольких пропозиций в одну), что, по сути, оказалось эквивалентно построенным нами моделям компрессии текста и модели реферата.

Построение макроструктур читающими – это одна из разновидностей, так называемых, стратегий понимания дискурса.

Таким образом, двигаясь от изучения реферата к вопросам анализа первичного текста и обосновав необходимость построения текстовой базы для полноценного смыслового наполнения модели реферата, мы получили важный результат в виде одного из возможных объяснений процесса понимания дискурса читателем.

Исходя из этих рассуждений и разработанных нами моделей различных этапов реферирования, мы смогли подойти к решению задачи построения семантико-контекстной модели реферирования, которая способствует глубинному проникновению в содержание текстов. Эта модель базируется на использовании текстовой базы, заголовка и онтологий нескольких видов. Подробное описание этих исследований можно найти в работах [3, 4, 5].

Для реализации глубинного анализа текста мы остановились на трех видах онтологий: онтологии предметной области, промежуточной онтологии общенаучной лексики, позволяющей связать понятия из разных предметных областей, и онтологии верхнего уровня, содержащей категории, описывающие смысловые аспекты реферата. Построение онтологий предполагало дальнейшие исследования в области понимания, что связано с изучением процессов концептуализации и категоризации в языке и что стало объектом наших дальнейших исследований.

## 2. Формирование инвариантных репрезентаций ситуаций на базе ситуационных моделей

В своих дальнейших исследованиях процесса понимания текста [6] мы пришли к выводу о том, что представление знаний в системе автоматического реферирования в виде онтологий предметных областей является не самым удачным решением для задачи реферирования текстов. В ходе разработки процедуры смыслового анализа текста с использованием текстовых баз, точнее, с построением текстовых баз при выборе предложений, описывающих главные смысловые аспекты текста, мы вышли на понятие ситуационной модели. В разрабатываемой нами системе автоматического реферирования ситуационная модель формируется в виде накопителя текстовых баз определенной тематики, автоматически извлекаемых из текста в процессе его смыслового анализа в соответствии с разработанным алгоритмом извлечения основных смысловых аспектов текста.

Полученная таким образом ситуационная модель, в свою очередь, стала основой для создания *инвариантной репрезентации ситуации*, представляющей собой набор наиболее важных признаков, выделенных на основе относительных характеристик ситуации, в которых возможны существенные упущения в сравнении с конкретной ситуацией, описываемой в конкретном тексте.

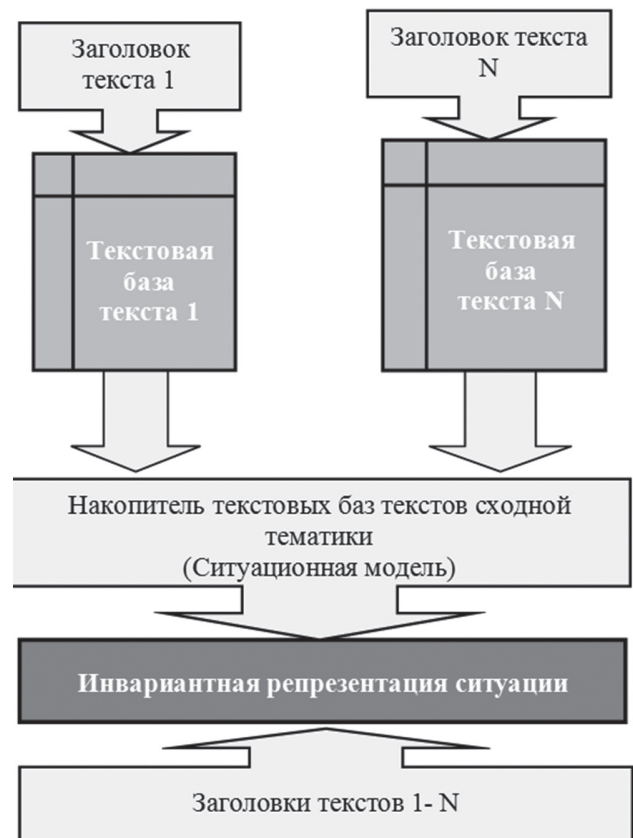


Рис. 1. Процедура разработки инвариантной репрезентации ситуации в системе автоматического реферирования

Возникает вопрос: какие признаки считать наиболее важными для описания данной ситуации, чтобы включить их в инвариантную репрезентацию? Существенную помощь в выборе таких признаков могут оказать заголовки статей как концептуальные инварианты текстов, на базе которых создавалась данная ситуационная модель.

Таким образом, с использованием текстовых баз, задающих контекстную семантику, и формируемых на их основе ситуационных моделей, содержащих информацию, актуализируемую в процессе понимания текста, а также заголовков всех текстов, описывающих схожие ситуации, можно выделить наиболее важные смысловые составляющие определенной ситуации, которые и образуют их инвариантную репрезентацию.

Может показаться, что все это уводит нас от основной задачи исследований. Однако это не так. Чем глубже и яснее мы представляем процесс понимания, осуществляемый человеком, тем точнее будет настройка системы автоматического реферирования на анализ смысла исходного текста.

Помимо этого исследование и моделирование некоторых аспектов процесса понимания приоткрывают нам тайны работы мозга. Мы видим, как работы в разных областях, таких как исследование механизмов работы мозга (Дж. Хокинс), разработка стратегий понимания дискурса (А. ван Дейк) и моделирование процесса реферирования (Лазаренко О. В.) сошлись в одной точке – инвариантных представлениях, лежащих в основе указанных процессов.

Результаты этих исследований подтверждают прямо и косвенно тот факт, что мозг в процессе распознавания объекта, фактов, ситуаций вспоминает важные взаимосвязи внешнего мира, а не привязывается к отдельным его элементам [1]. Более того, по словам того же Дж Хокинса «единственный способ, которым человек может познать этот изменчивый мир, – найти инвариантную структуру для переменного потока информации. ... В каждом конкретном случае мозг сопоставляет инвариантную структуру с текущими данными. ... Именно инвариантная форма хранится в вашем мозге, и именно с ней впоследствии сравниваются новые входные сигналы. Запоминание, припоминание и распознавание – все это происходит на уровне инвариантных форм» [1].

Таким образом, попытка разработать процедуру формирования инвариантной репрезентации ситуаций из текстов схожей тематики имеет под собой вполне реальную основу – именно в таком виде информация хранится в мозге, что позволяет ему распознавать новую информацию, содержащую в себе схожие смысловые составляющие.

## Выводы

В статье предложена процедура смыслового анализа текста, позволяющая обеспечить более качественный результат автоматического реферирования за счет использования доступа к информации, необходимой для наполнения смысловой структуры реферата, путем:

- 1) выделения макроструктуры текста и формирования на ее основе текстовой базы;
- 2) формирования в автоматическом режиме ситуационных моделей в виде накопителей текстовых баз, используемых для более точного понимания смысла конкретного текста;
- 3) извлечения необходимой информации из текста через актуализацию ее с помощью инвариантных репрезентаций ситуаций.

**Список литературы:** 1. Хокинс Дж., Блейксли С. Об интеллекте / Дж., Хокинс, Блейксли С. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2007. – 240 с. 2. Дейк ван Т. А. Стратегии понимания связного текста / Т. А. ван Дейк, В. Кинч // Новое в зарубежной лингвистике. – Вып. 23: Когнитивные аспекты языка. – М., 1988. – С. 153–211. 3. Лазаренко О. В. Моделювання семантичних зв’язків «Текст-Реферат» в системах автоматичного реферування / О. В. Лазаренко, Д. І. Панченко. – Х. : Изд-во НУА, 2014. – 176 с. 4. Лазаренко О. В. Семантико-контекстна модель реферування / О. В. Лазаренко, Д. І. Панченко // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. 2014. № 1(80). – С. 19-24. 5. Лазаренко О. В. Разработка интеллектуальной системы автоматического реферирования с использованием текстовых баз и ситуационных моделей / О. В. Лазаренко // MegaLing’2013. Горизонти прикладної лінгвістики та лінгвістичних технологій : доп. міжнар. наук. конф., Україна, Київ, 20-23 листопада 2013 г. 6. Лазаренко О. В. Процедура формирования инвариантной репрезентации ситуации для автоматизации процесса понимания текста в системе автоматического реферирования О. В. Лазаренко // Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика : III Всеукраїнська наук.-практ. конф. – Харків, НТУ «ХПІ», 17 квітня 2014 р.

Поступила в редколлегию 29.08.2014

УДК 81’322. 2’33

**Моделювання процесу розуміння тексту з використанням інваріантної репрезентації ситуацій в системі автореферування / О. В. Лазаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 15–18.**

У статті розглядаються питання побудови інваріантних репрезентацій ситуацій в системі автоматичного реферування. Запропонована процедура смыслового аналізу тексту на базі інваріантних репрезентацій.

Лл. 1. Бібліогр.: 6 найм.

UDC 81’322. 2’33

**Modeling of the process of understanding the text by using the invariant representation of situations in a system of auto summarization / O. V. Lazarenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 15–18.**

In article the approach to creation of the invariant representation of situations in automatic summarization systems is considered. A invariant representation based procedure for semantic analysis of text is proposed.

Fig. 1. Ref.: 6 items.

УДК 004.912



С.Б. Данилевич

ХГУ «НУА», г. Харьков, Украина, danilevichsb@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОРПУСНОЙ ЛИНГВИСТИКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА НЕЗНАКОМОМ ЯЗЫКЕ

Данная работа посвящена использованию доступного инструментария корпусной лингвистики для выявления информации об интересующем объекте в текстах, представленных в Интернет на незнакомом пользователю языке.

КОРПУСНАЯ ЛИНГВИСТИКА, ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ПРАГМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, АНАЛИЗ ТЕКСТА, ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

### Введение

Деловые, профессиональные и культурные связи Украины с другими странами постоянно укрепляются, что требует от выпускников любой специальности постоянного расширения кругозора, в частности, знакомства с методами корпусной лингвистики, которые могут быть полезны для анализа текстов на незнакомом языке.

Лингвистический корпус (linguistic corpus, text corpus) — это собрание отрывков текстов в электронной форме, отобранных в соответствии с внешними критериями, чтобы наиболее полно представлять язык или вариацию языка. Функционирует как источник данных для лингвистических исследований (John Sinclair) [1].

Для английского (<http://www.natcorp.ox.ac.uk>), немецкого (<http://corpora.ids-mannheim.de/>), чешского (<http://ucnk.ff.cuni.cz>), японского (<http://cblle.tufts.ac.jp>), русского (<http://ruscorpora>) и др. языков созданы полноценные корпуса, соответствующие основным требованиям.

Интенсивно разрабатывается корпус текстов украинского языка сотрудниками лаборатории компьютерной лингвистики Института филологии Киевского национального университета имени Тараса Шевченко под руководством Н.П. Дарчук (<http://www.mova.info>).

Привлечение методов корпусной лингвистики активно используется в обучении иностранным языкам, переводе, преподавании перевода, для повышения эффективности аналитической обработки научной информации, представленной в виде корпуса распределенных текстовых документов, расположенных на различных Web-ресурсах.

Специальное программное обеспечение дает возможность искать в корпусе необходимую информацию. Программы частотного анализа текстов используются для проведения информометрических исследований в информационных ресурсах как предпосылки выделения из хранилищ данных новых знаний. Частотный анализ, например, материалов конференций за несколько лет [2], позволяет выявить новые знания и тенденции

развития исследуемого направления, экономить время, отбирая из больших массивов только те статьи, которые содержат полезную информацию. При этом для оперативного составления частотного словаря пригодны стандартные приложения MS Office [3]. Однако формат частотного словаря не позволяет решить проблемы снятия полисемии, омонимии и других видов неоднозначности.

Наиболее информативным является поиск контекстов слов. Использование информационных технологий сделали возможной обработку больших массивов текстов, в частности, представленных в Интернет, который в свою очередь можно считать огромным текстовым корпусом. Значительная часть такой информации хранится в виде неструктурированного текста, для анализа которого разработано достаточно много программных продуктов. Профессионалами применяются методы Text Mining и Data Mining, реализованные в программах: WordStat, TextAnalyst, Businessobjects Text Analysis, AeroText, STATISTICA Text Miner, Attensity suite, Weka, Galaktika-ZOOM («Галактика»), Медиалогия, WordSmith Tools. Качественная Data Mining-программа может стоить достаточно дорого, быть относительно сложной и узконаправленной [4]. В то же время, извлечение полезных сведений невозможно без понимания сути данных, поэтому применение методов Data Mining не может заменить аналитика [4].

Для поиска, управления данными в корпусе, их статистической обработки, предоставления результатов в удобной форме применяются программные средства — корпус-менеджеры (corpus manager). Одной из наиболее удачных программ анализа корпусов для выявления особенностей употребления слов является платная и работающая только под MS Windows утилита, разработанная в Оксфордском университете WordSmith Tools (<http://www.lexically.net/wordsmith>). Существуют свободно распространяемые корпус-менеджеры. Так, в Германии разрабатывается конкордансер Corsis (<http://coris.sourceforge.net>). AntConc (<http://www.antlab.sci.waseda.ac.jp/software.html>) не требует установки, работает под MS Windows,

Linux и Mac, распознает свыше 90 кодировок. Есть ограничения на формат входных файлов (htm, html, xml, txt). Результат сохраняется в txt-формате. Использование таких программ кроме лингвистов может быть полезно самым разным исследователям – политологам, социологам и др. Так, например, автоматическое создание и последующий анализ частотных словарей и конкордансов, полученных на сформированном корпусе текстов статей, представленных в электронном виде в сети Интернет был использован находящаяся в свободном доступе корпус-менеджер TextSTAT для изучения способов создания имиджа страны в текстах периодической печати [5].

В данной статье рассматривается работа с программами TextSTAT и AntConc. К сожалению, эти программы не поддерживают кириллицу.

Основной *целью статьи* является оценка возможности использования методов корпусной лингвистики для выявления информации об интересующем объекте в текстах из Интернет на незнакомом языке, (например, чешском) с помощью доступного бесплатного программного обеспечения и приложений MS Office.

### 1. Построение текстового корпуса

Поверхностный анализ текстов из Интернет на незнакомом пользователю языке, сравнение полученной информации с аналогичной информацией с отечественных сайтов можно производить при помощи создания соответствующих текстовых корпусов.

Построить свой корпус позволяет свободно распространяемая программа TextSTAT, бесплатно её можно скачать, например, по адресу: <http://www.softpedia.com/get/Office-tools/Other-Office-Tools/TextStat.shtml>. Программа поставляется в виде отдельного файла установки. Чтобы установить программу, достаточно распаковать файл в папку по выбору. После запуска программы открывается диалоговое окно для создания собственного текстового корпуса.

В качестве тематики исследования можно выбрать, например, проблемы в высшем образовании в Чешской республике для сравнения с аналогичными отечественными проблемами. Для получения данных для анализа целесообразно использовать Web-страницы, полученные по запросу в чешском поисковике seznam.cz: «problému v oblasti vysokoškolského vzdělávání (проблемы в высшем образовании)».

Далее нужно добавить на свой корпус соответствующие тематике файлы из Интернет. Программа TextSTAT читает неограниченное число страниц с выбранного сайта на английском, немецком, голландском, португальском, испанском, галисийском (официальном языке испанской

Галисии), французском, итальянском, финском, польском, чешском языках и переносит их в программу, убирая HTML-теги. Для добавления файла используется окно Web-паука (Web Spider), (рис. 1), в котором вводится соответствующий Web-адрес. На массиве данных текстов, полученных из соответствующих Web-сайтов могут быть созданы:

1. корпус текстов данной тематики (файл с расширением .cor) – вкладка Korpus,
2. частотный словарь – вкладка Tvary slov,
3. конкорданс – вкладка Konkordance.

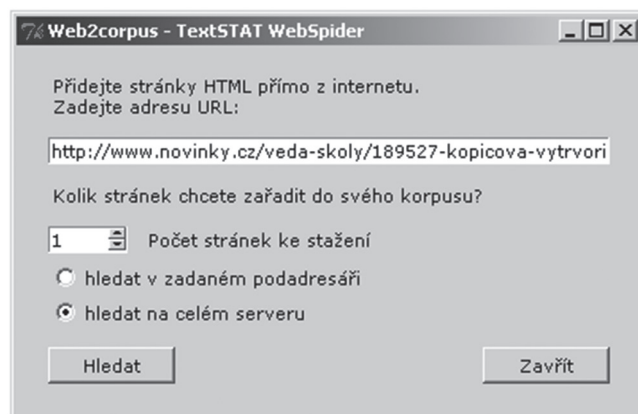


Рис. 1. Web-паук (Web Spider) программы TextSTAT

Для примера выбраны первые 10 ссылок по данному запросу (рис. 2).

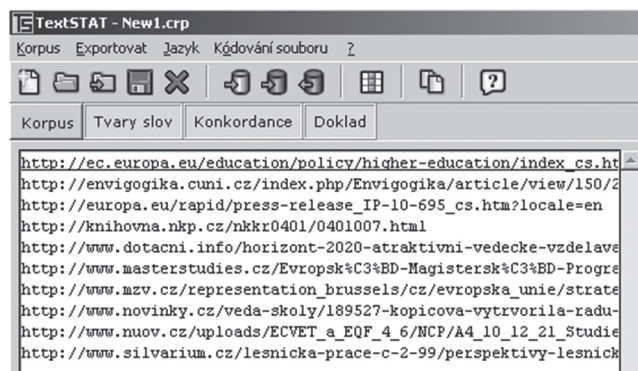


Рис. 2. Добавление файлов из сети Интернет

Программа извлекает найденные слова в список, которые, после этого, могут быть отредактированы вручную. Есть возможность подключить так называемый список «стоп-слов» - список из слов, которые не относятся к терминологии. На вкладке Конкорданс, введя интересующее слово, можно получить это слово в контексте данного корпуса и перейти для более детального анализа на Web-страницу, содержащую это слово в данном контексте. При поиске можно использовать специальные символы, используемые в регулярных выражениях:

- «.» – (точка) обозначает любой символ;
- «\w» – шаблон для любых буквенно-цифровых символов;

«\ W» – шаблон для любых неалфавитно-цифровых символов (например, пробел, знаки препинания);

«+» – сочетание с предыдущим символом, которое повторяется один раз или несколько раз (например, ab + с соответствует «abc», «abbc», «abbbv» и так далее, но не «ac»);

«\*» – сочетание с предыдущими символами повторяется любое число раз, включая нуль;

«|» – обозначает «или»;

«[]» – в квадратных скобках определяет набор символов, которые ищутся альтернативно.

## 2. Анализ текстового корпуса

Анализ полученного текстового корпуса удобно производить с помощью программы AntConc ([http://www.laurenceanthony.net/antconc\\_index.html](http://www.laurenceanthony.net/antconc_index.html)). Корпус-менеджер AntConc (Dr. Laurence Anthony) используется для получения словарных минимумов, списков устойчивых сочетаний, выборок к тематическим группам слов [3].

Чтобы воспользоваться полученной и очищенной от тэгов информацией TextSTAT в AntConc, нужно сохранить корпус, переименовав файл с расширением .cpr в txt-файл. После чего данный корпус можно открыть в AntConc.

Для поиска и извлечения информации из корпуса текстов можно воспользоваться следующей процедурой: создать частотный словарь, проанализировать его, отобрать значимые слова, составить конкорданс и исследовать контекст употребления значимых слов.

Частотный словарь корпуса создается на вкладке Word List, что уже позволяет получить большое количество информации об употреблении слов в корпусе. Этот словарь можно после сохранения в текстовом формате (File – Save Output to text File...) открыть в Excel (Данные – Получить внешние данные – Из текста – antconc\_results.txt – Импорт). В окне Мастера импорта Excel следует указать формат данных: с разделителем, Формат файла: 65001: Юникод UTF-8. На втором шаге Мастера импорта необходимо установить Символом-разделителем знак табуляции. На третьем шаге Мастера нужно указать Формат данных столбцов: текстовый. В результате получится частотный словарь в офисной программе Excel, что позволяет воспользоваться всеми возможностями MS Office, включая офисное программирование.

Дело в том, что наряду со значимыми ключевыми словами в этот перечень попадают элементы не несущие смысловой нагрузки (например, одно- и двухбуквенные словоформы, аббревиатуры и т.п.). Здесь можно воспользоваться фильтрацией Excel (рис. 3).

Отфильтровав одно-, двухбуквенные и т.д. слова с помощью шаблона «?» – один любой знак, дав

команду на вкладке Главная: Найти и выделить – Перейти – Выделить – Только видимые ячейки можно избавиться от некоторых незначимых слов (рис. 4).

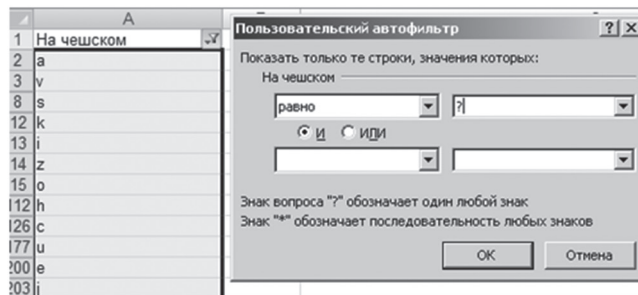


Рис. 3. Фильтрация однобуквенных слов

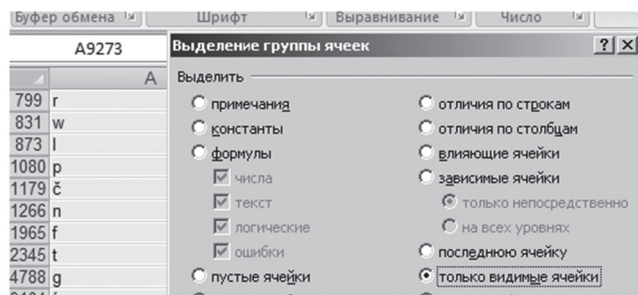


Рис. 4. Выделение только однобуквенных слов для их удаления

Более тщательная подготовка текста требует удаления и других слов («стоп-слова»). Помощь здесь могут оказать готовые перечни стоп-слов. Так, для чешского языка такой список можно найти по адресу: <http://nlp.fi.muni.cz/cs/StopList>.

Вычитание стоп-списка из полученного частотного словаря можно произвести в Excel с помощью расширенного фильтра или используя VBA. Аналогично используется словарь синонимов (например, ABZ slovník českých synonym - on-line hledání – <http://www.slovník-synonym.cz/>). Проблема остаётся с собственными именами, ошибками в самом тексте, употреблением слов на других языках и т.п.

Перевод слов частотного словаря можно получить автоматически, воспользовавшись функцией перевода с одного языка на другой (с использованием Google Translate), написанной на языке VBA (<http://excelvba.ru/code/GoogleTranslate>) (рис. 5).

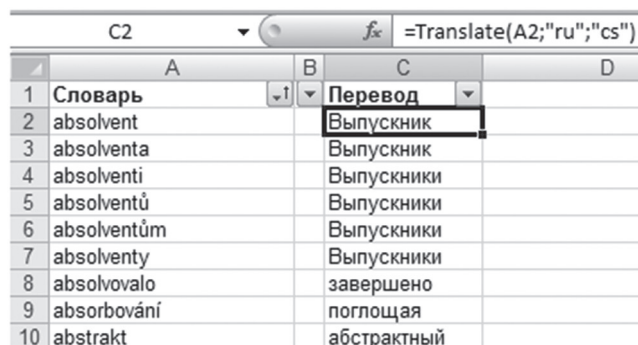


Рис. 5. Автоматический перевод

Одним из существенных недостатков является то, что каждая морфологическая форма одного и того же слова подсчитывается как отдельное слово. Тем не менее, полученный список позволяет отобрать наиболее значимые с точки зрения исследователя ключевые слова для поиска контекста.

### 3. Извлечение информации из конкорданса

Для определения контекста использования выбранного слова можно использовать в AntConc функцию Concordance (список контекстов ключевого слова в исследуемом корпусе). AntConc обеспечивает показ списка всех словоупотреблений анализируемого текста с ближайшим контекстом нужного количества слов (обычно 5–6) перед и после искомого термина, список n-грамм (последовательностей из n слов) любой длины и частоты для данного корпуса.

Например, выбрав в качестве ключевого слова – priority, можно получить всю фразу с этим словом (рис. 6), а при необходимости и весь текст. Результаты поиска показываются в формате KWIC (key word in context).

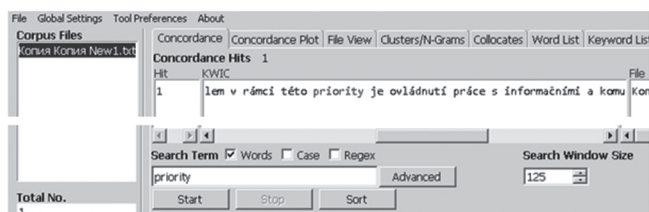


Рис. 6. Функция Concordance AntConc

Так, фраза: «Základním cílem v rámci této priority je ovládnutí práce s informačními a komunikačními technologiemi studenty i učiteli», а её Google-перевод: «Основная цель данного приоритета является овладение работой со студентами и преподавателями в области ИКТ».

Таким образом, последовательность действий для определения проблем, которые видят в Чешской республике в области высшего образования следующая:

- установка программ TextSTAT, AntConc;
- выбор Web-страниц по данной тематике;
- поставка этих страниц в TextSTAT и сохранение, полученной очищенной от тэгов информации в формате txt;
- в AntConc открытие текстового файла, созданного в TextSTAT;
- создание частотного словаря (Word List), который может быть открыт в Excel;
- перевод слов частотного словаря в переводчике Google;
- использование в AntConc функции Concordance для определения контекста использования выбранного слова;
- перевод контекста.

Сравнение проблем в высшем образовании в Украине и Чехии, упомянутых на данных сайтах в данный момент времени, тем не менее, позволяет сделать некоторые выводы. Так, часть проблем совпадают: недостаточное финансирование; трудности выпускников в поиске работы и в то же время проблемы у работодателей с нехваткой персонала, которые отвечают потребностям современного рынка труда; проблемы, связанные с естественно-математической подготовкой и др. На данных украинских сайтах были упомянуты специфические проблемы, такие как, проблемы со стандартами, существования высших учебных заведений разных форм собственности, внедрение реформ, организация учебно-воспитательной работы и др. На данных чешских сайтах упоминались проблемы, которых не было на данных украинских. Например, проблемы с содействием социального и культурного разнообразия. Много внимания было уделено психологическим, поведенческим проблемам, вызывающие трудности в обучении особенно у людей с ограниченными физическими возможностями. Отмечалось недостаточное инвестирование в высшее образование (в ЕС счетов лишь 1,3% от ВВП по сравнению с 3,1% в США и 1,5% в Японии) и надежда, что государственное финансирование будет дополнено соответствующими дополнительными ресурсами, с большим участием частного сектора. Не определены компетенции выпускника ВУЗа, неэффективны механизмы стимулирования и отсутствие системного развитие непрерывного образования взрослых. Решение некоторых проблем видят в увеличении квалификации и профессионального мастерства преподавателей, разработке и внедрении системы финансовых и нефинансовых стимулов для работодателей увеличить расходы на обучение персонала и др.

### Выводы

Представленная методика и практические рекомендации по применению методов корпусной лингвистики, использованию доступных программных средств (TextSTAT, AntConc), стандартных приложений MS Office, элементов офисного программирования позволяют в некоторой степени автоматизировать поиск нужной информации из сети Интернет и предварительный анализ текстов на незнакомом языке. Приводится конкретный пример поиска информации на чешских сайтах, касающейся проблем высшей школы. При достаточной заинтересованности можно составить корпус большего объема, что позволит глубже анализировать информацию. Знакомство с основами корпусной лингвистики полезно для представителей любой специальности.

**Список литературы:** 1. *Sinclair, J.* Corpus, Concordance, Collocation. — Oxford University Press, 1991. — 197 p. 2. *Кузнецов А.Ю.* Информометрические исследования докладов конференций Крым / А.Ю. Кузнецов // Библиотеки и информационные ресурсы в современном мире науки, культуры, образования и бизнеса [Электронный ресурс]: 18-я Междунар. конф. “Крым 2011”: Тр. конф. — Электрон. дан. — М., 2011. — <http://www.gpntb.ru/win/inter-events/crimea2011/disk/042.pdf>. 3. *Данилевич С.Б.* Создание частотных словарей доступными средствами в учебных целях // Обучение иностранных студентов в высшей школе: традиции и перспективы: Материалы Международной научно-методической конференции (23-24 мая 2013 г., Харьков) [Текст]: тезиси. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. — 264 с. — С. 121–123. 4. *Чубукова И.А.* Data Mining: учебное пособие. — М.: Интернет-университет информационных технологий: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2006. — 382 с. 5. *Зверева П.П., Максименко О.И.* Современные направления лингвистических исследований имиджа страны и её жителей. [Текст]: статья. — Вестник МГОУ. Серия «Лингвистика». — № 6, 2013. — С. 25-29.

*Поступила в редколлегию 25.09.2014*

УДК 004.912

**Застосування методів корпусної лінгвістики для отримання інформації на незнайомій мові / С.Б. Данилевич // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 2 (83). — С. 19–23.**

У статті розглядаються методика і практичні рекомендації щодо застосування методів корпусної лінгвістики, використанню доступних програмних засобів, елементів офісного програмування для автоматизації пошуку потрібної інформації з мережі Інтернет і попереднього аналізу текстів незнайомою мовою.

Л. 6. Бібліогр .: 5 найм.

UDK 004.912

**Application of Corpus Linguistics Methods to Acquire Information in a Foreign Language / S.B. Danylevych // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 2 (83). — P. 19–23.**

This paper presents methods and practical recommendations for corpus linguistics methods, available software and elements of the office programming to be applied for automation of the process of the required information retrieval in the Internet and preliminary analysis of the source texts.

Fig. 6. Ref.: 5 items.



А. Е. Стрижак

Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства  
НАН Украины, Украина, г. Киев

## ТАКСОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Описываются структурные свойства таксономий, как системных компонентов онтологических систем. Рассматриваются взаимоотношения между таксономиями и таксономическими категориями. Для этого рассматриваются множественные бинарные отношения упорядоченности и их свойства. Определяются типы бинарных отношений. Для множественных структур вводится категория гиперотношения. На основании типов множественных отношений между концептами предметных областей определяются условия устойчивости таксономий онтологических систем.

## ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, КОНЦЕПТЫ, ТАКСОНОМИЯ, УПОРЯДОЧЕННОСТЬ, БИНАРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ, КАТЕГОРИЯ

## Введение

При решении широкого спектра сложных прикладных задач часто приходится использовать распределенные в сети информационные массивы. В большинстве случаев эта информация имеет слабоструктурированную организацию, политематическую интерпретацию и не всегда высокий уровень достоверности. Также следует отметить проблему интероперабельности, которая понижает уровень релевантности и требует разработки методов и средств корректной семантической интерпретации каждой информационной единицы. Одним из направлений развития программных средств корректного использования распределенной информации является создание и применение онтологических систем [1, 2].

Одной из главных особенностей онтологических систем является формирование предметных классификаторов и их агрегированное использование при решении прикладных задач. В статье исследуются свойства таксономических структур, рассматриваются проблемы, связанные с их использованием при создании классификаторов онтологических систем, и организации в их среде корректного описания объектов тематических предметных областей.

## 1. Упорядоченность таксономических категорий

Одной из системных компонентов онтологической системы является таксономия [3], отображающая определенную иерархию взаимодействия концептов. При этом собственно иерархия задается при помощи бинарных отношений, определяющих характер взаимодействия между концептами онтологии. На основании указанных отношений, определяющих взаимодействие между концептами, реализуется процедура разбиения множества концептов онтологии на классы [4]. Для построения онтологических классификаторов конкретных предметных областей (ПрО) на основе сформированных классов, используются таксономические категории. Список указанных категорий

определяется в процессе решения прикладной задачи на основе свойств, объединяющих концепты по тематическим признакам. Сложность множества взаимоотношений между ними можно увидеть на примере часто используемого в естествознании следующего множества таксономических категорий  $\bar{T}$  [5]:

*тип (phylum)* – <имя сложного концепта>  
*подтип (subphylum)* – <имя сложного концепта>  
*класс (classis)* – <имя сложного концепта>  
*подкласс (subclassis)* – <имя сложного концепта>  
*отряд (у растений – порядок) (ordo)* – <имя сложного концепта>  
*подотряд (subordo)* – <имя сложного концепта>  
*семейство (familia)* – <имя сложного концепта>  
*подсемейство (subfamilia)* – <имя сложного концепта>  
*род (genus)* – <имя сложного концепта>  
*подрод (subgenus)* – <имя сложного концепта>  
*вид (species)* – <имя сложного концепта>  
*подвид (subspecies)* – <имя сложного концепта>  
*разновидность (varietas)* – <имя сложного концепта>  
*форма (forma)* – <имя сложного концепта>.

Для формирования любой таксономической категории может быть использовано бинарное отношение – «быть элементом категории». Понятие *категория* здесь играет роль переменной и может принимать любое значение из выше приведенного списка. Также каждая категория является сложным концептом, которому, как определенному понятию предметной области, соответствует конкретное имя. Данное отношение позволяет организовывать иерархию концептов на уровне определения их принадлежности к конкретному тематическому классу. Здесь играет существенную роль понятие сложности концепта. Будем говорить, что концепт имеет простую структуру (простой концепт), если структурно он не может быть разложен на другие концепты. Тогда понятие сложного концепта может быть рекурсивно определено как структурно включающее непустое

множество простых концептов. Т. е. простой концепт связан со сложным отношением – «*быть элементом категории*».

Однако следует учитывать, что собственно концепты представлены только конкретными именами. Их активное использование в онтологической системе требует определения их смыслов, которые дают возможность интерпретировать конкретные концепты при выборе действий, применимых к ним в процессе решения прикладных задач. Такие смыслы могут быть заданы как бинарными отношениями между активными концептами, так и унарными свойствами самих концептов, характеризующих их прикладные признаки.

В общем виде бинарные отношения таксономических категорий могут быть представлены простой моделью бинарных отношений «*объект – объект*» [6]. Простую модель бинарных отношений можно обобщить до уровня множественных отношений типа «*группа объектов – объект*». Тогда отношения между таксономическими категориями можно рассматривать, как некие гиперотношения  $Gr$  вида –  $YGrx$ , где  $Y$  – множество всех возможных множеств концептов  $X$  таксономической категории  $T$ , а  $x$  один из концептов этого множества. Понятно, что если рассматривать множественное бинарное отношение типа «*группа объектов – группа объектов*», то его можно представить в виде некоего множества гиперотношений  $\{Gr\}$ , которое может быть представимо через множество бинарных отношений типа «*группа объектов – объект*». Поэтому достаточно корректно в дальнейшем рассматривать именно гиперотношения  $Gr$ , которые всегда можно доопределить до множества групповых бинарных взаимоотношений, приняв во внимание их декартово пространство.

Указанная модель бинарных отношений задает отношение упорядоченности для всех концептов и их возможных множеств в структуре таксономических категорий онтологической системы. Такая упорядоченность может быть представлена следующими типами бинарных отношений, которые могут быть заданы над множеством всех концептов  $X$  онтологической системы  $O$ :

- ацикличность –  $\gamma$ ,
- частичная упорядоченность –  $\tilde{p}$ ,
- линейная упорядоченность –  $p$ .

Отношение линейной упорядоченности  $p$  выводится из отношения ацикличности:

$$x_i^j \gamma x_i^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j p x_i^k \quad (1)$$

и также может быть выведено из отношения частичного порядка:

$$x_i^j \tilde{p} x_i^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j p x_i^k \quad (2)$$

Бинарные отношения ацикличности и частичного порядка позволяют сформировать из общих концептов онтологической системы множества

таксономических категорий  $\tilde{T}$ , на основании которых могут быть сформулированы предикативные выражения в виде логических функции и уравнений. Т. е. из концептов таксономических категорий мы можем строить утверждения, описывающие состояния онтологической системы, интерпретационные функции которой используются при решении прикладных задач. Бинарное отношение линейной упорядоченности позволяет нам определять последовательность действий над концептами и их множествами в среде онтологической системы.

Рассмотрение множественных отношений вида (1) – (2), образуемых между концептами, включая множества всех множеств концептов вида  $\{X\}$  онтологической системы  $O$  и самими множествами, позволяет их типизировать следующим образом [6]. Согласно (2) бинарное отношение частичной упорядоченности может быть доопределено до бинарного отношения строгой частичной упорядоченности, которая позволяет задать над концептами онтологической системы бинарное отношение линейного порядка. Т. е. можно всегда для бинарного отношения частичного порядка вида (2) найти монотонно возрастающую последовательность из множества натуральных чисел  $N$ , определяющих  $n$ -й порядок бинарного взаимодействия концептов онтологической системы. Такая бинарная гиперупорядоченность может быть определена в виде множества бинарных упорядоченностей –  $P$  и представлена в виде следующего выражения –  $P = \{p_n\}, n \in N$ :

$$x \gamma y \Leftrightarrow \forall n \in N : x p_n y. \quad (3)$$

Рассматривая множества гиперотношений  $Gr$ , можно выделить следующие свойства, характеризующие их как бинарные [6]:

1. Гиперцикличность – если для  $Gr$  не существует гиперциклического множества  $X \subseteq U$  такого, что –

$$\forall x \in X \exists Y \subseteq X : YGrx. \quad (4)$$

2. Иррефлексивность

$$YGrx \Rightarrow (Y \setminus \{x\})Grx. \quad (5)$$

3. Гипертранзитивность

$$YGrx, x \in X, XGrz \Rightarrow ((Y \cup X) \setminus \{x\})Grz. \quad (6)$$

4. Регулярность

$$YGrx, Y' \supseteq Y \Rightarrow Y'Grx. \quad (7)$$

Свойство множественной упорядоченности таксономических категорий позволяет формировать и/или выделять из множества концептов онтологической системы подмножество концептов, связанных между собой конкретным бинарным отношением упорядоченности. Таким образом, если множество гиперотношений  $Gr$  обладает набором свойств (3) – (7), обеспечивающих отображение различных активных состояний онтологической

системы  $O$  на основе выделения бинарного отношения частичной упорядоченности  $\tilde{p}$  для множеств концептов  $\{X\}$ , то всегда можно определить таксономию и/или таксономическую категорию  $T \in \tilde{T}$ , для концептов которой могут быть сформулированы предикативные выражения, принимающие значения истинности. Т. е. мы всегда можем из множества концептов  $X$  выделить непустое подмножество концептов  $\{x\}$ , обладающих свойством бинарного отношения частичной упорядоченности  $\tilde{p}$ , которое и связывает их между собой.

$$YGrx \Rightarrow \exists y \in Y : y\tilde{p}x \quad (8)$$

При этом частичная упорядоченность  $\tilde{p}$  является элементом множества бинарных упорядоченностей —  $P$ , которое может быть расширено до гиперотношения  $Gr$ , и тем самым определять множественную упорядоченность над подмножествами концептов  $\{x\}$  в виде множественного отношения — «*группа объектов — объект*», имеющего свойства (4) — (8):

$$YGrx \Leftrightarrow n \in N \exists y \in Y : y p_n x : p_n \in P \subseteq Gr . \quad (9)$$

Предикативные выражения, формулируемые на основе концептов таксономической категории с заданным множественным отношением упорядоченности вида (1) — (9), принимают только значения истинности. Это позволяет формировать на основе терминов-концептов онтологической системы лингвистические выражения, осмысленно отображающие состояния онтологической системы.

Так для множества таксономических категорий  $\tilde{T} = \{ \text{тип (phylum); подтип (subphylum); класс (classis); подкласс (subclassis); отряд (у растений — порядок) (ordo); подотряд (subordo); семейство (familia); подсемейство (subfamilia); род (genus); подрод (subgenus); вид (species); подвид (subspecies); разновидность (varietas); форма (forma)} \}$ , множественное бинарное отношение частичной упорядоченности обеспечивает сохранение всех типов взаимодействия между ними. И также позволяет формировать все множества таксономий из концептов формируемой онтологической системы. Однако задав над указанными категориями отношение линейной упорядоченности, мы сужаем их перечень, т. к. ряд категорий, таких как, например: класс (classis); форма (forma); вид (species) могут занимать в выражении (1), представляющего бинарное отношение — «*быть элементом категории*», как левую, так и правую часть. Тем самым становятся невыполнимыми свойства отношения (5) и (7) — иррефлексивности и регулярности.

## 2. Структурирование на основе множественной упорядоченности

Любая онтологическая система формируется на основе структурированного представления предметной области ее применения. Обычно основу

структурирования составляют классы объектов [4], на которые условно разбивается множество всех понятий, свойства которых определяют семантику предметной области. Непосредственно свойства концептов позволяют определить множество отношения между ними. Множественные бинарные отношения упорядоченности составляют тип гиперотношений, которые обладают свойствами (1) — (9) и обеспечивают формирование из классов концептов различные таксономические структуры.

Следует отметить, что таксономическая категория формируется на основе выделения определенного подмножества концептов имеющих общее свойство, которое их всех характеризует. Такое свойство может быть унарным для каждого концепта, однако при определении указанного класса как сложного концепта, такое свойство позволяет определить над всеми концептами класса множественное бинарное отношение «*быть элементом класса*». При этом следует отметить, что унарное свойство, являющееся общим для множества концептов предметной области, может интерпретироваться как признак этих концептов или как критерий для выбора концептов данного класса.

Так при выборе концептов кандидатов для формирования определенной категории — *класс (classis)*, первоначально определяется свойство-признак, на основании которого данная категория может быть представлена как сложный концепт. При этом включение в категорию-класс конкретного простого концепта или понятия с менее сложной структурой основывается на характеризующем его общем для всех концептов этой категории-класса унарном свойстве-критерии. Однако указанное общее свойство позволяет определить для данной категории бинарное отношение «*часть-целое*», которое также задает частичную упорядоченность вида (2) над всеми концептами формируемой категории.

Таким образом, множественное бинарное отношение частичной упорядоченности, может быть задано на основе бинарного отношения «*часть-целое*», которое может быть переписано в виде множественного отношения — «*группа объектов — объект*». Здесь фраза «*группа объектов*» определяет имя сложного концепта-класса, который является таксономической категорией для рассматриваемой предметной области. Выбор концептов для их включения в формируемую таксономическую категорию по общему семантическому свойству мы можем рассматривать как объединение одноэлементных множеств, где каждое такое множество определено конкретным концептом предметной области с выбранным общим для них свойством-критерием. Конструктивность применения процедуры выбора здесь проявляется возможностью точного определения необходимого элемента для

формирования таксономии. Предпочтительность критериального выбора в данном случае не зависит от метода ранжирования. Таксономия задается концептами с общим свойством, над которыми определяется множественное бинарное отношение частичной упорядоченности вида (2).

Таксономия может быть определена для любого сложного концепта, т. к. по умолчанию она может быть образована бинарным отношением линейной упорядоченности «часть-целое». Отношение «часть-целое» может быть расширено до множественного отношения «группа объектов – объект» и далее до «быть элементом класса» и/или «быть элементом категории». Различие между понятиями «класс» и «категория» заключается в полноте отображения предметной области. Понятие «категория» достаточно полно отображает семантические возможности предметной области, в то же время понятие «класс» определяется просто отобранным множеством концептов с общими семантическими свойствами. Поэтому понятие «таксономия» не является эквивалентом понятия «таксономическая категория».

Гиперотношение  $Gr$ , заданное над множественными бинарными отношениями упорядочивания, определяющих таксономию, позволяет представить предикативные выражения, формулируемые на основе ее концептов с заданным множественным отношением упорядоченности вида (1) – (9) в виде рекурсивного предиката [8]:

$$\begin{aligned} Pr(x_1, \dots, x_n) &= 1, \\ \text{если } \neg Pr(x_1, \dots, x_n) \wedge Pr(x_1, \dots, x_n) &= 0, \\ \text{если } Pr(x_1, \dots, x_n), & \end{aligned} \quad (10)$$

где  $x_i \in X; 1 \leq i \leq n$ .

Фактически предикат вида (10) позволяет определить, какие концепты онтологической системы обладают выделенным свойством. Сформировав множества классов концептов онтологической системы при помощи предикативного выражения вида (10), мы получаем таксономию, над концептами которой задано множественное бинарное отношение «часть–целое». Такая таксономия может иметь сложную структуру нисходящих иерархий. Каждая составная иерархия представляет собой класс концептов, имеющих как минимум одно общее семантическое свойство:

$$Pr(x_1, \dots, x_n) = 0 \Rightarrow \exists T \subseteq \tilde{T} : \forall x \in X \exists Y \subseteq X : T = YGrx. \quad (11)$$

Гиперотношения  $Gr$  вида (1) – (9) определяют взаимодействия между концептами каждой таксономии, выделенной из разных классов концептов предметной области. Соответственно рекурсивный предикат вида (10) позволяет определить новые виды таксономии онтологической системы. Особую роль в формировании новых таксономий играет, помимо рекурсивных предикатов, функция

выбора. В терминах таксономических категорий она имеет следующий вид:

$$\forall T \left[ \emptyset \notin T \Rightarrow \exists f : T \rightarrow \cup T, \forall T \in \tilde{T} (f(T) \in \tilde{T}) \right] \quad (12)$$

Тогда характеристическая функция рекурсивного предиката (10), может определять условия применимости функции выбора при формировании множества таксономий онтологической системы. Если значение характеристической функции равно нулю, то мы выделили множество концептов, из которых невозможно сформировать истинные высказывания, и значит, они не обладают ни одним из бинарных гиперотношений  $Gr$  упорядоченности. В противном случае, характеристическая функция принимает значение 1, а из множества выбранных концептов формулируются истинные высказывания. И соответственно над ними могут быть определены гиперотношения  $Gr$ . Т. е. всегда можно найти непустое множество концептов онтологической системы, между которыми существует хотя бы один из типов отношения упорядоченности вида (1) – (7) и концепты, связанные таким отношением, могут образовывать истинные высказывания. Практически это условие задает индуктивность процесса формирования множеств концептов, между которыми устанавливаются гиперотношения  $Gr$ , и фактически конструируется таксономия и/или таксономическая категория. В формальном виде, на основании утверждений представленных в виде (10) – (12) это условие представимо в следующем виде:

$$\exists P \subseteq Gr, \exists p \in P, \forall x \in X \exists Y \subseteq X : YGrx \Rightarrow \exists T = YGrx. \quad (13)$$

Индуктивность выражения (13) задается последовательностью применения предикативного выражения вида (10) и (11) к множеству концептов онтологической системы  $O$ .

### 3. Свойства упорядоченностей таксономий

Формирование таксономических структур на основе процедуры выбора и множества бинарных гиперотношений упорядоченности позволяет определить ряд свойств, обеспечивающих конструктивность применения таксономий для реализации различных состояний онтологической системы. Особенностью нашего подхода является алгебраическое представление выбора соответствующего предпочтения при формировании множеств классов из концептов предметной области. Индуктивность предикативной формы представления процесса формирования таксономических структур (9) – (10), расширенная условием существования таксономии (12), позволяет определить ряд конструктивных свойств таксономий как упорядоченных бинарных структур. Указанная индуктивность накладывает ряд условий на входо-выходные состояния [9] онтологической системы при выборе концептов, на основе которых

формируется таксономия. Т. к. входо-выходные состояния конструируемой онтологической системы  $O$  определяют устойчивость формирования таксономических структур, то регулировать их взаимодействие на подсистемном уровне возможно при соблюдении ряда условий. Эти условия определяются типом отношений бинарной упорядоченности (1) – (7) и обеспечивают независимость значений характеристической функции рекурсивного предиката (10) от последовательности контекстов индуктивного выбора. В сложных системах, какими являются онтологии, выделяют следующие условия устойчивости [6, 7, 10]:

Условие наследования:

$$\exists T' \subseteq T \Rightarrow \exists f(T') \supseteq f(T) \cap T'. \quad (14)$$

Условие независимости от не включенных в таксономию концептов:

$$\exists f(T') \subseteq T' \subseteq T \Rightarrow f(T') = f(T)'. \quad (15)$$

Условие согласия:

$$\bigcap_n f(T_n) \subseteq f(\bigcup_n T_n). \quad (16)$$

Свойства таксономических структур, представленные выражениями (14) – (16), позволяют в определенной степени проинтерпретировать интуитивные рассуждения при выборе конкретных свойств концептов, на основании которых реализуется выбор предпочтений по их включению в таксономию. Так условие наследования обеспечивает включение концептов, имеющих эквивалентные свойства-критерии. Условие независимости позволяет задать набор аксиом для онтологии, исключающие возникновение противоречий при выборе. Условие согласия позволяет обеспечить корректность разбиения множества концептов предметной области онтологической системы на классы. При этом согласно исследованиям [6, 7, 10] обеспечивается формирование класса функций, определяющих достаточно полно множественность бинарных отношений упорядоченности. Более того, можно утверждать, что условия (14) – (16) достаточно точно определяют саму систему выбора при условии, что свойства-критерии, на основе анализа которых реализуется формирование таксономии, заданы.

Представление свойств концептов таксономии может быть реализовано в виде предикативного выражения (11). Тогда применение условий (14) – (16) к концептам предметной области онтологии позволяет формировать таксономические структуры – классы и/или категории в виде деревьев признаков [11]. Это обеспечивает возможность представления таксономий, концепты которых взаимодействуют друг с другом на основе множества гиперотношений  $\{Gr\}$ , в виде графа без циклов. Т. е. справедливо следующее утверждение: любая иерархическая структура, для которой справедливы условия наследования, независимости и

согласия, может быть представлена в виде бинарного дерева.

Дополнительно отметим следующее: условие согласия (16) определяет свойство пластичности множества таксономий  $\tilde{T}$  онтологической системы. Свойство пластичности позволяет утверждать, что для произвольной онтологической системы всегда существует непустое множество тавтологий, которое может быть расширено новейшей тавтологией. Таким образом, при использовании определенных концептов онтологии возможно выполнять подстановку множеств высказываний, которые задаются на множестве концептов онтологии на основании их тематических свойств и бинарных отношений упорядоченности вида (1) – (7). При этом все указанные концепты должны быть представлены в виде предикативного выражения (11). Это утверждение может быть перефразировано следующим образом: если определенная онтология  $O$  формируется на основе таксономии  $\tilde{T}$  множества концептов  $X$ , то всегда есть определенное непустое множество высказываний  $\{Pr(x_1, \dots, x_n)\}$ , которое образуются концептами  $x$  этой онтологии, при условии, что эти концепты связаны между собой бинарными отношениями вида:

$$r^m(x_i^j, x_i^k | x_i^j \in X_i; r^m \in R \neq \emptyset). \quad (17)$$

где  $R = \prod_i^n X_i$ .

### Выводы

Применение онтологических систем в большей степени связано с решением сложных тематических прикладных задач. От качества структуризации предметной области при построении онтологии зависит эффективность ее применения. Поэтому вопросы связанные с упорядочиванием множественности концептов онтологий, используемых при решении тематических задач, определяют конструктивность онтологической системы. Определение множественных отношений бинарной упорядоченности над тематическими концептами онтологической системы позволяет достичь высокого уровня корректности при формировании таксономических категорий и тематических классификаторов. При этом обеспечивается множественное взаимодействие между таксономическими структурами онтологии. Корректное формирование множественных бинарных отношений упорядоченности позволяет определять, при формировании таксономических структур онтологии, свойства выбора предпочтений, на основе которых принимается решение по включению определенных концептов.

**Список литературы:** 1. Guarino N. The Ontological Level / N. Guarino, R. Casati, N. Smith, G. White // Philosophy and the Cognitive Sciences. – Vienna : Holder-Pichler-Tempsky, 1994. – p. 443-456. 2. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф.

Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с. **3.** Шаталкин А.И. Таксономия. Основания, принципы и правила / А.И. Шаталкин. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 600 с. **4.** Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с. **5.** Фолта Я., Новы Л. История естествознания в датах: Хронологический обзор = Jaroslav Folta, Luboš Nový. Dejiny prírod nýchvied v dátach. Chronologický prehľad. – Bratislava, Smeňa, 1981 / Пер. со словац. к.х.н. З. Е. Гельмана; Предисл. и общ. ред. д.х.н. А. Н. Шамина. – М.: Прогресс, 1987. – 496 с. **6.** Малишевский А. В. Качественные модели в теории сложных систем / А. В. Малишевский. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 528 с. **7.** Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. – М.: Наука, 1974. – 256 с. **8.** Справочная книга по математической логике: В 4-х частях / Под ред. Дж. Барвайса. – Ч. III. Теория рекурсии: Пер. с англ. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 360 с. **9.** Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. – М.: Наука, 2006. – 333 с. **10.** Саати Т. Принятие решений. Метод анализ иерархий: Пер. с англ. / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с. **11.** Микони С.Д. Теория и практика рационального выбора: монография / С. Д. Микони. – М.: Маршрут, 2014. – 463 с.

*Поступила в редколлегию 9.06.2014*

УДК 004.9+005.94

**Таксономічні характеристики онтологічних систем** / О. Є. Стрижак // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 24–29.

Таксономії є множинною категорією. Упорядкованість таких категорії забезпечує їх застосування при формуванні онтологічних систем. Тому характеристиками їх ефективного застосування є множинні бінарні упорядкованості. Це дозволяє досить коректно визначити тематичні класи концептів онтології та визначити різні стани онтологічної системи.

Бібліогр.: 11 найм.

UDC 004.9+005.94

**Taxonomic Characteristics of Ontological Systems** / O. Ye. Stryzhak // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 24–29.

Taxonomies are multiple categories. The ordering of these categories provides used in the formation of ontological systems. Because the characteristics of effective use are multiple binary ordering. This allows one to correctly identify thematic classes ontology concepts and identify different states ontological system.

Ref.: 11 items.

УДК 519.62



Н.Т. Процай<sup>1</sup>, И.Д. Вечирская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, protsai.cmmm@gmail.com

<sup>2</sup>ХНУРЭ, Харьков, Украина, ivechir@gmail.com

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАЗА ЛИНЕЙНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА И ОТОБРАЖЕНИЯ ГАЛУА ПО ПУСТОЙ ОБЛАСТИ В ТЕРМИНАХ КВАНТОРНОЙ АЛГЕБРЫ ПРЕДИКАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

В статье проведен анализ определения образа линейного логического оператора и отображения Галуа по пустой области в теоретико-множественной трактовке и в терминах логики предикатов. Выявлена проблема в определении образа пустого множества на основании данных определений. Представлено решение данной проблемы с помощью аппарата кванторной алгебры предикатных операций.

ЛИНЕЙНЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ОПЕРАТОР, ОТОБРАЖЕНИЕ ГАЛУА, КВАНТОРНАЯ АЛГЕБРА ПРЕДИКАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ, КВАНТОР ОБЩНОСТИ, КВАНТОР СУЩЕСТВОВАНИЯ, ОБРАЗ МНОЖЕСТВА, ОБЛАСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МНОЖЕСТВА

### Введение

В математической литературе часто встречаются два отображения вида  $f: 2^M \rightarrow 2^N$ : линейный логический оператор  $F: 2^M \rightarrow 2^N$  и отображение Галуа  $G: 2^M \rightarrow 2^N$ .

Описание этих отображений на языках теории множеств и логики предикатов однозначно предписывает алгоритм вычисления образов. Однако, возникают технические трудности, когда при помощи данной трактовки необходимо определить образ пустого множества. Это связано с тем фактом, что образ множества определяется через образы входящих в него элементов.

Для решения данной проблемы в статье предложен аппарат кванторной алгебры предикатных операций. Кванторную алгебру предикатных операций можно рассматривать как формальную систему (или теорию), которая является алгебраизированной версией исчисления предикатов [1]. Кванторная алгебра предикатных операций – алгебра для записи операций над предикатами. Наряду с наличием полного базиса кванторной алгебры предикатных операций, известна система законов данной алгебры. Законы однозначно определяют алгебру.

Формулами кванторной алгебры предикатных операций служат кванторные выражения. Кванторными выражениями называются логические формулы, представляющие собой суперпозиции булевых операций кванторов, примененные к предметным и предикатным переменным. Кванторные выражения в числовой математике используются как логический инструментарий математики. Лишь логическая математика поставила вопрос о предании им статуса операций некоторой алгебры, а именно – алгебры предикатных операций, сделала их предметом специального изучения.

### 1. Определение линейного логического оператора и отображения Галуа на основе аппарата теории множеств и логики предикатов

Пусть  $K \subseteq M \times N$  – произвольное бинарное отношение,  $K(x, y)$  – заданный на  $M \times N$  соответствующий ему предикат,  $A$  – произвольное подмножество множества  $M$ . В качестве образа  $B$  множества  $A$  относительно  $K$  можно взять либо объединение образов тех элементов, которые составляют  $A$ , либо их пересечение:

$$B = \bigcup_{a \in A} S_a, \tag{1}$$

$$B = \bigcap_{a \in A} S_a, \tag{2}$$

Причем  $B$ , очевидно, будет подмножеством множества  $N$ .

Представим выражения (1) и (2) на языке логики предикатов. В случае объединения образов имеем

$$B(y) = \bigvee_{a \in A} S_a(y) = \exists x \in AK(x, y). \tag{3}$$

Обозначим отображение (3) через  $F: 2^M \rightarrow 2^N$ . Это отображение представляет собой общий вид линейного логического оператора в случае объединения образов. Свойства линейного логического оператора  $F: B(M) \rightarrow 2^N$ :

$$1) F(A_1 \vee A_2) = F(A_1) \vee F(A_2) \\ \text{или } F(A_1 \cup A_2) = F(A_1) \cup F(A_2);$$

$$2) F(0) = 0 \text{ или } (F(\emptyset) = \emptyset, \forall A_1, A_2 \subseteq M).$$

Аналогично выражение (2) переписывается в виде

$$B(y) = \bigwedge_{a \in A} S_a(y) = \forall x \in AK(x, y). \tag{4}$$

Данное отображение обозначим через  $G: 2^M \rightarrow 2^N$ . Оно является отображением Галуа, в случае, если  $B = \bigcap_{a \in A} S_a$ . Свойства отображения Галуа  $G: B(M) \rightarrow 2^N$ :

$$1) G(A_1 \wedge A_2) = G(A_1) \wedge G(A_2) \\ \text{или } G(A_1 \cap A_2) = G(A_1) \cap G(A_2);$$

$$2) G(0) = 1 \text{ или } (G(\emptyset) = N, \forall A_1, A_2 \subseteq M).$$

Отображения  $F$  и  $G$ , порожденные отношением  $K \subseteq M \times N$ , преобразуют подмножество  $A \subseteq M$  в подмножество  $B \subseteq N$ . Описание этих отображений в виде (3), (4) однозначно предписывает алгоритм вычисления образов. Однако возникают технические трудности, когда при помощи выражений (3), (4) необходимо определить образ пустого множества. Это связано с тем фактом, что образ множества определяется через образы входящих в него элементов. Исходные определения, как видно, имеют тот же недостаток. Для ответа на поставленный вопрос можно обратиться к отличной от (1), (2) теоретико-множественной записи  $F$  и  $G$ .

Так, согласно [2], отображение  $F: 2^M \rightarrow 2^N$  имеет вид

$$B = \{y \in N \mid (x, y) \in K \text{ для некоторого } x \in A\}. \quad (5)$$

Отображение  $G: 2^M \rightarrow 2^N$  выглядит следующим образом

$$B = \{y \in N \mid (x, y) \in K \text{ для всех } x \in A\}. \quad (6)$$

Представление отображений  $F$  и  $G$  в виде (5) и (6) можно рассматривать как задание множества  $B$  признаком (высказыванием). Задание множества признаками является мощным инструментом теории множеств, позволяющим определить множество по задающему его свойству. Так в выражениях (5) и (6) таким свойством является выражение в фигурных скобках, стоящее справа от вертикальной черты. Множества можно определять свойствами благодаря специальной аксиоме, иногда называемой принципом свертывания [2],[3].

Поскольку

$$(x, y) \in K \Leftrightarrow K(x, y),$$

то выражения (3) и (5) практически совпадают и задают одно и то же множество  $B$ . То же самое можно сказать и о выражениях (4) и (6). Попробуем на основании выражений (5) и (6) определить чему равно множество  $B$ , если  $A = \emptyset$ .

В различных математических источниках, где отображения  $F$  и  $G$  используются в качестве инструмента описания или исследования, данный вопрос не затрагивается.

Попробуем рассмотреть признак, которым задается множество  $B$  в этих выражениях. На первый взгляд кажется, что и в (5), и в (6)  $B = \emptyset$ , поскольку в обоих случаях условие (признак) кажется противоречивым, а значит такому условию не удовлетворяет ни один объект. С другой стороны можно прийти к выводу о том, что как в (5) так и в (6),  $B = N$ , если  $A = \emptyset$ . Рассмотрим, например, выражение (5).

Пусть  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ . Тогда выражение (5) можно переписать в виде

$$B = \{y \in N \mid (a_1, y) \in K \text{ или } (a_2, y) \in K, \dots, \text{ или } (a_k, y) \in K\}.$$

Логично предположить, что при  $A = \emptyset$  само это условие вырождается, т.е. будет пустым. Пустое условие естественно трактовать как отсутствие каких-либо ограничений на объект. Таким образом, если  $A = \emptyset$ , то выражение (5) можно представить в следующем виде

$$B = \{y \in N \mid - \} = \{y \in N \mid y - \text{любой объект} \} = \{y \in N\} = N.$$

Рассуждая аналогично, к такому же выводу можно прийти и для выражения (6).

Исходя из этого, делая выводы на основании одной лишь интуиции, можно прийти к противоположным выводам. Поэтому наибольшая ценность приведенных выше рассуждений относительно образа пустого множества состоит в том, что выявилось два типа противоположных друг другу условий при задании множества признаком. Во-первых, это противоречивое условие, которому не удовлетворяет ни один объект. Множество, заданное таким условием, будет пусто. Во-вторых, это пустое или вырожденное условие, которому удовлетворяет любой объект. Множество, заданное таким условием, будет либо ограничено некоторым условием по умолчанию – в рассмотренном случае таким условием было « $y \in N$ », – либо совпадать со всем универсумом рассматриваемой задачи. Попробуем найти четкий ответ на поставленный вопрос, используя аппарат кванторной алгебры [1].

## 2. Определение линейного логического оператора и отображения Галуа в терминах кванторной алгебры предикатных операций

Кванторную алгебру предикатных операций можно рассматривать как формальную систему (или теорию), которая является алгебраизированной версией исчисления предикатов [1].

Кванторной алгеброй называется алгебра предикатных операций с базисом операций, образованным из квантора существования  $\exists x_i \in A_i(X)$  ( $i = \overline{1, m}$ ), отрицания  $\neg X$  и дизъюнкции  $X \vee Y$  всевозможных предикатных операций, и с базисом элементов, образованным из предикатов узнавания предметов  $x_i^a$  ( $i = \overline{1, m}; a \in U$ ) и предикатных переменных

$$X_j \ (X, Y \in N; i, k = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; a \in A_i).$$

Предикаты узнавания предмета  $a$  по переменной  $x_i, i = \overline{1, m}, a \in A_i$  определяется следующим образом:

$$x_i^a = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i = a, \\ 0, & \text{если } x_i \neq a. \end{cases}$$

Символ  $a$  в записи предиката  $x_i^a$  называется его показателем.

Для предикатов узнавания предмета справедливы: закон отрицания:

$$\overline{x_i^a} = \bigvee_{\substack{b \in U \\ b \neq a}} x_i^b;$$

закон ложности:

$$\text{если } b \neq a, \text{ то } x_i^a x_i^b = 0;$$

закон истинности:

$$\bigvee_{b \in U} x_i^b = 1.$$

Все эти законы справедливы при любых  $x_i \in U, i = \overline{1, m}, a, b \in U$  [4].

Таким образом, несократимый базис кванторной алгебры состоит из операций дизъюнкции, отрицания и  $m$  кванторов существования, из  $\sum_{i=1}^m k_i$  предикатов узнавания предмета, где  $k_i$  – число предметов в множестве  $A_i (i = \overline{1, m})$  и из  $n$  предикатных переменных.

Кванторы общности и существования, которые широко используются в классической математике в качестве логического инструментария, можно выразить с помощью операции подстановки

$$x_i / a(X), (i = \overline{1, m}; a \in U).$$

Квантор общности по предметной переменной, как известно, для одноместных предикатов  $P(x)$  в случае конечной области изменения предметной переменной  $x$  определяется следующим образом [5]:

$$\text{если } U = \{a_1, a_2, \dots, a_k\},$$

$$\text{то } \forall x P(x) = P(a_1) \wedge P(a_2) \wedge \dots \wedge P(a_k).$$

В общем случае

$$\forall x_i(X) = \bigwedge_{a \in U} x_i / a(X).$$

Аналогично определяется квантор существования:

$$\text{если } U = \{a_1, a_2, \dots, a_k\},$$

$$\text{то } \exists x P(x) = P(a_1) \vee P(a_2) \vee \dots \vee P(a_k).$$

В общем случае [6]:

$$\exists x_i(X) = \bigvee_{a \in U} x_i / a(X).$$

Используя аппарат кванторной алгебры предикатных операций, приведем выражения (3) и (4) к такому виду, который позволит дать однозначный ответ на вопрос: чему равен образ линейного логического оператора и отображения Галуа по пустой области.

$$\begin{aligned} B(y) &= \bigvee_{a \in A} S_a(y) = \exists x \in AK(x, y) = \\ &= \bigvee_{a \in A} x / aK(x, y), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} B(y) &= \bigwedge_{a \in A} S_a(y) = \forall x \in AK(x, y) = \\ &= \bigwedge_{a \in A} x / aK(x, y). \end{aligned} \quad (8)$$

Для дальнейших формальных преобразований воспользуемся тождествами кванторной алгебры предикатных операций [7]

Выразим операцию подстановки через квантор существования:

$$x_i / a(X) = \exists x_i \in A_i(x_i^a \wedge X).$$

Используя данное тождество, преобразуем выражение (3)

$$\begin{aligned} \exists x \in AK(x, y) &= \bigvee_{a \in A} x / aK(x, y) = \\ &= \bigvee_{a \in A} (\exists x \in M(x^a \wedge K(x, y))). \end{aligned} \quad (9)$$

Далее преобразуем выражение, применяя тождества дизъюнктивно-конъюнктивной алгебры предикатов [1], [7] и закон дистрибутивности для квантора существования.

Законы дистрибутивности для кванторов существования и общности:

$$\forall x P(x) \wedge \forall x Q(x) = \forall x (P(x) \wedge Q(x)),$$

$$\exists x P(x) \vee \exists x Q(x) = \exists x (P(x) \vee Q(x)).$$

Эти равенства верны для любых предикатов  $P$  и  $Q$ . Это – дистрибутивные свойства кванторов, регулирующие раскрытие скобок и вынос кванторов за скобки.  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  – под символом  $x$  можно понимать также и целый набор переменных. После раскрытия скобок первое условие становится более сильным, а второе – более слабым. Поэтому имеют место такие следования:

$$\forall x P(x) \vee \forall x Q(x) \Rightarrow \forall x (P(x) \vee Q(x)),$$

$$\exists x P(x) \wedge \exists x Q(x) \Rightarrow \exists x (P(x) \wedge Q(x)).$$

Обратные следования неверны.

Используя все вышеперечисленные законы, проведем тождественные преобразования над выражением (3):

$$\begin{aligned} &\bigvee_{a \in A} (\exists x \in M(x^a \wedge K(x, y))) = \\ &= \exists x \in M\left(\bigvee_{a \in A} (x^a \wedge K(x, y))\right) = \\ &= \exists x \in M\left(\left(\bigvee_{a \in A} x^a\right) \wedge K(x, y)\right) = \exists x \in M(A(x) \wedge K(x, y)). \end{aligned}$$

Т.о., отображение (9) можно представить в виде

$$B(y) = \exists x \in M(A(x) \wedge K(x, y)). \quad (10)$$

Для преобразования выражения (4) понадобятся все вышеперечисленные тождества, а также законы де Моргана (законы отрицания) для кванторов [7].

Кванторные законы де Моргана имеют следующий вид

$$\overline{\forall x P(x)} \Leftrightarrow \exists x \overline{P(x)};$$

$$\overline{\exists x P(x)} \Leftrightarrow \forall x \overline{P(x)}.$$

При переброске отрицания через знак квантора он заменяется на противоположный. С помощью этих законов и закона двойного отрицания получают зависимости, выражающие один квантор через другой

$$\overline{\overline{\forall x P(x)}} \Leftrightarrow \overline{\overline{\exists x P(x)}};$$

$$\overline{\overline{\exists x P(x)}} \Leftrightarrow \overline{\overline{\forall x P(x)}}.$$

Преобразуем выражение (4), учитывая законы, приведенные выше.

$$\begin{aligned} \forall x \in AK(x, y) &= \overline{\forall x \in AK(x, y)} = \overline{\exists x \in \overline{AK(x, y)}} = \\ &= \overline{\bigvee_{a \in A} x/a \overline{K(x, y)}} = \overline{\bigvee_{a \in A} \left( \exists x \in M \left( x^a \wedge \overline{K(x, y)} \right) \right)} = \\ &= \overline{\exists x \in M \left( \bigvee_{a \in A} \left( x^a \wedge \overline{K(x, y)} \right) \right)} = \\ &= \overline{\exists x \in M \left( \left( \bigvee_{a \in A} x^a \right) \wedge \overline{K(x, y)} \right)} = \\ &= \overline{\exists x \in M \left( A(x) \wedge \overline{K(x, y)} \right)} = \forall x \in M \overline{\left( A(x) \wedge \overline{K(x, y)} \right)} = \\ &= \forall x \in M \left( \overline{A(x)} \vee K(x, y) \right). \end{aligned}$$

Тогда выражение  $G: 2^M \rightarrow 2^N$  можно представить в виде

$$B(y) = \forall x \in M \left( \overline{A(x)} \vee K(x, y) \right). \quad (11)$$

### 3. Линейный логический оператор и отображения Галуа по пустой области в терминах кванторной алгебры предикатных операций

Возвращаясь к вопросу: чему равны  $F(\emptyset)$  и  $G(\emptyset)$ , видим, что в выражениях (10) и (11) содержится ясный ответ, т.к. эти выражения позволяют подставить характеристический предикат  $A(x)$  любого подмножества  $A \subseteq M$ . При  $A = \emptyset$ ,  $A(x) = 0$ .

Подставляя в (10) вместо  $A(x)$  ноль, и учитывая  $x_i/a(0) = 0$ , получим:

$$\begin{aligned} B(y) &= \exists x \in M (0 \wedge K(x, y)) = \\ &= \exists x \in M (0) = \bigvee_{a \in M} x/a(0) = 0. \end{aligned}$$

Таким образом,  $F(\emptyset) = \emptyset$  при любом  $K \subseteq M \times N$ .

Подставляя  $A(x) = 0$  в (11), получим:

$$\begin{aligned} B(y) &= \forall x \in M (\overline{0} \vee K(x, y)) = \\ &= \forall x \in M (1 \vee K(x, y)) = \\ &= \forall x \in M (1) = \bigwedge_{a \in M} x/a(1) = 1. \end{aligned}$$

Последнее равенство получено с учетом  $x_i/a(1) = 1$ . Так как  $B(y) = 1$  при любом  $y \in N$ , то  $B = N$ . Таким образом,  $G(\emptyset) = N$  при любом  $K \subseteq M \times N$ .

#### Выводы

В статье решен вопрос определения образа пустого множества при помощи аппарата кванторной алгебры предикатных операций. На поставленный вопрос получен однозначный ответ, однако ответ

был получен на основании чисто формальных преобразований. Трудно осознать, почему были получены именно такие результаты. Почему, согласно выражению (5), пустому множеству соответствует пустое множество, а, согласно (6), пустому множеству соответствует все множество  $N$ , если эти выражения столь похожи. В связи с этим, данные результаты требуют отдельного осмысления и истолкования.

**Список литературы:** 1. Процай Н.Т. Алгебра предикатов и предикатных операций / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко, В.А. Чикина, Н.Т. Процай, В.В. Черкашин. Радіоелектроніка та інформатика. Харків: ХНУРЕ. —2005. —№1. — С. 80–86. 2. Голдблатт Р. Топосы. Категорный анализ логики / Голдблатт Р. — М.: Мир, 1983. — 487 с. 3. Коэн П. Дж. Теория множеств и континуум-гипотеза / Коэн П. Дж. — М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2010. — 344 с. 4. Бондаренко М. Ф. Теория интеллекта / Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. — Х.: СМІТ, 2006. — 563 с. 5. Newell A. Computer science as empirical inquiry: symbols and search / A. Newell, H. Simon // Communications of the ACM. — 1976. — № 19(3). — Р. 113-126. 6. Кравец Н. С. Алгебры предикатных операций и их применение в системах искусственного интеллекта: дис. ... кандидата техн. наук: 01.05.02 / Кравец Наталья Сергеевна. — Харьков, 2000. — 164 с. 7. Процай Н.Т. Анализ и синтез логических сетей на основе алгебры предикатов и предикатных операций: дисс. ... кандидата техн. наук: 01.05.02 / Процай Наталья Тимофеевна. — Харьков, 2010. — 155 с.

Поступила в редколлегию 18.06.2014

УДК 519.62

**Визначення образу лінійного логічного оператора та відображення Галуа по пустій області у термінах кванторної алгебри** / Н.Т. Процай, І.Д. Вечірська // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 2 (83). — С. 30–33.

У статті розглядається проблема визначення образу лінійного логічного оператора та відображення Галуа по пустій області. Запропоновано вирішення цієї проблеми за допомогою апарату кванторної алгебри.

Бібліогр.: 7 найм.

UDK 519.62

**Definition of appearance linear boolean operator and reflection of Galois to on empty area in terms of quantifier algebra** / N.T. Protsai, I.D. Vechirska // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 2 (83). — P. 30–33.

In article the problem of definition of appearance linear boolean operator and reflection of Galois is examined to on empty area. Solution of this problem is offered by the terms of quantifier algebra.

Ref.: 7 items.

УДК 681.513



О.Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАДОКСОВ ЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА СЕТЯХ ПЕТРИ

Парадоксы логического мышления смоделированы на сетях Петри. Модели могут быть модифицированы применительно к конкретным прикладным областям, а также интересны в плане наблюдения креативных функций человеческого мышления. Результаты перспективны к использованию при разработке экспертных систем и систем поддержки принятия решений в сложных ответственных ситуациях, где требуется минимизация возможного негативного влияния человеческого фактора.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ПАРАДОКС РАССЕЛА, ПАРАДОКС МОНТИ ХОЛЛА, УСИЛИТЕЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТА, СЕТИ ПЕТРИ

### Введение

*Человеческий интеллект* (ЧИ), т.е. «программное обеспечение» мыслительного аппарата человека, является неизменным прототипом и единственной *креативной* моделирующей средой разработки средств *вычислительной техники* (ВТ) [1]. Наряду с подобной уникальностью и безальтернативностью, ЧИ существенно ограничен по своим возможностям (техническим характеристикам) и нуждается в *усилителях человеческого интеллекта* (УЧИ) [2], которыми и являются средства ВТ, создаваемые ЧИ и применяемые для решения ширящегося круга прикладных задач. В связи с этим, ряд особенностей работы ЧИ требует изучения в плане оценки позитивных и негативных сторон их проявления. Одна из таких особенностей – восприятие *парадоксов логического мышления* (ПЛМ). В расширенном смысле восприятие ПЛМ – это позитивная способность выделять из *окружающего мира* (ОМ) ранее неизвестное на фоне известного, с последующим подключением механизмов, реализующих познавательный процесс, для построения уточнённых моделей ОМ. Негативная сторона ПЛМ – возможность неправильной интерпретации логики событий ОМ и, как следствие, возникновение «логических ошибок» в процедурах принятия решений. Различные «парадоксальные aberrации» могут быть приемлемы в литературно-художественном смысле, но они совершенно недопустимы в инженерно-технических приложениях, в частности в *экспертных системах* (ЭС) и *системах поддержки принятия решений* (СППР). Основное назначение ЭС и СППР – минимизация возможного негативного влияния *человеческого фактора* (ЧФ), т.е., привычки (практики) исходить из «*здорового смысла*» (ЗС), который зачастую подводит, и принимать «интуитивные решения», которые часто оказываются не наилучшими.

Показательны рассматриваемые далее *парадокс Рассела* (ПР) [3], *парадокс Монти Холла* (ПМХ) [4], а также парадоксы «*неожиданной казни*» (ПНК) [5] и «*бутылки Стивенсона*» (ПБС) [5], которые

зачастую (в реальной человеческой практике) не имеют формализации (известны в вербальном изложении), а также, при ближайшем рассмотрении, собственно парадоксами и не являются, но демонстрируют непоследовательность ЧИ, как образчик влияния ЧФ.

Цель настоящей работы – моделирование ПЛМ – разработка принципов (базовых подходов и типовых решений) формализации и воспроизведения их логических структур средствами аппарата *сетей Петри* (СП) [6]. Представляется целесообразным, чтобы логические структуры, типа рассматриваемых далее СП-моделей, были разработаны, как типовые решения, для использования, в частности, в практике разработки ЭС и СППР.

### 1. Парадоксы и модельные представления

В энциклопедиях и толковых словарях имеются десятки словесных определений понятия «парадокс», различные в деталях, но в основном пересекающиеся по смыслу. Резюмируем известные определения (не претендуя на всеобщность и окончательность, поэтому без конкретизации и разбора литературных источников) следующим образом.

*Парадокс – есть обнаружившееся (ранее бывшее неизвестным) несоответствие ЗС.*

В этой формулировке «ранее бывшее неизвестным» значит, что парадокс, как только он становится достаточно известным (в науке, или конкретному индивиду, который его рассматривает), зачастую перестаёт быть парадоксом, а становится просто фактом – явлением ОМ. В типовом случае при этом говорится: парадокс «получил своё объяснение».

Для пояснения понятия ЗС ограничиваемся двумя высказываниями, приписываемыми А. Эйнштейну: «ЗС – это сумма предубеждений, приобретённых до восемнадцатилетнего возраста» и «ЗС говорит нам, что Земля плоская».

Таким образом, парадокс – есть ошибочность, наводящая индивида на размышления. Если парадоксы существуют, то это потенциально позволяет

усомниться в логичности организации ОМ или в «разумности» ЧИ. И то, и другое – в действительности есть ограничения применимости текущей используемой модели ОМ. Ложное понимание (интерпретация) индивидом этого ограничения модели как недостатка (ущербности) ОМ или логики работы ОМ – есть ограничение ЧИ. То есть, по существу, парадоксы проявляются при догматизации модели ОМ, приписывании модели ОМ приоритетности по сравнению с оригиналом ОМ. Наличие (наблюдаемость) этого ограничения ЧИ является *главным* парадоксом ЧИ. Поясним этот тезис более подробно исходя из понятия модели.

*Модель – есть отражение объекта или явления ОМ в ЧИ или модельной (электронной или физической) среде.* При этом, модельная среда являющейся по существу продолжением (усилителем определённых функций [2]) ЧИ. Примером модельной среды являются, в частности, СП [6].

Модель ОМ создаётся ЧИ коллективно (как накопление и обобщение отдельных фрагментов индивидуального человеческого опыта) и помещается в индивидуальное *человеческое сознание* (ЧС) (сознание конкретного индивида) в процессе обучения. Модель ОМ представляет собой набор запретов и ограничений, выход за которые (несоответствие которым) потенциально приводит к непредсказуемым результатам (опасностям). Всякая модель создаётся не в единственном числе и не навсегда, а по различным аспектам или прикладным направлениям ОМ, и на период пока будут осознаны ошибочные аспекты модели. Разные модели могут быть взаимно согласованными, либо частично противоречить друг другу. Наличие частичных противоречий является фактором научно-технического прогресса – движущей силой к разработке новых моделей. В этой связи показательно известное частное высказывание Н.В. Тимофеева-Ресовского (классика генетики) об отсутствии противоречий: «...в настоящий момент по данному вопросу имеется полная ясность, что свидетельствует о его недостаточной изученности...». То есть, имеется согласованность между моделями; следовательно, не выявлены противоречия; следовательно, развитие в данном направлении пока не предполагается.

С учётом сказанного, человеческое развитие, как процесс взаимодействия ЧИ с ОМ, предстаёт как череда последовательно сменяющихся моделей ОМ. ОМ, сам по себе, не дружелюбен по отношению к индивиду; скорее даже опасен (враждебен, агрессивен). Следует помнить, что вид *Homo sapiens* осваивал (отвоёвывал) свою экологическую нишу в серьёзной конкурентной борьбе, пока взобрался на вершину соответствующей питательной цепи [1] (стал «царём природы»). Эта борьба осуществлялась последовательным осознанием опасностей

ОМ и выработкой правил (приёмов, законов, действий) по противодействию опасностям. То есть, речь идёт о создании и последовательном совершенствовании моделей ОМ, включая модели человеческого поведения по отношению к ОМ. Каждая из моделей, в том числе и текущая, не вполне адекватна ОМ, но текущая модель является максимально безопасной (комфортной, наилучшим образом соответствующей), поскольку является последним (актуальным) достижением ЧИ. Человек живёт в ОМ, руководствуясь ограничительными правилами этой модели, т.е. по существу живёт не во всём ОМ, а только в его части, охваченной (очерченной, ограниченной, разрешённой) текущей моделью ОМ. В указанном смысле допустимо говорить о том, что человек живёт в созданной им модели ОМ, не видя, не понимая и не воспринимая предметов и явлений ОМ, находящихся вне этой модели. В этом проявляется ограниченность ЧИ, реализующаяся в конкретном индивидуальном ЧС.

Выявление неизвестной части ОМ, отсутствующей в модели, в типовом случае проявляется как: «этого не должно быть потому, что это противоречит ЗС». То есть, контакт с неизвестной частью ОМ осуществляется посредством выявления *парадокса*. По существу, парадокс – есть осознание индивидом непонимания ситуации (объекта, явления), т.е., осознание несоответствия ситуации ЗС, т.е., текущей модели ОМ.

Но *главный* парадокс – в другом. В типичном случае индивидуальное ЧС «срослось» и «сроднилось» с текущей моделью ОМ на столько, что постулирует её непогрешимость, поскольку *обычно* (т.е. в обыденных случаях, очерченных самой моделью) модель бывает правильной, а ошибку допускает соответствующий индивид. Поэтому модель ошибочно воспринимается как нечто первичное по отношению к ОМ. Типичные примеры – постулирование наличия Бога в религиозном мировоззрении; игнорирование археологических артефактов в традиционной истории; недоверие к редким наблюдениям, стремление необоснованно объяснять всё аппаратными ошибками, в точных науках. В этой ограниченности ЧИ состоит первопричина, и *главным* парадоксом является то, что несоответствие модели выявляется, парадокс обнаруживается, но субъективно воспринимается как несоответствие ЗС и интерпретируется как недостаток (ущербность) ОМ или логики работы ОМ. То есть парадоксальным является сам механизм проявления парадоксов.

В связи со сказанным, представляет интерес *моделирование парадоксальности*, т.е. построение моделей, позволяющих демонстрировать и исследовать парадоксы, в частности ПЛМ. В этом отношении, интересно рассмотреть возможности, предоставляемые СП, которые известны как

математический аппарат для моделирования динамических дискретных распределённых асинхронных систем [6]. Ключевым элементом СП является двудольный ориентированный граф, состоящий из вершин двух типов – *мест* и *переходов*, соединённых между собой дугами. Двудольность, по определению, есть запрет связей *место-место* и *переход-переход*. Представимость СП в виде графа автоматически наделяет аппарат СП изобразительными (визуализационными) средствами.

Помимо статических (конфигурационных, топологических) характеристик, аппарату СП присущ так же динамический аспект. В *местах* могут размещаться *метки*, которые могут перемещаться по сети. Процессы, происходящие в СП, представляют собой последовательность событий – срабатываний *переходов*, при которых *метки* из входных *мест* данного *перехода* перемещаются в выходные *места* этого *перехода*. Последовательность событий (срабатываний *переходов*) – может интерпретироваться как время. Само событие (срабатывание) – непротяжённое во времени.

При построении прикладных моделей, к конкретным предметным областям, применимы варианты (модификации, разновидности) СП, различающиеся структурными ограничениями и деталями в процедуре смены разметки. Важны, в частности, СП с фиксированной последовательностью срабатывания *переходов*. Показано [6], что этот тип СП позволяет реализовать полный набор формально-логических операций. Это значит, в частности, что потенциально имеется возможность реализовать *логику* некоторых моделируемых событий, или проверить «логичность» того, что происходит.

Рассмотрим далее перечисленные выше ПЛМ [3-5] в представлении *логики* их работы средствами моделирования на СП.

## 2. Моделирование парадокса Рассела

Собственно ПР [3] состоит в следующем. В некоем высказывании отрицается его истинность. Например, говорится: «данное высказывание является ложным». Спрашивается, является ли это высказывание истинным или ложным. Если предположить, что высказывание истинно, то согласно самому этому высказыванию оно ложно. Если же исходить из того, что высказывание ложно, то это как раз то, что в нём утверждается, т.е. высказывание истинно. Таким образом, ПР демонстрирует расхождение с формальной логикой, вводя высказывание, которое одновременно истинно и ложно (либо не истинно и не ложно). В формальной логике такое высказывание *не интерпретируемо*, т.е. не доказуемо и не опровержимо. Однако, парадоксальность ПР состоит, собственно, даже не в том, что имеются (могут быть сформулированы) подобные высказывания. Формально от них всегда

можно отмахнуться (типичный приём, применяемый в догматике), сказав, что они просто не являются логическими. Парадоксально то, что логика, повсеместно применяемая как точная наука и общечеловеческая практика корректности рассуждений, допускает подобные «сбои» и оказывается ограниченной по своей применимости. Так же парадоксально то, что ЧИ оказывается способным обнаружить подобные парадоксы. Следовательно, ЧИ оперирует вещами (понятиями, объектами) более общими и более эффективными, чем логика (структуры логических умозаключений). В этом контексте неизменно вызывают интерес эксперименты по интерпретации подобных ситуаций с ограничениями (т.е. парадоксов) в одних описательных аппаратах, средствами других описательных аппаратов. Эти эксперименты позволяют увидеть ранее неизвестное (первоначально не замеченное), поскольку они неизбежно демонстрируют интеллектуальные аспекты деятельности ЧС, т.е. всего того, что позволяет обнаруживать парадоксы.

ПР в теоретико-множественной и формально-логической формулировках был рассмотрен Бертраном Расселом (B. Russell) в начале XX века. Однако, в содержательном плане парадокс восходит ещё к античности. Известно, что «критянин Эпимемнид утверждал, что все критяне лжецы». В другой формулировке действие переносится с Крита в Грецию: «некий грек утверждал, что все греки лжецы».

Представляет интерес *интерпретация* ПР – его демонстрация средствами формального интерпретационно-описательного аппарата СП. Для наглядности, использована вербальная формулировка парадокса.

СП-модель ПР представлена на рисунке 1. *Места* обозначены буквами (a, b, c, d, a<sup>1</sup>, b<sup>1</sup>, c<sup>1</sup>, d<sup>1</sup>, k); *переходы* – пронумерованы. Нумерация *переходов* соответствует последовательности их срабатывания. Высказывание «*критянин* утверждал, что *все критяне лжецы*» содержит 4 ключевых (смысловых) элемента (слова, выделенные курсивом), по отношению к которым применено кодовое представление: «1111».

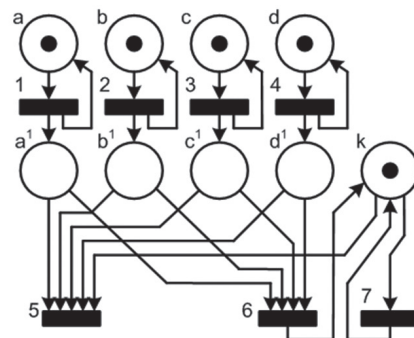


Рис. 1. Классический вариант парадокса Рассела

Для примера: если бы высказывание было «*критянин* утверждал, что *не все критяне лжецы*», кодовая комбинация была бы «1011». Высказывание в кодированном представлении помещено в *местах* (a, b, c, d). *Метки* обозначают единицы. В *месте* k содержится суждение о высказывании: «наличие метки» – «1» – «высказывание истинно»; либо «отсутствие метки» – «0» – «высказывание ложно». При срабатывании *переходов* (1, 2, 3, 4) код высказывания копируется в (a<sup>1</sup>, b<sup>1</sup>, c<sup>1</sup>, d<sup>1</sup>). Затем *переходы* (5, 6, 7), срабатывая в указанном порядке, реализуют анализ высказывания. Если высказывание «1111» истинно – срабатывает *переход* 5, который просто поглощает *метки*. Для срабатывания *переходов* 6 или 7 – *метки* отсутствуют. В результате, *место* k не получает *метки*. Таким образом, первый шаг работы (смены разметки) СП демонстрирует «первую часть» ПР – ситуацию «если высказывание истинно, то оно ложно». В следующем цикле смены разметки *переходы* (1, 2, 3, 4) снова копируют *метки*, затем *переход* 5 – не срабатывает, т.к. на его входе отсутствует *метка* из *места* k. Затем последовательно срабатывают *переход* 6 (извлечение *меток* из (a<sup>1</sup>, b<sup>1</sup>, c<sup>1</sup>, d<sup>1</sup>) и помещение *метки* в k), и *переход* 7 (извлечение и помещение *метки* в k). В результате, второй шаг работы СП демонстрирует «вторую часть» ПР – ситуацию «если высказывание ложно, то оно истинно». Последующие шаги работы СП демонстрируют «первую» и «вторую» части ПР в цикле.

Если использовать код «1011», *переходы* 5 и 6 никогда не срабатывают, *переход* 7 всякий раз отработывает восстановление *метки* в k и никакого ПР не получается. Различие демонстрируется картами смены разметки для «1111» (слева) и «1011» (справа):

	a	b	c	d	a <sup>1</sup> d <sup>1</sup>	k
0	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0	0
2	1	1	1	1	0	1
3	1	1	1	1	0	0

	a	b	c	d	a <sup>1</sup> d <sup>1</sup>	k
0	1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0	1
2	1	0	1	1	0	1
3	1	0	1	1	0	1

Нулевая разметка *мест* a<sup>1</sup>, b<sup>1</sup>, c<sup>1</sup>, d<sup>1</sup> (для краткости – единая колонка a<sup>1</sup> d<sup>1</sup>) не меняется, поскольку, как понятно из предыдущего, эти *места* являются вспомогательными. В качестве «домашнего задания», можно опробовать любые другие кодовые комбинации в (a, b, c, d) и убедиться, что только «1111» демонстрирует ПР – чередование «0» и «1» в столбце k.

### 3. Модифицированная модель парадокса Рассела

Возможно, модель рис. 1 в содержательном плане покажется не слишком репрезентативной. Но её содержательность – в другом. Если сделана простая модель на СП, то её можно модифицировать, дополнять, комбинировать, объединять с другими моделями. А поскольку первоначальная модель демонстрирует парадоксальную ситуацию, то

модифицированные варианты также интересны в плане наблюдения наличия либо отсутствия парадоксальности, что в свою очередь, как отмечалось, является демонстрацией некоторого интеллектуального аспекта деятельности ЧС.

На рис. 2 представлен один из простых *модифицированных* вариантов модели. В ней «литературно-исторический персонаж» Эпимемнид является одновременно и греком, и критянином. В качестве бонуса за своё двойное гражданство Эпимемнид получает некую «непогрешимость в суждениях». Иначе говоря, высказывание выглядит следующим образом: «*греко-критянин* утверждал, что *все греки лжецы* и *все критяне лжецы*, но *все греко-критяне – правдивы*».

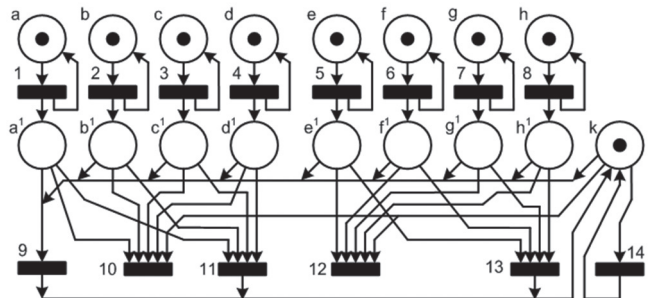


Рис. 2. Модифицированный вариант СП-модели парадокса Рассела

В полном соответствии с классическим вариантом ПР, проиллюстрированным рисунком 1, *переходы* 10 и 12 поглощают все *метки*, а *переходы* 11 и 13 возвращают *метку* в *место* k. Но кроме того имеется *переход* 9, реализующий эксклюзивное качество «греко-критянина Эпимемнида» и возвращающий *метку* в k. В результате, при разметке *мест* (a, b, c, d, e, f, g, h) кодовой комбинацией «1111 1111» – парадоксальность отсутствует, а любые нарушения в одной и только в одной из четвёрок, например «1111 1001» или «1011 1111», – создают парадоксальность. Сказанное иллюстрируется картами смены разметки СП-модели для трёх указанных примеров. Как и в предыдущей модели, парадоксальность изображается чередованием «0» и «1» в столбце k. Карты представлены последовательно, в указанном выше порядке:

	a	b	c	d	e	f	g	h	a <sup>1</sup> -h <sup>1</sup>	k
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

	a	b	c	d	e	f	g	h	a <sup>1</sup> -h <sup>1</sup>	k
0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
2	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
3	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0

	a	b	c	d	e	f	g	h	a <sup>1</sup> -h <sup>1</sup>	k
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
2	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
3	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0

В качестве «самостоятельной проработки», можно опробовать любые из остальных 253 кодовых комбинаций и убедиться, в частности, что если обе четвёрки кода с нарушениями (содержат нули) – парадоксальность снова исчезает.

Переходы 7 (рис. 1) и 14 (рис. 2) в представленных двух вариантах модели ПР являются «информационно-избыточным», поскольку при их срабатывании состояние разметки СП не меняется. Тем не менее, в них имеется смысл. Обе представленные модели являются демонстрационными и воспроизводят достаточно простые ситуации с единственным «индикатором истинности». Если же речь идёт о применимости к более сложным многокритериальным и распараллеленным логическим структурам, что может быть более приближено к реальным прикладным ситуациям, то в моделях могут наличествовать несколько «индикаторов» (критериев, показателей) истинности со сложным взаимоупорядочением. Так же ситуация коренным образом изменяется с введением, например, нечётких представлений (что требует отдельного рассмотрения). В подобных случаях конструктивные элементы, типа переходов 7 (на рисунке 1) и 14 (на рис. 2), незаменимы, в частности, при отладке и верификации сложных моделей.

#### 4. Демонстрация парадокса Монти Холла

ПМХ [4], известный так же как «парадокс козла за дверью», так же допускает реализацию в виде модели на сетях Петри. Модель может быть модифицирована применительно к конкретным прикладным техническим областям, и интересна в плане наблюдения креативных функций ЧС и в аспекте минимизации негативного влияния ЧФ. То, что называется ПМХ [4], само по себе, собственно говоря, парадоксом не является. В нём не содержится неразрешимого противоречия. Скорее, это может быть названо задачей по теории вероятности, решение которой, на первый взгляд, противоречит ЗС. Сама задачка основана на вероятностной игровой ситуации – американском телешоу, по имени *ведущего* которого и назван парадокс.

Формулировка задачи – следующая. Имеются три закрытых двери, за которыми находятся призы. За одной из дверей находится автомобиль, за двумя другими – козлы. *Ведущий* знает, где находится автомобиль. Задача *участника* – правильно выбрать дверь и таким образом, удачно получить приз. *Ведущий* предлагает *участнику* выбрать одну из трёх дверей. *Участник* указывает на одну из дверей, после чего *ведущий* открывает одну из оставшихся дверей, за которой, естественно, находится козёл, и предлагает *участнику* возможность изменить свой выбор двери. Вопрос: увеличатся ли шансы *участника* выиграть автомобиль, если *участник* примет предложение *ведущего* и изменит

свой выбор? Ответ: выигрышным является именно решение изменить выбор. Вероятность получения главного приза при этом растёт [7]. Однако, наличие ЧФ в подобных даже не слишком сложных логических ситуациях вовсе не способствует принятию правильного решения.

Перед началом построения модели сделаем два замечания, конкретизирующие логику её работы.

Первое. В самой задаче двери – не пронумерованные. Точнее, множество дверей не является линейно упорядоченным. Двери – просто *разные*. В связи с этим, в создаваемой модели, без нарушения общности, можно считать, что после того как *участник* сделал первоначальный выбор двери, эта дверь «называется» 1-й. Это эквивалентно ситуации, когда двери пронумерованы, но *участник* всегда первоначально выбирает 1-ю дверь.

Второе. *Ведущий*, принимая решение о том, которую из дверей открыть, «мысленно рассматривает» только 2-ю дверь. Если за 2-й дверью козёл, *ведущий* её открывает; если же там автомобиль, *ведущий* открывает 3-ю дверь. Т.о. *ведущий* попросту минимизирует ситуацию для *участника*, сводя её к двум альтернативам.

На рис. 3 представлена СП-модель, разработанная с учётом приведённых замечаний. Места обозначены *a, b, c, ..., m, n*; переходы пронумерованы в порядке их срабатывания. Входной информацией для модели являются: решение *участника* «менять – не менять» свой выбор (*место a*) и «растановка призов» (*места b, c, d*). Метка в *месте a* представляет решение менять выбор, отсутствие метки – следовать первоначальному выбору; метка в одном из *мест b, c* или *d* (и только в одном – по условиям игры) изображает автомобиль; отсутствие меток в двух остальных из указанных *мест* – изображает двух козлов. Представленные варианты расстановки *меток* в *местах a, b, c, d* – в совокупности, демонстрируют все шесть возможных альтернатив реализации игры. Так, согласно разметке на рисунке 3, приз находится за 1-й дверью, но *участник* меняет свой первоначальный выбор и впоследствии (на следующем шаге работы СП) – проигрывает.

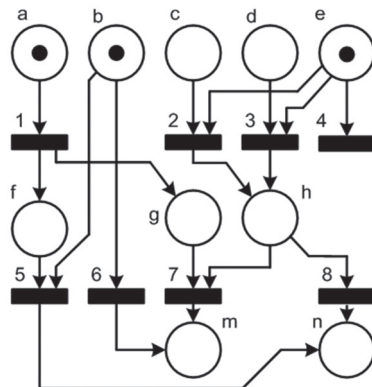


Рис. 3. Сеть Петри, демонстрирующая парадокс Монти Холла

Место *e* изображает «активность» *ведущего* и в представленной модели всегда должно быть размечено. Места *f*, *g* и *h* – промежуточные. Они используются в процессе работы (смены разметки) СП-модели. Наконец, места *m* и *n* – изображают исход (результат) игры: «выигрыш» и «проигрыш» участника, соответственно.

Переходы срабатывают последовательно, согласно нумерации. Принимая решение сменить альтернативу, участник выполняет два действия: отказывается от предыдущей альтернативы и принимает новую альтернативу. Если участник принял такое решение, метка из места *a* дублируется в *f* и *g* переходом 1. Затем один из переходов 2 или 3 сбросил бы метку в место *h*, если бы автомобиль находился за 2-й или 3-й дверью. Переход 4 удаляет не использованную метку из *e*.

На момент срабатывания 4-го перехода выполнена первая часть игры: указана 1-я дверь, ведущий открыл одну из оставшихся дверей (тем самым выведя её из дальнейшего рассмотрения) и участник принял решение по окончательному выбору двери. Далее последовательно спрашиваются переходы 5 – 8. 5-й переход сработает только в варианте, иллюстрируемом рисунком 3. При «разрядке» перехода – метка сбрасывается в *n*, что соответствует «проигрышу». 6-й переход сработал бы, если бы отсутствовала метка в *a* (ситуация – участник сразу указал правильную дверь и не изменил решения). В этом случае при «разрядке» 6-го перехода метка сбросилась бы в *m*, что соответствовало бы «выигрышу». При срабатывании 7-го перехода отыгрываются два выигрышных варианта: автомобиль находится за 2-й или 3-й дверью и участник при этом изменил выбор двери. В этом случае при «разрядке» 7-го перехода – метка поступает в *m*. Наконец 8-й переход реализует два проигрышных варианта: участник не изменил выбора. При этом метка из *h* (автомобиль за 2-й или 3-й дверью) сбрасывается в *n* – «проигрыш».

Ниже представлены карты смены разметки СП-модели для проигрышных (1-3) и выигрышных (4-6) вариантов игры. Разметка, иллюстрируемая рисунком 3 – 1-й вариант. Легко видеть, что выигрышных вариантов столько же, сколько и проигрышных, но участник имеет возможность повысить свои шансы. Из числа выигрышных вариантов, – два реализуются сменой выбора двери. То есть смена выбора двери – вдвое более выигрышная стратегия.

	a	b	c	d	e	f	g	h	m	n
(1)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
(2)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
(3)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

(4)	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
(5)	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
(6)	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
(5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
(6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
(6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Представленная модель, возможно, более эффективно выглядела бы при реализации на ингибиторных СП [6], в которых допустима инверсная логика с запретом срабатывания перехода, если во входной позиции, связанной с переходом, находится метка. Показано [6], что ингибиторные СП эквивалентны по возможностям СП с фиксированной последовательностью срабатывания переходов. В частности, они так же позволяют реализовать полный набор формально-логических операций. Однако на практике реализация ингибиторной СП в виде программы – проигрышна по расходу вычислительных ресурсов, поскольку при представлении каждой связи место-переход требуется выразить три альтернативы: метка отсутствует, обычная метка и инверсная метка. Для программного представления этой информации требуется 2 бита, которые расходуются с избытком. Поэтому СП-модель с фиксированным срабатыванием переходов более востребована.

ПМХ [4] допускает многочисленные модификации и обобщения, не всё из которых в полной мере изучены. Это касается не только варьирования числа дверей, автомобилей и козлов, но и (что более содержательно) правил и процедур открытия дверей, введения дополнительного разнообразия свойств и характеристик автомобилей и козлов (т.е. разнообразия ценности призов), а также возможной частичной или полной «нечестной игры» – перемещения козлов за закрытыми дверями. Если понимать двери, автомобили и козлов не буквально, а метафорически, то речь идёт о частично детерминированной системе с частично известными правилами работы. В этом смысле модифицированные варианты ПМХ есть многообразные модели окружающего мира, познание объектов и законов изменения которого бесконечно и неисчерпаемо.

Что касается самой рассмотренной модели в представленном варианте, то возможно покажется, что ПМХ выглядит слишком просто, чтобы иметь прикладную ценность. Однако следует помнить, что соответствующая игра и телевизионное шоу реально существовали и имели своих участников и зрительскую аудиторию. Следовательно, даже в таком простом варианте, задачи и ситуации типа ПМХ отвечают потребностям и соответствуют интеллектуальному уровню определённого человеческого контингента. Реально, ЧФ изучен крайне недостаточно. Проявления ограниченности ЧИ вовсе не являются аномальными, а скорее

представляют собой норму. При этом они могут представлять существенную опасность при взаимодействии человека с техническими системами в современном высокоэнергетическом и технологически насыщенном мире. Данный вопрос должен расширенно изучаться, в том числе с применением методов моделирования и моделей типа рассмотренной.

### 5. Демонстрация парадоксов «неожиданной казни» и «бутылки Стивенсона»

Как отмечалось, ЧИ в основном ограничен кругом повседневной жизни, в котором события протекают одно *после* другого, часто образуя причинно-следственные связи. Здесь «*после*» — значит во времени, и этот аспект *следования* событий является столь естественным, что иной (изменённый) ракурс их рассмотрения порой может скрыть нарушение причинно-следственных связей и нарушить саму логику событий. Показательны в этом отношении рассматриваемые далее парадоксы ПНК и ПБС [5], которые не имеют математической формализации (известны в литературно-художественном изложении), но допускают реализацию в виде СП-модели.

*Парадокс «неожиданной казни»* изложен в одной из книг по занимательной математике Мартина Гарднера [8] в виде такой притчи. Некий преступник осуждён на смертную казнь с такой формулировкой. Приговор должен быть приведён в исполнение в течение недели (с понедельника по воскресенье), причём о конкретном дне казни преступник не должен знать заранее. Если же он узнает о дне казни заранее, — он должен быть отпущен на свободу. После оглашения приговора, преступник представил судье следующее *парадоксальное* объяснение.

Допустим, я не казнён в субботу. Это значит, что я буду знать, что буду казнён в воскресенье. Значит, я не могу быть казнён в воскресенье. Теперь допустим, что я не казнён в пятницу. Поскольку я не могу быть казнён в воскресенье, то это значит, что я буду знать, что я буду казнён в субботу. Это значит, что я не могу быть казнён так же и в субботу. Далее допустим, что я не казнён в четверг. Это значит, что я буду знать, что, поскольку я не могу быть казнён в субботу или воскресенье, значит, я буду казнён в пятницу. А это значит, что я не могу быть казнён в пятницу. И так далее, до понедельника. Но в понедельник я тоже не могу быть казнён, потому что, знаю, что должен быть казнён в понедельник, потому что не могу быть казнён со вторника по воскресенье. Таким образом, я вообще не могу быть казнён и тогда, согласно формулировке приговора, должен быть немедленно отпущен.

Несколько многословно, зато исчерпывающе. Вопрос: как следует поступить судье? Ответ: судье

может быть рекомендовано, в качестве СППР, воспользоваться СП-моделью, рассмотренной нами далее.

*Парадокс «бутылки Стивенсона»* так же имеет литературный первоисточник — фантастический рассказ Р.Л. Стивенсона *The Bottle Imp* [9]. Не слишком углубляясь в подробности, обозначим основную интригу. Имеется артефакт, исполняющий желания (по сюжету это бутылка, внутри которой сидит чёртик). На протяжении значительного периода человеческой истории артефакт передаётся от хозяина к хозяину посредством купли-продажи за всё меньшую сумму. Текущий владелец артефакта не ограничен в реализации своих желаний, но ещё до окончания своей жизни должен успеть избавиться от артефакта: найти нового владельца и продать ему артефакт. В противном случае — он сам попадает в ад. Цена продажи — договорная, но обязательно должна снижаться при каждой следующей смене хозяина: артефакт это магическим образом отслеживает. Это значит, что неотвратима последняя купля-продажа за минимальную стоимость — самую мелкую денежную единицу, поддерживаемую данной валютной системой. Но это также значит, что ещё до достижения этого минимума стоимости, артефакт будет сложно продать, потому что новому хозяину будет ещё сложнее его продать.

В [9] рассмотрены некоторые варианты решения этой «маркетинговой задачи», в частности, игра на человеческой жадности, переход в другую валютную систему с более мелкой минимальной денежной единицей, наконец, нахождение «абсолютного грешника» для которого попадание в ад не имеет альтернатив. Но остаётся известная неудовлетворённость от «неполной изученности» вопроса. В частности, какова может быть оптимальная индивидуальная (или коллективная) стратегия по вопросу приобретения или отказа от приобретения подобного артефакта? Или, по крайней мере, что может влиять на выработку такой стратегии? Ответ: как и в случае парадокса «неожиданной казни», в качестве СППР, может быть рекомендована СП-модель, рассмотренная далее.

Для разработки методов формализации ПНК и ПБС средствами СП-модели, целесообразно установить присущие им общность и различия.

*Общность.* В обоих парадоксах имеется некоторый неотвратимо и однонаправлено убывающий ресурс, который не может быть реверсирован, т.к. однозначно связан со временем. В обоих парадоксах с этим ресурсом работают люди, которые жизненно заинтересованы в его реализации: ведётся некоторая игра, в которой главный персонаж пытается выйти из ситуации с этим расходуемым ресурсом. В обоих парадоксах действие происходит дискретно во времени, посредством смены дней,

либо смены персонажей (владельцев). Так же, в обоих парадоксах имеется элемент случайности (неопределённости) по окончательному исходу или по принятию окончательного решения.

*Различия.* В ПВК персонаж — один человек, в ПБС — группа последовательно сменяющих друг друга персонажей. В ПВК дожить до последнего дня — единственный позитивный исход, в ПБС оказаться последним участником — единственный негативный исход.

Таким образом, черт сходства много, а различий — мало и они малосущественны. Группа или один персонаж — это всего лишь особенность процедуры смены дискретов времени, а негативность-позитивность — только знак проявления конечного эффекта. С точки зрения логики работы парадоксов — ни то, ни другое не существенно. В связи с этим, логично будет попробовать объединить оба парадокса в одной модели.

В связи с изложенным, в качестве *мест* в СП-модели должны присутствовать: субъект (один человек, движущийся во времени, либо персонажи, сменяющие друг друга), внешние обстоятельства, воздействующие на субъекта, а также оценка внешних обстоятельств субъектом. *Переходы* СП-модели должны обеспечивать три действия (в указанном порядке): проверку адекватности оценки субъектом внешних обстоятельств, реализацию внешних обстоятельств, движение субъекта во времени.

*Модель парадокса «неожиданной казни».* Конкретизируем некоторые особенности парадокса. Требуется уточнение понятия «заранее» и «знать заранее». Будем считать, что «заранее» значит «раньше, чем в день казни». То есть если палач, уже непосредственно «находясь при исполнении служебных обязанностей», говорит преступнику: «...сейчас мы отрубим тебе голову...», то это не значит, что преступник узнаёт об этом «заранее». Уточнение понятия «знать заранее» состоит в обоснованности знания. Если преступник видел вещий сон, или гадалка нагадала, или он сам себе решил наугад — то это «знанием заранее» не считается, ввиду необоснованности. Информация должна быть достоверной и вполне определённой. Источником такой информации может являться только кто-нибудь из аппарата правосудия, например палач. Если палач проговорится преступнику за день — за два до того, то преступник вправе «созвать прессконференцию» и объявить что ему всё известно. Тогда, вероятно, преступника освободят, а по поводу палача, допустим, проведут служебное расследование.

Во избежание подобных «юридических казусов», будем считать, что «юридической нормой» является следующий метод, не противоречащий первоначальному изложению притчи. Палач (или, допустим, начальник тюрьмы) получает

7 запечатанных конвертов с приказами (на понедельник, вторник, среду, и т.д., воскресенье). Конверты предписано вскрывать в соответствующие дни. По внешнему виду конвертов ничего нельзя сказать о содержании, но известно, что в 6 конвертах содержится приказ «ничего не делать», а в одном (заранее не известно в котором) — приказ «привести в исполнение». Таким образом, сами функционеры тоже узнают о казни только в день казни, когда «в присутственном месте» очередной конверт вскрывается, делается соответствующая регистрационная запись в главной тюремной книге, и текст приказа зачитывается.

Переходим теперь к рассмотрению СП-модели, показанной на рис. 4. Здесь имеется  $N$  однотипных вертикальных столбцов из 3 *мест* и 3 *переходов*. Применительно к ПНК,  $N = 7$ , а обозначения (1, 2, ...,  $N$ ) соответствуют дням недели (понедельник, вторник, ..., воскресенье). *Места* расположены в 3 строки, обозначенные **a**, **b**, **c**. Ниже для обозначения *конкретных* мест применяется принцип «шахматных обозначений»: например, **№c** — место на пересечении  $N$ -го столбца, **c**-й строки. *Метка* в одном из *мест* строки **c** обозначает наличие в соответствующий день преступника. *Метка* в одном из *мест* строки **a** обозначает наличие приказа «привести в исполнение». Соответственно, отсутствие *метки* — приказ «ничего не делать». *Метка* в одном из *мест* строки **b** обозначает, что преступнику было *достоверно* известно о казни заранее. Соответственно, отсутствие *метки* — отсутствие достоверной информации. Кроме того, имеются два *места*, обозначенные **x** и **z**, значение которых «казнить» и «отпустить», соответственно.

В модели имеется так же 3 строки *переходов*, опросом которых последовательно рассматриваются три вещи: осведомлённость преступника (верхняя строка), затем соответствие ситуации приказу (средняя строка) и затем — перевод ситуации на следующий день. Эти три проверки делаются в порядке, указанном (обозначенном) номерами при *переходах*. Таким образом, в модели используется СП с фиксированной последовательностью срабатывания *переходов*, так что нумерация *переходов* соответствует последовательности их опроса. Особенность рассмотрения модели рис. 4 в том, что изучаются (и, соответственно, представлены на рис. 4) два возможных альтернативных варианта опроса *переходов*: слева направо (нумерация условно показана только на 1-м и 2-м столбцах, но следует понимать так, что продолжается до  $N$ -го столбца включительно), и справа налево (соответствующая нумерация воспроизведена на  $N$ -м,  $(N-1)$ -м,  $(N-2)$ -м столбцах, но должна продолжаться до 1-го столбца).

Рассмотрим сначала работу модели в варианте справа налево, что соответствует логике

объяснений преступника. Пусть преступник дожил до воскресения (столбец  $N$ ). В этом случае имеется преступник (*метка* в  $Nc$ ), достоверная информация, полученная им заранее (*метка* в  $Nb$ ) и приказ на «приведение в исполнение» (*метка* в  $Na$ ). Первым срабатывает *переход* в первой строке. Он снимает *метки* из  $Nb$  и  $Nc$  и сбрасывает *метку* в  $z$ . Преступник освобождён. 2-й и 3-й *переходы*, а также все остальные *переходы* СП не срабатывают. СП-модель прекращает работу. Пусть теперь преступник дожил до субботы ( $N-1$ ), то есть имеется *метка* в  $(N-1)c$ . Из предыдущего рассмотрения следует, что казнь в  $N$  была не возможна, значит, имеется приказ и знание о нём в  $(N-1)$  (*метки* в  $(N-1)a$  и  $(N-1)b$ ). Знание передаётся из воскресения в субботу «мистическим образом», что, тем не менее, в модели изображено на схеме связями 1-го *перехода* с *местами*  $(N-1)b$  и  $(N-1)c$ . Так же имеются другие подобные «мистические связи назад во времени» с *переходами* первой строки на *места* строк  $b$  и  $c$  на один столбец влево. При опросе *переходов* в порядке справа налево срабатывает только 4-й *переход*, *метки* из  $(N-1)b$  и  $(N-1)c$  изымаются и *метка* сбрасывается в  $z$ . Преступник освобождён. Аналогично срабатывают остальные столбцы.

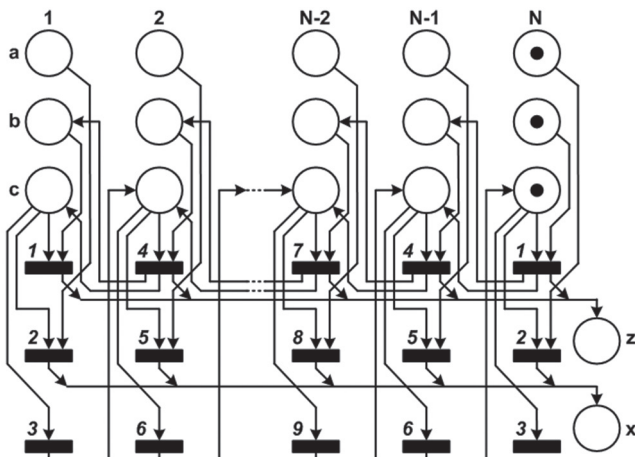


Рис. 4. Сеть Петри, демонстрирующая парадоксы «неожиданной казни» и «бутылки Стивенсона»

Теперь рассмотрим вариант работы модели слева направо. Нумерация переходов, как отмечалось, от первого столбца. *Метка* имеется в  $1c$  и возможно в  $1a$ . В  $1b$  *метки* нет, т.к. нет информации «заранее» о наличии *метки* в  $1a$ . *Переход* 1 не срабатывает (преступника не освобождают); *переход* 2 срабатывает если есть приказ на «приведение в исполнение» (в *место*  $x$  сбрасывается *метка*, изображающая «отрубленную голову»); Если приказа не было, рассмотрение ситуации переносится на следующий день: срабатывает *переход* 3 и *метка* из  $1c$  поступает в  $2c$ . Эта *метка* изображает преступника, благополучно пережившего 1-й день и поступившего «целым-невредимым» во 2-й день. Картина следующего дня аналогична предыдущей: либо

«отрубленная голова» скатывается в *место*  $x$ , либо всё ещё живой преступник переходит в следующий день. Так продолжается до воскресения ( $N$ ), когда наконец появляется *метка* в  $Nb$ . Вернее сказать, *метка* там с самого начала стояла, просто никогда не срабатывала. Потому что априорно известно, что воскресение — последний день, назначенный в приговоре. Следовательно, если преступник дожил до воскресения, то срабатывает *переход* в первой строке, *метка* сбрасывается в *место*  $z$ , преступник выходит на свободу.

Таким образом, если судья использует в рассматриваемой ситуации в качестве СППР представленную СП-модель, то он проиграет на ней логику преступника (инверсное время), свою логику (нормально идущее время), а так же различные варианты назначения приказа на «приведение в исполнение» в нормально идущем времени. По результатам моделирования, судья сможет:

- 1) отвергнуть аргументацию преступника, как содержащую связи «назад во времени», т.е. следствие прежде причины, т.е. как не соответствующую логике;
- 2) рекомендовать к применению описанную конвертную систему выдачи приказов;
- 3) предписать выдачу приказа на «приведение в исполнение» в период с понедельника по, скажем, четверг (не по воскресение), включительно.

В результате — настанет торжество правосудия.

*Модель парадокса «бутылки Стивенсона».* Та же модель рисунок 4, применительно к ПБС, получает интерпретацию, касающуюся пребывания артефакта у данного одного конкретного человека (хозяина). Сущность артефакта в действительности — глубоко личностная (благодаря чему, собственно, и вызывает интерес фабула рассказа Р.Л. Стивенсона [9]). Артефакт касается индивидуального бытия и практически не допускает коллективного использования. Новый хозяин узнаёт об артефакте исключительно от прежнего хозяина и рассказывает о нём исключительно следующему хозяину. Нарушение этого принципа текущим хозяином артефакта неизбежно влечёт за собой негативные последствия за счёт неконтролируемого распространения информации. В частности, потенциально, хозяин артефакта становится беззащитен от притеснений и вымогательств после того, как избавился от артефакта. Поэтому «минимизация информационного потока», сопровождающего движение артефакта, является важным условием «эффективного артефактопользования».

Строка *мест*  $c$  обозначает последовательность сменяющихся хозяев артефакта. В частности, это может быть один и тот же хозяин на разных этапах содержания артефакта или реализации своих намерений относительно передачи артефакта. Столбцы модели (1, 2, ..., N) изображают смену

моментов времени в соответствии с движением артефакта. Физическое время на рисунке 1 идёт слева направо. Т.о., *метка* в одной из позиций строки **c** изображает текущего хозяина артефакта, а также текущий момент времени. Смены хозяев являются дискретными модельного времени. По этой же причине (т.е. поскольку у артефакта может быть только один хозяин) — *метка* в строке **c** может быть только одна (может находиться только в одном столбце). Строка *мест* **b** (*метка* в **b**) обозначает готовность хозяина (наличие подходящей ситуации) к передаче (продаже) артефакта. Соответственно, строка **c** и *метка* в соответствующей позиции строки **a** обозначает «летальный исход» у хозяина артефакта. Согласно представленному, столбцом *переходов* реализуются ключевые события модели, касающиеся смены хозяина артефакта или пребывания артефакта у данного хозяина в указанном порядке приоритетности: реализация процедуры продажи артефакта, смерть хозяина, отказ от продажи артефакта. При этом, попадание *метки* в *места* **z** или **x** означает прижизненное освобождение от артефакта или уход в ад, соответственно.

Рассмотрим функционирование модели в обычном *рабочем* варианте, соответствующем смене событий во времени. В таблице представлены 4 возможных варианта смены разметки: хозяин продаёт артефакт (1) и уходит из его власти; хозяин не успевает продать артефакт (2) и попадает в ад; хозяин избавляется от артефакта в последний момент (3), т.е. продаёт и сразу затем умирает. Хозяин не избавляется от артефакта (4), решив пока ещё подержать его при себе.

	1a	1b	1c	2a	2b	2c	...	z	x
1	0	1	1	0	0	0	...	0	0
	0	0	0	0	0	0	...	1	0
2	1	0	1	0	0	0	...	0	0
	0	0	0	0	0	0	...	0	1
3	1	1	1	0	0	0	...	0	0
	0	0	0	0	0	0	...	1	0
4	0	0	1	0	0	0	...	0	0
	0	0	0	0	0	1	...	0	0

Наиболее драматичным является вариант 3. Целесообразно максимально долго держать артефакт при себе, чтобы максимально получать преимущества — такова обычная нормальная человеческая склонность к максимализму. Риск при этом существенно зависит от предрасположенности к «авантюристичности» или к «плавности и размеренности» течения жизни. «Детективно-приключенческий» жизненный сюжет допускает внезапные переходы, в некоторых из которых индивидуальное «эффективное артефактопользование» может неожиданно прерваться, без времени на передачу артефакта новому хозяину. Практически это значит, что сюжет сводится к

разметке 2. Напротив, «пасторальный» сюжет допускает планируемость, предсказуемость и постепенность ухода, а следовательно, — возможность передачи артефакта. Поэтому соответствующие *переходы* в СП-модели опрашиваются (срабатывают) первыми и разметка 3 имеет благополучное завершение — *метка* поступает в **z**.

Рассмотрим теперь реверсное функционирование модели, соответствующее режиму *анализа*. Сюжет: некто знакомит нас с «условиями игры» и предлагает нам приобрести артефакт. Мы обещаем обдумать ситуацию, составляем СП-модель рисунок 1 и, используя её в качестве СППР, стремясь получить ответы на вопросы типа «...а что будет если?...».

Для простоты, предполагаем, что сделка осуществляется в стабильной неизменной валюте. Если мы делаем приобретение артефакта за **1** (одну) минимальную единицу этой валюты, — мы уже не можем его продать. Рано или поздно, наша *метка* скатывается в *место* **x**. Сделка для нас не приемлема. Если цена **2** (две) минимальные единицы валюты — сделка будет неприемлема для того, кому мы предложим артефакт впоследствии. То есть, мы не сможем от него избавиться. То есть, сделка так же для нас не приемлема. Аналогично при цене **n** единиц сделка для нас не приемлема потому, что она не приемлема для нашего покупателя потому, что она не приемлема для его покупателя потому, ..., что она не приемлема для самого конечного (**n** - го) покупателя. СП-модель рисунок 1 изображает эту цепочку «неприемлемостей» посредством обратных связей из *переходов* верхней строки в *места* строк **b** и **c**. Таким образом, логически получается, что «бутылка Стивенсона» — вообще неликвидный товар.

Если данный вывод не устраивает наш ЧИ, то могут быть предложены, например, следующие варианты.

1. Перечитать Стивенсона [9]. Может там есть ответ, который ранее не был нами замечен.

2. Принять «интуитивно-правильное» решение, руководствуясь одним из принципов: «если нельзя, но очень хочется, то можно» или «если нельзя, но очень хочется, то всё равно нельзя».

3. Принять «научно-обоснованное» решение, руководствуясь правилом  $7 \pm 2$  [10]. Такое количество ячеек оперативной памяти имеется в человеческом мозгу. Это может быть интерпретировано так: большее количество объектов (или состояний) воспринимается ЧИ как «много». Следовательно, если артефакт допускает ещё десяток продаж, — это ещё «много» и текущему и следующему владельцу удастся от него избавиться.

4. Предположение о стабильности и неизменности валют является лишь предположением. Можно попробовать купить артефакт, с его

помощью существенно разбогатеть, затем существенно развить промышленность, обогатить страну, параллельно выбиться в решающие фигуры в валютно-финансовых кругах общества, ревальвировать валюту на порядок и ввести новую дополнительную минимальную денежную единицу в 10 раз мельче той, что была до ревальвации. И тем «посрамить дьявола», добавивши ещё 10 продаж артефакта. Последующим хозяевам можно посоветовать проделывать с артефактом тот же фокус, так что «чёртик в бутылке» (the Bottle Imp) будет «посрамлён навсегда».

Отметим попутно, что последний вариант представляет собой, фактически, коллективное артефактопользование «во благо человеческой цивилизации».

## 6. Обсуждение результатов

1. Недостатки моделей (замеченные и не замеченные) многочисленны. Например, крайний правый *переход* нижней строки ведёт себя в моделях ПНК и ПБС различным образом. Также, интерпретационно различны в ПБС ситуации с одним хозяином и со сменяющимися хозяевами артефакта. Однако в настоящей работе рассматриваются только свойства, общие для ПНК и ПБС. Поэтому признано целесообразным не детализировать особенности и не модифицировать под них варианты модели. Общим же в ПНК и ПБС, как отмечалось, является однонаправленное (не реверсируемое) использование некоего *невосполнимо убывающего ресурса*. Этим рассмотренная единая модель интересна и может быть полезна в инженерно-технических и микро- и макроэкономических приложениях.

2. В ситуации ПНК имеется всё же некоторая «недосказанность». Сама формулировка приговора («...Если же преступник узнает о дне казни *заранее...*») предполагает возможность некоторого «подглядывания в будущее». Тогда почему недопустимы логические рассуждения в инверсном времени? Но тогда может ли быть следствие прежде причины? А с другой стороны: в данном случае в логике преступника причиной является логическое предсказание события, а следствием — логический вывод на основе этого логического предсказания. Таким образом, закон причинности может быть и не нарушается? Ведь в конце концов всякое моделирование любой ситуации (в экономике, технике, метеорологии и т.д.) есть предсказание для принятия решения *сейчас* относительно ситуации предстоящей *в будущем*. То есть всякая модель есть реализация ситуации в инверсном времени.

3. Другая небезынтересная сторона рассмотренной модели — соотносимость её с ЧИ. Модель демонстрирует определённый имеющийся парадокс. Но при этом в действительности парадоксален вовсе не объект ОМ, а то, как его воспринимает ЧИ.

То есть, парадоксальность таится в самом ЧИ. В самом деле: время не обратимо — что может быть проще? Поэтому преступник из ПНК будет казнён, а артефакт из ПБС — неликвиден. Но ЧИ оказывается не восприимчивым к *очевидному*, предпочитая ему *невероятное*.

Но с другой стороны, *очевидное* есть соответствующее ЗС, по поводу которого выше (п. 1) процитированы высказывания А. Эйнштейна.

4. Как отмечалось, для минимизации негативного влияния ЧФ в практике эксплуатации сложных технических систем применяются ЭС и СППР. Разработка СП-модели, иллюстрирующей ПЛМ, интересна в плане наработки типовых структурно-логических решений, которые могут быть использованы при создании ЭС и СППР. Но, возможно, ещё более интересно изучение (в том числе и средствами СП) самого феномена образования (формирования) восприятия явлений ОМ как парадоксов. То есть главный парадокс следует усматривать в парадоксальности (склонности к парадоксам, парадоксообразованию) самого ЧИ.

## Выводы

Рассмотрены и смоделированы средствами сетей Петри четыре известных логических парадокса: парадокс Рассела, парадокс Монти Холла, парадокс неожиданной казни и парадокс «бутылки Стивенсона», традиционно являющиеся прерогативой «занимательной математики». При всём кажущемся «игровом» характере рассматриваемых в этих парадоксах ситуаций, они интересны тем, что демонстрируют определённые аспекты ограниченности человеческого интеллекта. Применительно к серьёзным (ответственным, дорогим, опасным) ситуациям принятия решений, эти ограничения принято называть человеческим фактором. В связи с этим, мотивацией к рассмотрению указанных парадоксов является наработка типовых решений (моделей) для перспективного использования их при разработке экспертных систем и систем поддержки принятия решений с целью минимизации возможного негативного влияния человеческого фактора.

**Список литературы:** 1. Михаль О.Ф. Информационный аспект организации индивидуальной творческой человеческой деятельности. // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 24-26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2 — Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. — С. 81-88. 2. Михаль О.Ф. Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники // Бионика интеллекта: научн. техн. журнал. — 2014. — 1 (82). — С. 55-62. 3. Михаль О.Ф. Демонстрация парадокса Рассела на сетях Петри // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Четвёртой Междуна-

родной научно-практической конференции, г. Смоленск, 23-25 апреля 2014 г. В 2-х томах. Том 1 – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2014. – С. 146-151. **4. Михаль О.Ф.** Демонстрация парадокса Монти Холла на сетях Петри // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Четвёртой Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 23-25 апреля 2014 г. В 2-х томах. Том 1 – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2014. – С. 132-137. **5. Михаль О.Ф.** Демонстрация парадоксов «неожиданной казни» и «бутылки Стивенсона» на сетях Петри // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Четвёртой Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 23-25 апреля 2014 г. В 2-х томах. Том 1. – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2014. – С. 137-146. **6. Котов В.Е.** Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с. **7. S. Gnedin.** The Mondee Gills Game. // The Mathematical Intelligencer, Volume 34, Number 1, 2012, p. 34-41. **8. Гарднер М.** Математический досуг. М.: «Мир», 1972, С.95-109. **9. Стивенсон Р.Л.** Сатанинская бутылка. / Собрание сочинений в 5 томах, т.1. – М.: Изд. «Правда». – С. 461-493. **10. George A. Miller.** The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97. [Электронный ресурс] <http://psychclassics.yorku.ca/Miller/>.

*Поступила в редколлегию 30.06.2014*

УДК 681.513

**Моделювання парадоксів логічного мислення на мережах Петрі / О.П. Михаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 34–45.**

Парадокси логічного мислення смодельовані на мережах Петрі. Моделі можуть бути модифіковані стосовно конкретних галузей застосування, а також цікаві в плані спостереження креативних функцій людського мислення. Отримані результати перспективні щодо використання при розробці експертних систем та систем підтримки прийняття рішень в складних відповідальних ситуаціях, які потребують мінімізації можливого негативного впливу людського фактору.

Табл.: 4. Іл.: 4. Бібліогр.: 10 найм.

UDK 681.513

**Modeling on Petri nets of paradoxes of logical thinking / O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 34–45.**

The paradoxes of the logical thinking are modeled on Petri nets. The models can be modified with reference to concrete application areas, but in the same way are interesting in plan of the observation of creative functions of the human thinking. The results are perspective for use at development of the expert systems and decision support systems in complex responsible situation, where is required minimization of the possible negative influence of the human factor.

Tabl.: 4. Fig.: 4. Ref.: 10 items.

УДК 51-7

В.В. Семенец<sup>1</sup>, Ю.В. Наталуха<sup>2</sup>, О.А. Тарануха<sup>3</sup>, В.В. Токарев<sup>4</sup><sup>1,2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина<sup>3</sup>ХНМУ, г. Харьков, Украина<sup>4</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, tvv.v@mail.ru

## ЗРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ЧЕЛОВЕКА И МЕТОД НУЛЬ – ОРГАН

В статье рассматривается зрительная система человека. Предлагается использовать частный случай метода сравнения – метод нуля – орган, для которого применяется математический аппарат предикатов специального вида, а в качестве входных спектров световых излучений применяется функциональное пространство.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, СЕТЧАТКА, ПСИХОФИЗИКА, ЗРЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПРЕДИКАТ, МЕТОДА СРАВНЕНИЯ, ЧЕРНЫЙ ЯЩИК, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ

### Введение

Зрительная система человека является одной из самых совершенных систем, созданных эволюцией в процессе длительного филогенеза. Зрительное восприятие – сложный нейрофизиологический процесс, формирующийся под действием световых раздражителей на фоторецепторы сетчатки.

Спектральная чувствительность глаза совпадает с максимумом кривой распределения солнечного спектра.

Максимальная чувствительность глаза на свету наблюдается к более длинноволновым лучам (область зелёно-оранжевой части спектра), в сумерках – к более коротковолновым лучам (область синефиолетовой части спектра). В общем понимании по форме глаз напоминает неправильный шар из-за немного вытянутой передней части рис. 1.

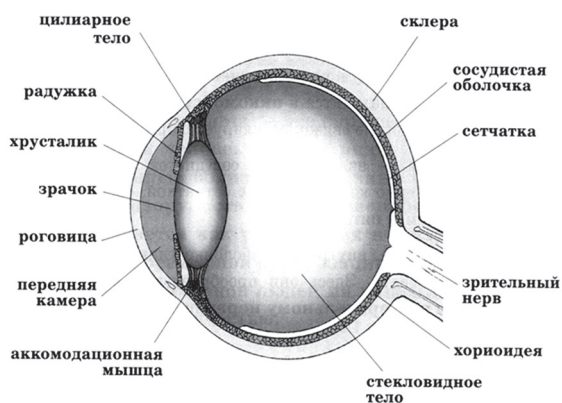


Рис. 1. Человеческий глаз

Внутри этого шара, непосредственно в радужке, имеется зрачок. Так как он является, по сути, отверстием, то кажется чёрным, ведь за ним находится тёмная внутренность глаза.

Радужная оболочка (радужка) имеет форму диска с отверстием (зрачком) в центре. У каждого человека радужка окрашена в определённый цвет: оттенки серого или коричневого. За радужкой расположен хрусталик. По форме это двояковыпуклая линза.

Хрусталик активно участвует в приспособлении глаза к внешним условиям. Наружную оболочку глаза составляют склера (белок) и роговица. Склера – обволакивает всё глазное яблоко и является своеобразным кожухом, выполняя функцию защиты и обеспечивая постоянство формы глаза. Шарообразная форма глазного яблока человека по функциональным возможностям напоминает камеру с полем зрения  $160^{\circ}$  по ширине и  $135^{\circ}$  по высоте. Как и любая оптическая система, глаз подвержен различным видам геометрических и хроматических аберраций.

Передняя выпуклая и прозрачная часть наружной оболочки называется роговицей, которая представляет собой объектив.

Между радужной оболочкой и роговицей находится «камерная жидкость», которая, как и хрусталик, является линзой. Задняя внутренняя поверхность глаза «выстлана» сетчаткой, которая образована из миллионов светочувствительных клеток. Сетчатка – это приёмник световых импульсов, благодаря её сложной работе мы видим тот или иной объект.

### 1. Как работает глаз человека

При ярких лучах радужка расширяется, а зрачок суживается. В темноте же всё происходит наоборот. Пройдя сквозь зрачок, лучи преломляются хрусталиком, форма хрусталика может меняться в зависимости от расстояния между предметом и человеческим глазом. Если предмет расположен близко к глазу, то хрусталик утолщается, а если далеко – то становится тоньше. Затем свет попадает на сетчатку, где светочувствительные клетки посредством сложных химических процессов преобразуют его в нервный импульс.

Этот импульс передаётся зрительным нервом в отдел мозга, отвечающего за зрение, где и обрабатывается, после чего воссоздаётся зрительный образ рассматриваемого предмета. Часть нервных волокон зрительного нерва улавливает красный, другая – зелёный и третья – синий свет. Мозг

обрабатывает всю информацию, и в результате человек видит цвет.

Изначально восприятие многообразия цветовой гаммы окружающего мира осуществляется колбочками – клетками сетчатой оболочки глаза. В них заложены три типа цвето-воспринимающих элементов (светочувствительных пигментов), каждый из которых воспринимает только один из трех основных цветов – красный, зеленый или фиолетовый. Все остальные цвета и оттенки могут быть получены различными вариантами смешения этих цветов. В процессе цветоощущения это происходит благодаря тому, что видимая часть спектра светового излучения включает волны различной длины. Длинноволновые излучения (552–557 нм) воздействуют на красный цвето-воспринимающий элемент, средневолновые (530 нм) – на зеленый, коротковолновые (426 нм) – на фиолетовый, рис. 2.

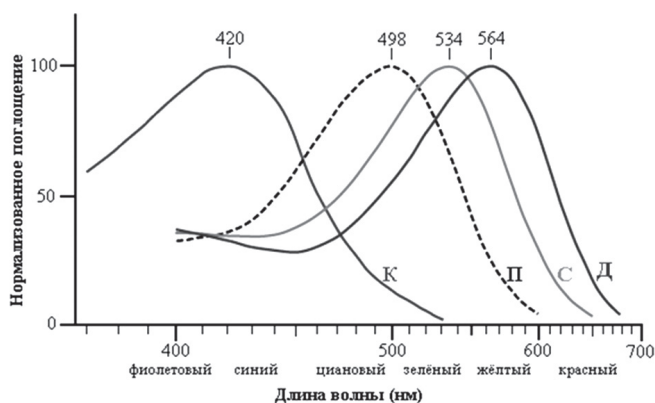


Рис. 2. Чувствительность трёх типов колбочек и палочек (штриховая линия) к излучению с разной длиной волны

В зависимости от интенсивности воздействия различаются оттенки чистых цветов: при длинноволновом – от пурпурного до оранжевого, при средневолновом – от изумрудного до желтого, при коротковолновом – от голубого до фиолетового.

Световой поток, содержащий излучения из волн различной длины, вызывает различное, неодинаковое по интенсивности возбуждение всех трех цветовоспринимающих элементов, благодаря чему в зрительных центрах коры головного мозга формируется полноценный цветовой образ. Кора головного мозга синтезирует эти возбуждения в единый результирующий цвет предмета по законам оптического смешения цветов, причем анализ и синтез цветоощущения происходит постоянно и одновременно. Цветоощущение – это функция колбочек сетчатки, папилломакулярного пучка зрительного нерва и корковых центров зрения головного мозга.

## 2. Актуальность

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам, связанным с изучением психофизических явлений, при этом объектом исследования

служат: – ощущения человека; – физические процессы, действующие на наши органы чувств и вызывающие ощущения; – отношения, которые связывают ощущения с соответствующими им предметами внешнего мира.

Область науки, изучающая преобразования информации органами чувств, называется психофизикой. Психофизика имеет многочисленные практические и технические приложения.

На результаты ее исследований опирается кибернетика, системотехника, вычислительная техника, автоматика, светотехника, техника кино и телевидения и многие другие области практической деятельности человека. Математическое описание ощущений человека ставит перед исследователями задачу по разработке математического аппарата.

Классическая задача психофизики зрения заключается в изучении связи между световым излучением, т.е. зрительными картинками и характеристиками зрительных образов (насыщенность, цветовой тон и др.). Основным инструментом колориметрии – науки об измерении цвета – является метод сравнения цветов.

## 3. Постановка задачи исследований

Предлагается использовать частный случай метода сравнения – метод нуля – орган, для которого применяется математический аппарат предикатов специального вида, а в качестве входных спектров световых излучений используется функциональное пространство. Согласно этому методу, наблюдателю предъявляют на двух небольших полях, имеющих общую границу, рис. 3, световые излучения, характеризующиеся соответственно спектрами  $b'(\lambda)$  и  $b''(\lambda)$ . Наблюдатель воспринимает эти излучения в виде двух соприкасающихся цветных пятен.

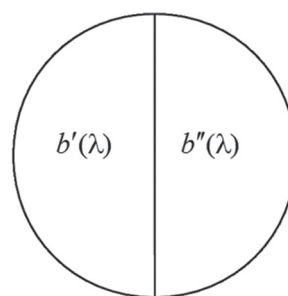


Рис. 3. Световые излучения, характеризующиеся соответственно спектрами  $b'(\lambda)$  и  $b''(\lambda)$  предъявляемые наблюдателю на двух небольших полях, имеющих общую границу

От него требуется дать ответ на вопрос, совпадают или не совпадают друг с другом цвета полей сравнения. Формирование ответа существенно облегчается тем, что в случае совпадения цветов граница между цветными пятнами исчезает. Таким

образом, наблюдатель фактически принимает решение о совпадении или различии цветов с помощью очень тонкого индикатора — отсутствия или наличия видимой границы между полями сравнения.

О высокой чувствительности метода сравнения свидетельствует такой факт. Если подать на поля сравнения пару идентичных излучений ( $b'(\lambda), b''(\lambda)$ ), то наблюдатель регистрирует равенство цветов. Однако если предъявить пару излучений ( $b(\lambda), 1,01 \cdot b(\lambda)$ ), т.е. на правом поле энергетический уровень излучения повысить всего лишь на 1% без изменения спектрального состава света, то наблюдатель с нормальным зрением отчетливо зафиксирует различие цветов.

Установлено, что методом сравнения можно различить по цвету много миллионов световых излучений. На первый взгляд может показаться, что цвета взаимно однозначно связаны с порождающими их световыми излучениями, и поэтому наблюдатель регистрирующий равенство или неравенство цветов тем самым обнаруживает совпадение или различие соответствующих световых излучений.

Однако, существует множество (совершенно различных по спектру и по мощности световых излучений (их называют метамерными), которые для глаза совершенно неотличны по цвету). Отсюда следует, что различных цветов гораздо меньше, чем различных световых излучений. Орган зрения реагирует одним и тем же цветом на огромное число различных световых излучений. Таким образом, глаз, формируя цвет, тем самым группирует световые излучения в некоторые классы. Установлено, кроме того, что различные наблюдатели классифицируют световые излучения не совсем одинаково. Поэтому световые излучения, видимые одним наблюдателем как одноцветные, для другого наблюдателя будут, как правило, выглядеть неодинаковыми по цвету.

Из этих фактов следует, что каждый человек представляет собой особый объект для колориметрического обследования.

Более того, оказывается, что один и тот же наблюдатель в различные периоды своей жизни в колориметрических опытах может реагировать по-разному. Это означает, что параметры зрительной системы человека с течением времени меняются, эволюционируют.

Несмотря на эти обстоятельства и на то, что в колориметрических опытах приходится иметь дело с субъективными ощущениями наблюдателя и с его субъективно формируемым решением о равенстве или неравенстве цветов, тем не менее эти опыты вполне объективны и вполне могут быть отнесены к разряду чисто объективных физических экспериментов.

Исход колориметрических опытов совершенно не зависит от желания наблюдателя. Хотя наблюдатель может произвольно выдумать свой ответ или же ошибаться в выработке правильного ответа (например при отвлечении внимания в процессе сравнения цветов), однако исследователь имеет все возможности обнаружить такие ответы и отвергнуть их, подобно тому, как в процессе обработки результатов физического эксперимента удается выявить и исключить промахи экспериментатора. Наблюдатель в колориметрическом опыте действует вполне машинообразно: повторное предъявление той же самой пары световых излучений приводит к тому же самому ответу (если, конечно, не растягивать проведение эксперимента на многие годы, когда сам наблюдатель станет иным).

Правда, в особых случаях, а именно когда цвета находятся на границе между равенством и неравенством, наблюдается элемент случайности в ответе. Но такой же элемент случайности появляется в любом физическом эксперименте в тех случаях, когда приходится работать на пределе возможностей измерительных приборов. В этих случаях точность исхода физических опытов обычно повышают за счет многократного повторения одних и тех же испытаний с последующей статистической обработкой результатов экспериментов. Такая же статистическая обработка ответов испытуемого возможна и в колориметрических опытах. Точность, достигаемая в колориметрических опытах, составляет 2–3 знака, а при глубокой статистической обработке может доходить до четырех знаков. Такая точность находится на уровне точности весьма совершенного физического эксперимента. Из всего сказанного вывод таков: в колориметрических опытах мы имеем тот, по существу поразительный, случай, когда субъективные ощущения человека и его субъективные действия, производимые им при сравнении цветов, успешно исследуются вполне объективными чисто физическими методами.

Иными словами, колориметрические опыты демонстрируют нам принципиальную возможность объективного изучения субъективных состояний человека, дают конкретный прецедент такого изучения. Это заключение очень ответственно, поскольку из него можно извлечь ряд далеко идущих выводов. В самом деле, если это так, то тогда нет непроходимой пропасти между объективным физическим миром и субъективным миром человека.

Значит, понятия, выражаемые словами “объективный” и “субъективный” логически не исключают друг друга, и второе поглощается первым. Это значит также, что субъективные состояния поддаются вполне объективному изучению чисто физическими методами. В связи со столь кардинальными выводами, тезис о возможности успешного объективного изучения некоторых субъективных

состояний человека с помощью колориметрических опытов, на котором эти выводы основываются, должны быть подвергнуты тщательной проверке.

**Целью работы** является построение математической модели органа зрения человека на основе метода сравнения, который описывается с помощью предикатов, а так же выполнения свойств предикатов и численная реализация на персональном компьютере задач данным методом.

#### 4. Материал и результаты исследований

В колориметрических опытах, действительно, изучается объективно регистрируемое поведение человека. В них наблюдатель выступает в роли некоего “черного ящика” с двумя входами и одним выходом рис. 4. На входы “черного ящика” поступают световые излучения, характеризующиеся своими спектрами  $b'(\lambda)$  и  $b''(\lambda)$ .

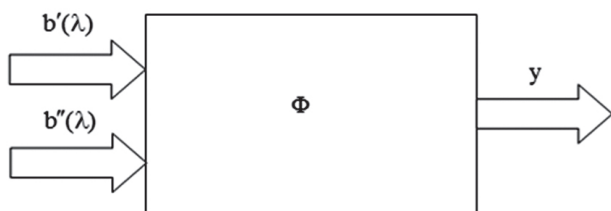


Рис. 4. Черный ящик

С математической точки зрения эти спектры представляют собой некоторые функции вещественного аргумента  $\lambda$ , заданного на интервале  $[\lambda_1, \lambda_2]$ , с вещественными значениями  $b'(\lambda)$  и  $b''(\lambda)$ . На выходе “черного ящика” формируется двоичный сигнал  $y \in \{0,1\}$ . Его значение 1 будем интерпретировать как ответ наблюдателя “да”, означающий равенство цветов на полях сравнения, а значит 0 – как ответ “нет”, означающий неравенство цветов.

Таким образом, наблюдатель своим поведением реализует некоторый предикат:

$$y = \Phi(b'(\lambda), b''(\lambda)), \quad (1)$$

и именно свойства этого предиката изучаются в колориметрических экспериментах. Как входные сигналы  $b'(\lambda)$  и  $b''(\lambda)$ , так и выходной сигнал  $y$  могут быть зарегистрированы физическими приборами и поэтому дают вполне объективную информацию для установления вида предиката  $\Phi$ .

Однако во всем этом еще нет места для субъективных состояний наблюдателя; пока ни слова не сказано о цветах зрительных ощущений и об операции сравнения цветов, осуществляемой сознанием наблюдателя.

Правда, основываясь на своем субъективном опыте, мы можем утверждать, что:

1) когда наблюдатель формирует сигнал  $y=1$ , то при этом цвета его ощущений в самом деле равны.

2) при этом наблюдатель действительно каким-то условием своего сознания сравнивает между собой цвета и приходит к заключению об их равенстве.

Тем не менее, в справедливости этих двух утверждений мы не можем удостовериться посредством объективных наблюдений. Как можно бороться с этим возражением? Оно утратило бы силу, если бы нам удалось, исходя только из объективно наблюдаемых свойств предиката  $\Phi$ , каким-то образом доказать, что преобразователь сигналов, изображенный на рис. 4, можно представить в виде схемы, показанной на рис. 5.

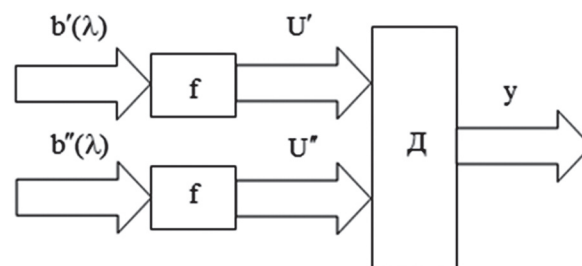


Рис. 5. Структурная схема органа зрения человека

Здесь сигналы:

$$U' = (U'_1, U'_2, U'_3), \quad (2)$$

и

$$U'' = (U''_1, U''_2, U''_3),$$

трехмерные векторы с вещественными компонентами  $U'_1, U'_2, U'_3$  и  $U''_1, U''_2, U''_3$ , вычисляемые по формулам:

$$\begin{aligned} U'_1 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b'(\lambda) K_1(\lambda) d\lambda, \\ U'_2 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b'(\lambda) K_2(\lambda) d\lambda, \\ U'_3 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b'(\lambda) K_3(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (3)$$

и

$$\begin{aligned} U''_1 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b''(\lambda) K_1(\lambda) d\lambda, \\ U''_2 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b''(\lambda) K_2(\lambda) d\lambda, \\ U''_3 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b''(\lambda) K_3(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (4)$$

Формулы (4) и (5) математически описывают вид функции  $U'_i = f(b'(\lambda))$  и  $U''_i = f(b''(\lambda))$ . Буквой Д обозначен предикат равенства, определяемый следующим образом:

$$D(U', U'') = \begin{cases} 1, & \text{если } U' = U'' \\ 0, & \text{если } U' \neq U'' \end{cases}, \quad (5)$$

Только что описанное представление предиката  $\Phi$  легко интерпретируется в психологических

терминах. Сигналы  $U'$  и  $U''$  можно понимать как цвета полей сравнения, субъективно переживаемые наблюдателем. Функцию  $f$  интерпретируем как преобразование светового излучения в цвет зрительного ощущения, производимое зрительной системой человека. Предикат  $D$  будем интерпретировать как операцию сравнения цветов полей сравнения, осуществляемую сознанием наблюдателя. Если бы удалось доказать, что предикат (1) может быть представлен в виде соотношений (2) – (5), то это дало бы нам право утверждать, что:

1) сигналы  $U'$  и  $U''$  могут быть приняты в качестве математического описания цветов на полях сравнения;

2) функция  $f$  может быть принята в качестве математического описания преобразования светового излучения, действующего на сетчатку глаза, в цвет зрительного ощущения, возникающего в сознании наблюдателя. В результате была бы полностью решена задача логического обоснования объективными методами математической модели цветового зрения (3) – (4), предложенной Максвеллом. Описанный подход, однако, тоже может быть подвергнут критике. Возражение состоит в том, что при этом подходе имеется в виду лишь доказательство возможности представления преобразования сигналов в зрительной системе в виде структурной схемы, изображенной на рис.5.

Надо же доказывать необходимость такой структуры. Согласно этой точки зрения следует доказывать, что зрительный анализатор действительно обладает анатомофизиологическими структурами, вычисляющими в процессе зрения значения интегралов (3) – (4), и что цвет зрительных ощущений на самом деле есть тройки числовых кодов, материально представленных в виде некоторого физико – химического процесса. На это возражение можно ответить следующим образом. Споры нет, было бы очень заманчиво получить не только функциональные, но и структурное описание зрительного анализатора. Однако получение математических зависимостей, описывающих лишь способ функционирования зрительной системы, это тоже немало.

В физике в большинстве случаев ограничиваются функциональным (феноменологическим) описанием процессов.

Небесная механика, ядерная физика и многие другие важные разделы физики идут почти исключительно по этому пути. Если же мы хотим ограничиться функциональной стороной дела, тогда с неизбежностью придется довольствоваться лишь возможными математическими моделями изучаемых процессов. Все возможные различающиеся между собой по структуре тождественные формулы, описывающие одну и ту же функцию, придется при этом считать равноценными. Ни одной из этих

формул нельзя отдать предпочтение при функциональном подходе, сколь бы сильно они ни отличались друг от друга по своей структуре.

Выбор видов изучающих предикатов определяется практикой и целесообразно изучать преобразователи, наиболее часто встречающиеся в реальной жизни. Одним из таких преобразователей является линейное отображение  $F: H \rightarrow R^n$ , где  $H$  – гильбертово пространство входных сигналов, а  $R^n$  –  $n$ -мерное евклидово пространство. Реальные системы, как правило, в качестве входных сигналов имеют какие-либо функциональные зависимости и обладают свойствами линейности. При этом, чаще всего, сами входные сигналы образуют линейное пространство, а введение на нем скалярного произведения позволяет удобным образом описывать линейные функционалы.

В силу известной теоремы Рисса об общем виде линейного функционала каждый линейный непрерывный функционал  $\alpha(x)$  на  $L_2[\alpha, b]$  задается формулой:

$$\alpha(x) = \int_{\alpha}^b g(t)x(t)dt, \quad g(t) \in L_2, \quad (6)$$

В дальнейшем будет использовано следующее утверждение.

**Лемма 1.** Линейные непрерывные функционалы  $\alpha_i(x) (i=1, \dots, k)$  вида (6) линейно независимы тогда и только тогда, когда соответствующие функции  $g_i(x)$  линейно независимы.

**Доказательство.** Если  $\alpha_1 g_1(x) + \dots + \alpha_n g_n(x)$  – функция, равная нулю почти всюду на  $L_2$ , то в силу (6)  $\alpha_1 f_1(x) + \dots + \alpha_n f_n(x) = 0$ . Наоборот, предположим, что  $\alpha_1 f_1(x) + \dots + \alpha_n f_n(x) = 0$ . Тогда из (6) получаем  $\int_{\alpha}^b (\alpha_1 g_1(t) + \dots + \alpha_n g_n(t)) \alpha(t) dt = 0$  для всех  $x(t) \in L_2$ . Но известно, что всякая функция  $y(x) \in L_2$ , ортогональная ко всем функциям из  $L_2$ , равна нулю почти всюду. **Лемма доказана.**

Используя полученные выше вспомогательные результаты, будем изучать теперь специальные предикаты  $T(x, y)$ . Введем предикат равенства:

$$D(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{если } (x \neq y) \\ 1, & \text{если } (x = y) \end{cases}, \quad x, y \in L_2, \quad (7)$$

Пусть  $A: L_2 \rightarrow H$  – непрерывный линейный оператор, отображающий  $L_2$  на конечномерное линейное пространство  $H$  над полем вещественных чисел. Основным результатом настоящей работы является аксиоматическая характеристика предикатов  $T(x, y)$  вида:

$$T(x, y) = D(A(x), A(y)), \quad (8)$$

заданных на декартовом квадрате. Прежде всего заметим, что если предикат  $T(x, y)$  представим в виде (8), то он предстанет также в виде:

$$T(x, y) = D(Px, Py), \quad (9)$$

где  $P$  – оператор проектирования  $L_2$  на некоторое подпространство  $H$  пространства  $L_2$ .

В самом деле, пусть  $S_1$  – ядро отображения  $A: S_1 = \{x \in L_2, A(x) = 0\}$ . Так как  $A$  – непрерывный оператор, то  $S_1$  – замкнутое подпространство пространства  $L_2$ . По основной теореме гомоморфных линейных пространств фактор-пространство  $L_2 | S_1$  изоморфно пространству  $H$ . В силу замкнутости  $S_1$  имеет место ортогональное разложение:

$$L_2 = S_1 + S_2, \quad (10)$$

где, очевидно,  $L_2 | S_1 \cong S_2 \cong H$ . Ввиду (9) для любого элемента  $x \in L_2$  имеет место одно значимое разложение  $x = x_1 + x_2$ , где  $x_1 \in S_1, x_2 \in S_2$ , причем  $x_2 = P(x)$ , где  $P: L_2 \rightarrow S_2$  – оператор проектирования  $L_2$  на  $S_2$ . Изоморфизм между пространствами  $S_2$  и  $H$  задается формулой  $P(x) \leftrightarrow A(x) (x \in L_2)$  и поэтому:

$$T(x, y) = D(A(x), A(y)) = D(P(x), P(y)), \quad (11)$$

что и требовалось доказать. Из (11) вытекает, что для всякого  $x \in L_2$   $T(x, (P(x))) = 1$ , причем если  $T(x, y) = 1$  и  $y \in S_2$ , то  $y = P(x)$ .

Приступим теперь к аксиоматической характеристике предикатов вида (8). Так как отношение равенства рефлексивно, симметрично и транзитивно, то предикат  $T(x, y)$  определяет отношение с такими свойствами: 1)  $T(x, x) = 1$ ; 2) если  $T(x, y) = 1$ , то  $T(y, x) = 1$ ; 3) если  $T(x, y) = 1$  и  $T(y, z) = 1$ , то  $T(x, z) = 1$ . Остальные свойства предиката  $T(x, y)$  должны учитывать линейность и непрерывность оператора  $A$ , а также конечномерность пространства  $H = A(L_2)$ .

**Теорема 1.** Предикат  $T(x, y)$ , заданный на  $L_2 \times L_2$ , тогда и только тогда представим в виде (8), когда  $T(x, y)$  удовлетворяет аксиомам 1), 2), 3), а также следующим трем аксиомам: 4) если  $T(x_1, y_1) = 1$  и  $T(x_2, y_2) = 1$ , то  $T(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = 1$ ; 5) существует такая конечная система векторов:  $l_1, \dots, l_n \in L_2$ , что для каждого вектора  $x \in L_2$  найдется единственный  $n$ -мерный вектор  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ , для которого  $T(x, \alpha_1 l_1 + \dots + \alpha_n l_n) = 1$ ; 6) функционалы  $\alpha_i(x) (i = 1, \dots, n) = 1$  непрерывны на  $L_2$ .

**Доказательство.** Установим сначала необходимость условий теоремы. Пусть предикат  $T(x, y)$  задается формулой (8). Тогда, очевидно, выполняются свойства 1), 2), 3).

Если  $T(x_1, y_1) = 1, T(x_2, y_2) = 1$ , то в силу (8):

$$A(x_1) = A(y_1), A(x_2) = A(y_2),$$

а тогда  $A(x_1) + A(x_2) = A(y_1) + A(y_2)$

$$\text{или } A(x_1 + x_2) = A(y_1 + y_2),$$

т.е.  $T(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = D(A(x_1 + x_2), A(y_1 + y_2)) = 1$ .

Это доказывает свойство 4). Представим предикат  $T(x, y)$  в виде (11)  $T(x, y) = D(Px, Py)$ , где  $P: L_2 \rightarrow H$  – оператор проектирования  $L_2$  на некоторое конечномерное подпространство  $H \subset L_2$ .

Пусть  $l_1, \dots, l_n$  – базис подпространства  $H$  и  $P(x) = (\alpha_1(x)l_1 + \dots + \alpha_n(x)l_n)$ .

Тогда  $T(x, \alpha_1(x)l_1 + \dots + \alpha_n(x)l_n) = 1$ , из  $T(x, j_1 l_1 + \dots + j_n l_n) = 1$  следует, что  $j_i = \alpha_1, \dots, j_n = \alpha_n$

и, кроме того,  $\alpha_1(x), \dots, \alpha_n(x)$  – непрерывные функционалы на  $L_2$ , то оператор проектирования  $L_2 \rightarrow H$  непрерывен. Тем самым установлены свойства 5), 6) предиката  $T(x, y)$  и доказана необходимость условий теоремы. Докажем их достаточность. Пусть  $T(x, y)$  на  $L_2 \times L_2$  удовлетворяет свойствам 1) ÷ 6). Тогда векторы  $l_1, \dots, l_n$  – линейно независимы. Действительно, если для  $(j_1, \dots, j_n) \neq (0, \dots, 0)$   $j_1 l_1 + \dots + j_n l_n = 0$ , то, в силу 1),  $T(0, 0) = 1, T(0, j_1 l_1 + \dots + \alpha_n l_n) = 1$ , а это равенство противоречит аксиоме 5). Обозначим через  $H$  подпространство пространства  $L_2$ , натянутое на векторы  $l_1, \dots, l_n$  и положим, в силу 5),  $A(x) = \alpha_1(x)l_1 + \dots + \alpha_n(x)l_n$ . Имеем:

$$T(x, A(x)) = 1, \quad (12)$$

Тогда  $A$  – линейный оператор из  $L_2$  на  $H$ , так как из  $T(x, A(x)) = 1, T(y, A(y)) = 1$  на основании 4) получаем  $T(x + y, A(x) + A(y)) = 1$ , что ввиду (12) дает  $A(x + y) = A(x) + A(y)$ . Из непрерывности функционалов  $\alpha_i(x) (i = 1, \dots, n)$  следует непрерывность оператора  $A$ . Из равенств  $T(x, y) = 1, T(x, A(x)) = 1, T(y, A(y)) = 1$ , в силу 1) ÷ 3), вытекает формула:

$$T(x, y) = T(A(x), A(y)), \quad (13)$$

Далее:

$$T(A(x), A(y)) = D(A(x), A(y)), \quad (14)$$

В самом деле,  $T(\alpha_1 l_1 + \dots + \alpha_n l_n, j_1 l_1 + \dots + j_n l_n) = 1$ , где  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \neq (j_1, \dots, j_n)$ .

Сравнение этого равенства с равенством  $T(\alpha_1 l_1 + \dots + \alpha_n l_n, \alpha_1 l_1 + \dots + \alpha_n l_n) = 1$  противоречит аксиоме 5). Равенство (14) завершает доказательство достаточности условий теоремы 1.

**Замечание.** Равенство (14) можно записать в виде:

$$T(x, y) = D(U(x), U(y)), \quad (15)$$

где  $U(x) = (\alpha_1(x), \dots, \alpha_n(x))$ . По теореме Рисса функционалы  $\alpha_i(x)$  задаются равенствами:

$$\alpha_i(x) = \int_{\alpha}^{\beta} g_i(t) x(t) dt, \quad (i = 1, \dots, n), \quad (16)$$

причем по лемме 1 линейная независимость функционалов  $\alpha_1(x), \dots, \alpha_n(x)$  равносильна линейной независимости функций  $g_1(x), \dots, g_n(x) \in L_2$  (т.е. соответствующих классов функций). Поэтому теорема 1 допускает следующую эквивалентную формулировку.

**Теорема 1.** Предикат  $T(x, y)$  на  $L_2 \times L_2$  тогда и только тогда представим в виде (15), (16) с линейно независимыми функционалами  $g_1(x), \dots, g_n(x)$ , когда он удовлетворяет свойствам 1) ÷ 6).

**Доказательство.** Если свойства 1) ÷ 6) выполняются, то, как только что было показано, имеют место равенства (15), (16) с линейно независимыми  $g_1(x), \dots, g_n(x) \in L_2$ . Обратно, если имеют место равенства (15), (16) с линейно независимыми  $g_1(x), \dots, g_n(x) \in L_2$ , то отображение

$A(x) = (\alpha_1(x), \dots, \alpha_n(x))$  есть линейный непрерывный оператор из  $L_2$  на  $n$ - мерное векторное пространство  $H = \{(\alpha_1(x), \dots, \alpha_n(x))\}$ , причем  $T(x, y) = (A(x), A(y))$ . Тогда в силу теоремы 1 выполняются аксиомы 1) ÷ 6). Теорема доказана.

### Выводы

1) Получена математическая модель органа зрения, которая группирует световые излучения в некоторые классы.

2) Для увеличения точности при решении таких задач используется метод сравнения цветов.

3) Приведена аксиоматическая характеристика предиката  $T(x, y)$ .

4) Доказана теорема, что предикат  $T(x, y)$ , на  $L_2 \times L_2$ , тогда и только тогда представим в виде  $T(x, y) = (U(x), U(y))$  где  $U(x) = (\alpha_1(x), \dots, \alpha_n(x))$ , когда он удовлетворяет шести свойствам.

**Список литературы:** 1. *Вит В.В.* Строение зрительной системы человека / В.В. Вит. – М.: Астропринт, 2003. – 664 с. 2. *Токарев В.В.* Метод сравнения на примере нуля – органа в нелинейных системах / В.В. Токарев, Ю.В. Наталуха // Материалы международной научно-технической конференции [«Автоматизация: проблемы, идеи, решения»], (Севастополь, 9–13 сентября 2013 года). – СевНТУ, 2013. – С. 157–159. 3. *Токарев В.В.* Математическая модель метода сравнения в динамических системах / В.А.Афанасьев, Ю.В. Наталуха, В.В. Токарев, Ю.Е. Хорошайло // Материалы международной научно-технической конференции [«Искусственный интеллект интеллектуальные системы ИИ-2013»], (пос. Кацивели АР Крым, 23–27 сентября 2013 года). – Донецк.: «Наука і освіта», 2013. – С. 9–11. 4. *Токарев В.В.* Об одном подходе к идентификации динамических систем / Ю.В. Наталуха, М.А. Ильин, В.В. Токарев // Сборник научных статей по

итогах Третьей Международной научно-практической конференции (в трех томах) [«Информатика, математическое моделирование, Экономика, Том 2»], (г. Смоленск, 22 апреля 2013 г). – Смоленск, 2013. – С. 103–109. 5. *Ахиезер Н.И.* Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве / Н.И. Ахиезер, Н.М. Глазман – М.: Наука, 1966. – 543 с. 6. *Курош А.Г.* Теория групп. / А.Г. Курош. – М.: Наука, 1967. – 648 с. 7. *Данилин Ю.М.* Численные методы в экстремальных задачах / Б.Н. Паленичный, Ю.М. Данилин. – М.: Наука, 1975. – 3205 с. 8. *Рисс Ф.*, Лекции по функциональному анализу / Ф. Рисс, Б. Секефальви-Надь. – М: Мир, 1979. – 587 с. 9. *Хаусхолдер А.С.* Основы численного анализа / А.С. Хаусхолдер. – М.: Издательство иностранной литературы, 1956. – 320 с.

Поступила в редколлегию 01.07.2014

УДК 51.7

**Зорова система людини та метод нуля – орган** / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 46–52.

У роботі для математичного опису перетворення світлового випромінювання, що діє на сітківку ока, в цветозрительного відчуття, що виникає у свідомості спостерігача, пропонується використовувати функціональний простір і спеціальні предикати.

Бібліогр.: 9 найм.

UDC 51.7

**Human visual system and method of zero – body** / V.V. Semenets, Yu.V. Nataluha, O.A. Taranuha, V.V. Tokarev // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 46–52.

In this paper, for the mathematical description of the conversion of light radiation acting on the retina, in tsvetozritel'nogo sensations arising in the mind of the observer, it is proposed to use a functional space and special predicates.

Ref.: 9 items.

УДК 519.7:007.52; 519.711.3



І.Д. Вечірська, І.Е. Гончаров, С.І. Шепілов  
ХНУРЕ, м. Харків, Україна, ira\_se@list.ru

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІКИ СКІНЧЕННИХ ПРЕДИКАТІВ ЯК КОМПОЗИЦІЙНО-НОМІНАТИВНОЇ ЛОГІКИ

В статті досліджено логіку скінченних предикатів як одну з композиційно-номінативних логік. Проведено аналіз предикатних алгебр та алгебр предикатних операцій, що входять до складу логіки скінченних предикатів, а також їх застосувань. Досліджено лінійні логічні перетворення та модифікований добуток морфізмів предикатної категорії.

АЛГЕБРА, ВІДНОШЕННЯ, ЛІНІЙНЕ ЛОГІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ЛОГІКА, МОДИФІКОВАНИЙ ДОБУТОК, МОРФІЗМ, ПРЕДИКАТ, ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ

### Вступ

Швидкі темпи розвитку інформаційних технологій зумовлюють розширення сфери застосування математичної логіки. Моделі та методи математичної логіки все глибше проникають в інформатику, прикладну лінгвістику, обчислювальну математику. Апарат математичної логіки є основою моделювання різноманітних предметних областей, дозволяє знаходити знання, визначати та обґрунтовувати їх істинність. Проте класична логіка має ряд обмежень, які заважають застосовувати її для моделювання та програмування різноманітних об'єктів і процесів. Серед таких завад на шляху моделювання відзначимо перевантаження синтаксичними та формальними аспектами і недостатнє вивчення семантичних, смислових аспектів. Насправді для розробки інформаційних систем використовуються набагато потужніші класи функцій, ніж скінченні предикати класичної логіки. Крім того, недостатньо враховується частковість інформації про предметну область (неповне задання області визначення), її структурованість [1].

У цій роботі запропоновано підхід до вирішення деяких із зазначених проблем, заснований на основних поняттях, методах та засобах логіки скінченних предикатів (ЛСП), що ґрунтується на законах традиційної логіки та отримано внаслідок розширення поняття предиката до функції, що відображає багатозначну множину в двозначну. Таким чином, побудовано перехід від багатозначної логіки, яка дозволяє достатньо повно описувати об'єкти реального світу до двозначної логіки, що лежить в основі сучасних інформаційних систем [2]. За рахунок цієї властивості ЛСП можна віднести до класу композиційно-номінативних логік.

Принцип композиційності забезпечується багаторівневою структурою ЛСП, що включає в себе не лише АСП (алгебру скінченних предикатів), а й АПО (алгебру предикатних операцій), частковим випадком якої є предикатна теорія категорій. Тобто тут йдеться про зведення логічних зв'язок та кванторів до дій над предикатами.

Номінативний підхід передбачає здатність називати предмети, їх ознаки, характеристики, дії

тощо. В ЛСП це вміння реалізує предикат пізнання предметів, (який, власне, і забезпечує перехід від багатозначної логіки до двозначної).

Отже, метою роботи є розвиток засобів логіки скінченних предикатів, як побудованої за допомогою композиційно-номінативного підходу, на основі лінійних логічних перетворень. А також дослідження модифікованого добутку морфізмів предикатної теорії категорій як переходу від часткових операцій над предикатом до всюди визначених операцій.

### 1. Структура логіки скінченних предикатів

У цьому розділі розкриємо поняття предиката пізнання предметів, а також уведемо поняття алгебр предикатів та предикатних операцій на різних рівнях ієрархії в залежності від вибору базисних елементів та базисних операцій, зазначивши взаємозв'язок між ними (рис. 1).

Отже, будь-яка функція  $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = \xi$ , (де  $\xi$  є логічною змінною), що відображає множину  $U^m$  в множину  $\Sigma = \{0, 1\}$ , називається  $m$ -місцевим предикатом, який задано на множині  $U^m$ . Таким чином, можна сказати, що  $U^m$  є областю визначення предиката  $P$ . Елементи 0 (хибність) та 1 (істинність), як і в традиційній логіці, будемо називати логічними елементами.

Скінченність чи нескінченність предиката  $P$  залежить, звичайно, від того якою відповідно є область визначення (скінченною чи нескінченною).

Нехай далі предикат  $P$  має вигляд  $P(x) = x^a$ . Предикат пізнання предмету визначимо наступним правилом:

$$x^a = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x = a \\ 0, & \text{якщо } x \neq a. \end{cases}$$

Алгеброю предикатів на множині  $M$  назвемо будь-яку алгебру, носієм якої являється множина  $M$  усіх предикатів на  $U^m$ .

Булевою алгеброю предикатів на множині  $M$  назвемо будь-яку алгебру предикатів на множині  $M$ , базис операцій якої складається з операцій диз'юнкції, кон'юнкції та заперечення предикатів.

Канонічною алгеброю предикатів на множині  $M$  назвемо булеву алгебру предикатів, базис елементів якої складається з предикатів  $0, 1$  та предикатів пізнання предмету  $x_i^a$  ( $i = \overline{1, m}$ ,  $a \in U$ ). Основними законами канонічної алгебри предикатів являються основні закони булевої алгебри предикатів разом з основними законами для предикатів  $0, 1$ , і для предикатів пізнання предмету.

Таким чином, при переході від однієї алгебри до іншої ми йдемо шляхом конкретизації. Узагальнене поняття алгебри предикатів зводимо до більш конкретного, виділивши базисні операції над предикатами. А далі, виділивши в булевій алгебрі ще й базисні предикати, отримуємо канонічну алгебру предикатів.

Введення предиката пізнання предмету відіграє важливу роль при структуризації ЛСП. Його унікальність дозволяє трактувати  $x_i^a$  як ім'я предиката (тоді предикату пізнання предмету відповідає одноелементна множина), а також як операцію над предикатом  $P(x) = x^a$ , який приймає значення 1 або 0.

Крім того, в канонічній алгебрі предикатів  $0$  та  $1$  можна вважати скалярами, а предикати – векторами. В такому випадку отримуємо теорію логічного простору [3].

Логічним простором називається непуста множина векторів  $M$  над полем скалярів  $G$ , де для скалярів і векторів виконуються відповідно закони ідемпотентності, комутативності, асоціативності,

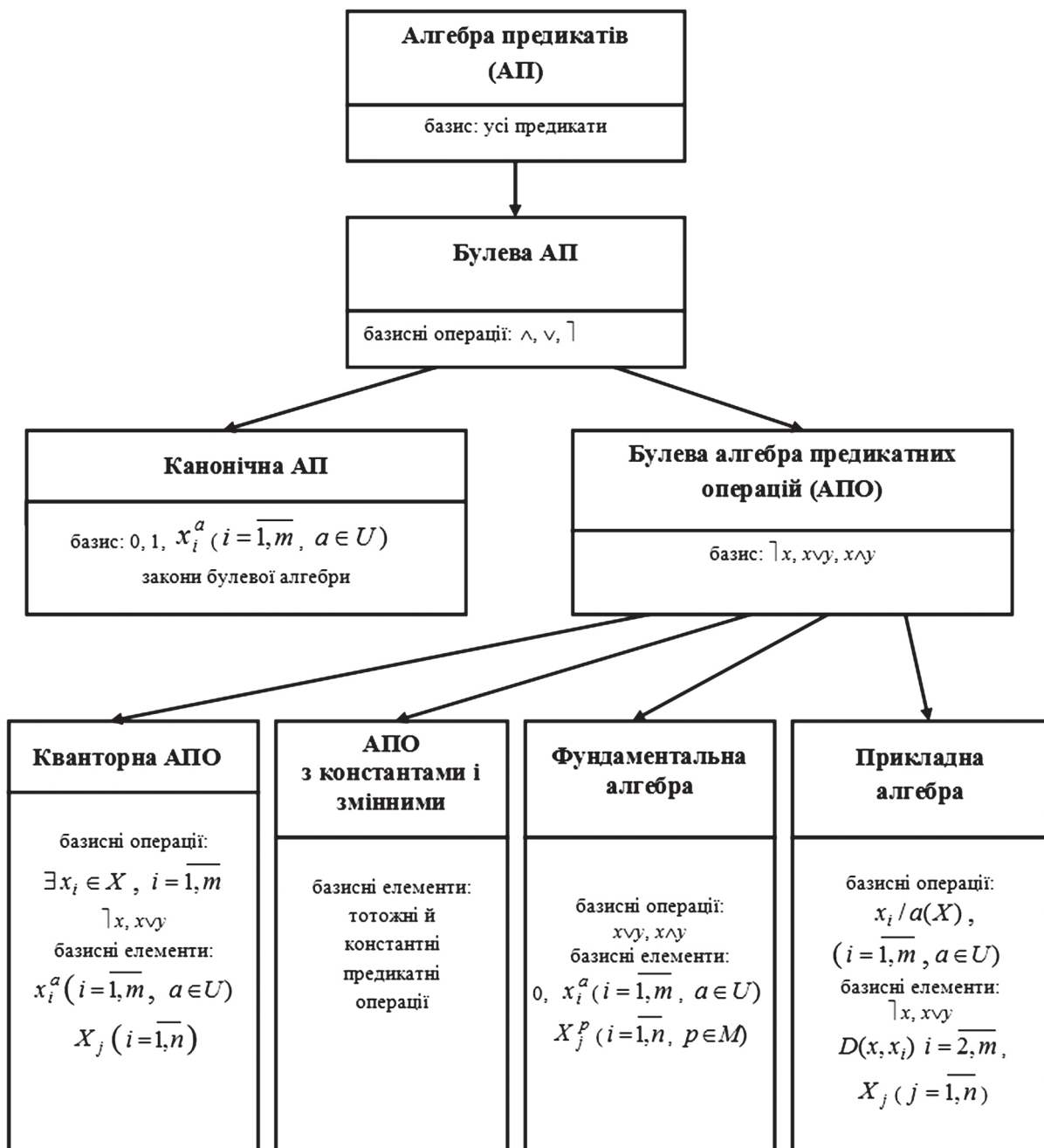


Рис. 1. Структура логіки скінченних предикатів

нуля та одиниці, а зв'язок між скалярами та векторами описують за допомогою законів лівої та правої дистрибутивності (відносно відповідно диз'юнкції скалярів та диз'юнкції векторів) та законів нуля та одиниці.

Логічна алгебра подібна до лінійної алгебри [4]. Аналогія є як в загальній архітектурі цих теорій, так і в багатьох конкретних властивостях алгебр. Логічна алгебра охоплює лише невелику частину механізму природної мови, але ця частина являється фундаментальною, тобто її засоби дозволяють формалізувати основні природномовні процеси, такі як словозміна, словотворення і т.д. Подібно до цього лінійна алгебра охоплює своєю аксіоматичною теорією здавалось би невелику частину сучасної математики, проте на базі лінійної алгебри будуються також зовсім «нелінійні» розділи, такі як вчення про тензори, проєктивні перетворення [5], про полілінійні оператори [4], інші.

Такі математичні структури, що побудовано на базі логічної алгебри, також виходять далеко за кордони самої алгебри. Таким чином логічна алгебра стає фундаментом всієї логічної математики. Зокрема, логічна алгебра є основою для вивчення будь-яких ЛСП.

Далі розглянемо інші варіації ЛСП, відштовхуючись від поняття алгебри предикатних операцій.

Нехай  $U$  – універсум теорії  $T$ ;  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – предметні змінні теорії  $T$ ;  $M$  – множина усіх предикатів  $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$  на просторі  $U^m$ . Множину  $M$  назвемо універсумом предикатів. Змінні  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , визначені на множині  $M$ , назвемо предикатними змінними. Їх значеннями служать предикати, що задано на просторі  $U^m$ . Множину  $M^n$  назвемо предикатним простором розмірності  $n$ .

Елементи множини  $M^n$  називаються предикатними векторами. Будь-яка функція  $F(x_1, x_2, \dots, x_m) = y$ , яка відображає множину  $M^n$  в множину  $M$ :  $F: M^n \rightarrow M$ , називається предикатною операцією. Далі побудуємо множину  $R$  усіх предикатних операцій.

Алгеброю предикатних операцій (АПО) на множині  $R$  називається будь-яка алгебра, яку задано на носії  $R$ .

Булевою алгеброю предикатних операцій називається будь-яка алгебра предикатних операцій з базисом операцій, що складається з заперечення  $\neg X$ , диз'юнкції  $X \vee Y$  та кон'юнкції  $X \wedge Y$  довільних предикатних операцій  $X$  і  $Y$ .

Значеннями змінних  $X$  і  $Y$  служать конкретні предикатні операції  $F, G, \dots$ ,  $X$  і  $Y$  – це змінні предикатні операції. Базисні операції булевої алгебри предикатних операцій не являються предикатними операціями, вони представляють собою операції над предикатними операціями. Таким

чином отримуємо наступний поверх двошарової структури.

Так наведене нами визначення булевої алгебри є досить широким, оскільки в ньому однозначно не визначено базисні елементи. Тому можливі різні варіанти булевих алгебр, серед яких має місце і булева алгебра, базисними елементами якої є предикатні операції.

Алгеброю предикатних операцій з константами та змінними називається булева алгебра предикатних операцій, у якій базисними елементами є найрізноманітніші тотожні й константні предикатні операції. Тотожні предикатні операції називаються змінними алгебри предикатних операцій. Константні предикатні операції називаються константами цієї алгебри.

Фундаментальною алгеброю називається алгебра предикатних операцій, у якій базисними операціями служать диз'юнкція  $X \vee Y$  та кон'юнкція  $X \wedge Y$  найрізноманітніших предикатних операцій  $X$  і  $Y$ , а базисними елементами – предикат  $0$  та найрізноманітніші предикати пізнання предмету  $x_i^a$  ( $i = \overline{1, m}$ ,  $a \in U$ ) та предикати пізнання предиката  $X_j^P$  ( $j = \overline{1, n}$ ,  $P \in M$ ).

Фундаментальна алгебра має більш економний базис, ніж диз'юнктивно-кон'юнктивна алгебра предикатних операцій, проте це теж повна алгебра. Алгебру предикатних операцій можна розглядати як алгебру предикатів, у яких змінні операції  $X_j$  задано на своїх областях.

Прикладною алгеброю називається алгебра предикатних операцій з базисом операцій, що побудовано із підстановок  $x_i/a(X)$  ( $i = \overline{1, m}$ ,  $a \in U$ ), а також операції заперечення  $\neg X$  і диз'юнкції  $X \vee Y$  довільних предикатних операцій  $X$  і  $Y$ , та базисом елементів, який складається з предиката рівності  $D(x_1, x_i)$  ( $i = \overline{2, m}$ ) та предикатних змінних  $X_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ).

Уведення в алгебрі нової операції підстановки дозволило дуже скоротити в базисі кількість константних операцій. Проте збільшилась кількість предикатних операцій алгебри.

Кванторною алгеброю називається алгебра предикатних операцій з базисом операцій, що складається з квантора існування  $\exists x_i X$  ( $i = \overline{1, m}$ ), заперечення  $\neg X$  і диз'юнкції  $X \vee Y$  довільних предикатних операцій  $X$  і  $Y$ , та базисом елементів, який складається з предиката пізнання предмету  $x_i^a$  ( $i = \overline{1, m}$ ,  $a \in U$ ) та предикатних змінних  $X_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ).

Перехід від алгебри предикатів до алгебри предикатних операцій дозволяє зберегти властивості предикатних операцій. Ці властивості зберігаються на всіх рівнях ієрархії. Завдяки такому підходу логічна алгебра здатна охопити величезну кількість логіко-математичних структур.

**2. Обчислення лінійних логічних перетворень з різними типами подання предметної області**

АСП пішла традиційним шляхом, трактуючи предикати як скінченно-арні відображення. Проте введено поняття лінійних логічних перетворень дає можливість описувати предикати, коли відомо їх значення не на всій предметній області [6].

Метод обчислення лінійного логічного перетворення можна розбити на дві фази. Спочатку розглянемо твердження про загальний вигляд лінійного логічного перетворення на випадок  $k$  змінних.

Узагальнення твердження про загальний вигляд лінійного логічного перетворення на випадок  $k$  змінних. Для того, щоб функція

$$F : L_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}} \rightarrow P_{I_{A_l}},$$

$$\text{де } L_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}} = (P_{n_1} \times P_{n_2} \times \dots \times P_{n_k})_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}},$$

була лінійним логічним перетворенням, необхідно та достатньо, щоб вона мала вигляд:

$$[F(L)](x_l) = \bigvee_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in S} (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_l) \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots P_{n_k}(x_{n_k}))$$

для будь-якого  $x_l \in A_l$ , де  $K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_l)$  задано на  $A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k} \times A_l$ ,  $S = A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}$ .

Звідси, лінійне логічне перетворення для випадку  $k$  змінних обчислюється як кон'юнкція ядра лінійного логічного перетворення, який залежить від  $k$  змінних, та  $k$  одномісних предикатів, що визначають область визначення перетворення.

Таким чином, на першій фазі необхідно визначити спосіб подання області визначення ядра лінійного логічного перетворення та вхідного вектора.

Далі проведемо дослідження правил обчислення лінійного логічного перетворення з  $(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  в  $x_l$ :

$$[F(L)](x_l) = \exists x_{n_1} \in A_{n_1} \dots \exists x_{n_{k-1}} \in A_{n_{k-1}} \exists x_{n_k} \in A_{n_k} (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) P_{n_1}(x_{n_1}) \dots P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k})),$$

де  $A_{n_1} = A_{n_2} = \dots = A_{n_{k-1}} = A_{n_k} = U$ .

В цьому випадку для обчислення достатньо лише виконати операцію перенесення квантора через предикат, не залежний від змінної, що стоїть під знаком квантора.

$$[F(L)](x_l) = \exists x_{n_k} \in A_{n_k} (P_{n_k}(x_{n_k}) (\exists x_{n_{k-1}} \in A_{n_{k-1}} (P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \dots (\exists x_{n_1} \in A_{n_1} K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) P_{n_1}(x_{n_1}))))))$$

де  $A_{n_1} = A_{n_2} = \dots = A_{n_{k-1}} = A_{n_k} = U$ .

Ми розглянули простий випадок, коли усі змінні в перетворенні визначено на універсумі. Якщо область визначення задати по іншому, то зміниться й сам метод обчислення лінійного

логічного перетворення з  $(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  в  $x_l$ , де задану область визначення виражають у вигляді  $x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  наступною формулою:

$$[F'(L)](x_l) = \bigvee_{\substack{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k} \in \\ \in F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})}} K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}, x_l) \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k}).$$

Проведемо елементарні перетворення, використовуючи основні правила ЛСП, та отримаємо правила обчислення у вигляді:

$$[F'(L)](x_l) = \exists x_{n_1} \in U \exists x_{n_2} \in U \dots \exists x_{n_{k-1}} \in U \exists x_{n_k} \in U (F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}, x_l) \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \wedge \dots \wedge P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k}))) = \exists x_{n_k} \in U (P_{n_k}(x_{n_k}) (\exists x_{n_{k-1}} \in U (P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \wedge \dots \wedge (\exists x_{n_1} \in U (F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}))) \wedge K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}, x_l) P_{n_1}(x_{n_1}))))).$$

Варто також розглянути випадок, коли кожному з заданих змінних визначає відповідна функція

$$x_{n_1} \in F_{n_1}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k});$$

$$x_{n_2} \in F_{n_2}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k});$$

.....

$$x_{n_{k-1}} \in F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k});$$

$$x_{n_k} \in F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}).$$

В цьому випадку виразимо лінійне логічне перетворення у вигляді:

$$[F''(L)](x_l) = \bigvee_{\substack{x_{n_1} \in F_{n_1}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \\ x_{n_2} \in F_{n_2}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \\ \dots \\ x_{n_{k-1}} \in F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \\ x_{n_k} \in F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})}} K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k})$$

Виконаємо елементарні перетворення, отримаємо формулу для обчислення у наступному вигляді:

$$[F''(L)](x_l) = (\exists x_{n_k} \in U F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \vee \vee \exists x_{n_{k-1}} \in U F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})) \wedge (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots \wedge$$

$$\begin{aligned} & \wedge P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \wedge P_{n_k}(x_{n_k}) = \exists x_{n_k} \in U(P_{n_k}(x_{n_k}) \wedge \\ & \wedge (\exists x_{n_{k-1}} \in U(P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \dots \\ & \dots (\exists x_{n_1} \in U(K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})) \wedge \\ & \wedge (F_{n_1}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \vee F_{n_2}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})) \vee \\ & \vee \dots \vee F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})) \vee \\ & \wedge F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})) P_{n_1}(x_{n_1})). \end{aligned}$$

Дослідження дій над лінійними логічними перетвореннями дозволяє вивчити не лише обчислення в залежності від типу подання предметної області, а й знаходити степінь лінійного логічного перетворення у випадку, коли не визначено всю предметну область. Нехай лінійне логічне перетворення запишемо наступним виразом:  $Q(y) = \exists x \in M(K(x, y) \wedge P(x))$ , де предикат  $K(x, y)$  визначено на декартовому добутку  $M \times N$ , тобто описує зв'язок між елементами множини  $M$  та відповідними елементами множини  $N$ . Не зважаючи на те, що предикат  $P(x)$  описує не всю предметну область  $M$ , степінь лінійного перетворення в ЛСП можна обчислити за скінченну кількість кроків. Причому цю кількість буде обмежено розмірністю множини  $M$ , а критерієм знаходження степені лінійного логічного перетворення є повторення однакового результату на двох кроках посліпль [7].

Цікавими є також дослідження предикату, що задано не на всій предметній області з точки зору теорії категорій.

### 3. Проблема формального визначення модифікованого добутку предикатної категорії

Розглянемо визначення модифікованого добутку морфізмів  $f: A \rightarrow B$  та  $g: C \rightarrow D$  в категорії  $Pred$  [8]:

$$K_h(x, z) = \exists y \in B \cap C (K_f(x, y) \wedge K_g(y, z)). \quad (1)$$

Вираз (1) потрібно відкорегувати, оскільки предикат  $K_f(x, y)$  задано на  $A \times B$ , а  $K_g(y, z)$  – на  $C \times D$ , але отримуємо протиріччя  $B \neq C$ . Тобто змінна  $y$  задається одночасно і на множині  $B$ , і на множині  $C$ . Щоб не було плутанини, поставимо у відповідність множині  $B$  свою змінну  $u$ , а множині  $C$  – змінну  $v$ . Тоді предикат  $K_f(x, u)$  задано на  $A \times B$ , а  $K_g(v, z)$  – на  $C \times D$ . Саме ці предикати і будемо вважати ядрами морфізмів  $f$  і  $g$ . Необхідно також, щоб змінну  $u$  було задано на довільній множині. Нехай ця множина матиме ім'я  $S$ .

Очевидно, що при підстановці ядер морфізмів  $f$  і  $g$  (тобто предикатів  $K_f(x, u)$  та  $K_g(v, z)$ ) в вираз (1) одночасно виконуються дві операції заміни змінних:

$$u/y(K_f(x, u)) = K_f(x, y), \quad (2)$$

$$v/y(K_g(v, z)) = K_g(y, z), \quad (3)$$

де предикат  $K_f(x, y)$  задано на  $A \times S$ , а предикат  $K_g(y, z)$  – на  $S \times D$ . Користуючись виразом (1) така заміна

змінних виконується ніби за кулісами, але при цьому допускається помилка – змінну  $u$  визначено одночасно на двох областях. Для того, щоб діяти послідовно, необхідно підставити ядра морфізмів  $f$  і  $g$  в формулу (1), а для цього доводиться використовувати операцію заміни змінних. Звідси виникає задача: необхідно в категорії  $Pred$  з двома довільними морфізмами  $f: A \rightarrow B$  та  $g: C \rightarrow D$  однозначно визначити морфізм  $h: A \rightarrow D$ . Тобто необхідно отримати коректну формулу модифікованого добутку морфізмів.

Корегування формули знаходження модифікованого добутку морфізмів засобами алгебри предикатних операцій. Враховуючи перетворення (2) та (3), вираз (1) має вигляд:

$$K_h(x, z) = \exists y \in B \cap C (u/y(K_f(x, u)) \wedge v/y(K_g(v, z))). \quad (1^*)$$

Далі необхідно визначити структуру множини  $S$ , тобто на якій саме області задано змінну  $u$ .

Припустимо, що  $S = B \cap C$ . Це означає, що предикат  $K_f(x, y)$  задано на  $A \times (B \cap C)$ , а предикат  $K_g(y, z)$  – на  $(B \cap C) \times D$ . Тепер потрібно звернути увагу на наступний дуже важливий аспект. Справа в тому, що  $K_f(x, u) \neq K_f(x, y)$  хоча б тому, що області прибуття цих предикатів відрізняються та  $K_g(v, z) \neq K_g(y, z)$  хоча б тому, що області відправлення цих предикатів різні. Оскільки предикати  $K_f(x, u)$  на  $A \times B$  та  $K_g(v, z)$  на  $C \times D$  являються ядрами морфізмів  $f: A \rightarrow B$  та  $g: C \rightarrow D$ , то відмінні від них предикати  $K_f(x, y)$  на  $A \times (B \cap C)$  та  $K_g(y, z)$  на  $(B \cap C) \times D$  будемо вважати ядрами морфізмів  $f': A \rightarrow B \cap C$  та  $g^*: B \cap C \rightarrow D$ . Таким чином ми перейменували предикати  $K_f(x, y)$  і  $K_g(y, z)$  на  $K_{f'}(x, y)$  і  $K_{g^*}(y, z)$  відповідно, щоб підкреслити, що отримані морфізми відрізняються від вихідних. Звідси внаслідок перейменування предикатна операція (2) матиме вигляд:

$$u/y(K_f(x, u)) = K_{f'}(x, y); \quad (4)$$

а предикатна операція (3) матиме вигляд:

$$v/y(K_g(v, z)) = K_{g^*}(y, z). \quad (5)$$

Обміркуємо особливості операцій заміни змінних, що наведено в виразах (4) і (5). Це нестандартні операції заміни змінних, оскільки в даному випадку разом зі змінними змінюються і області їх визначення, а, отже, і самі предикати, якщо ми включаємо в поняття предиката область його визначення. Тому ці операції потребують додаткового формального визначення [8]. Наведемо далі пояснювальні приклади.

Для випадку коли  $S = B \cap C$  область визначення допоміжної змінної  $u$  отримуємо шляхом звуження області визначення кожної з вихідних змінних –  $u$  та  $v$ . Очевидно, що при  $u = v$  значення предикатів  $K_{f'}(x, y)$  і  $K_f(x, u)$  співпадають для будь-яких  $x$ . Також співпадають значення предикатів  $K_{g^*}(y, z)$  і  $K_g(v, z)$  для будь-яких  $x$  при  $u = v$ . Оскільки область визначення допоміжної змінної  $u$  звужується, то і формули предикатів  $K_{f'}(x, y)$  і  $K_{g^*}(y, z)$  можуть скорочуватись. Розглянемо приклад. Нехай вихідними

даними  $A=\{a, b, c, d\}$ ;  $B=\{1, 2, 3, 4\}$ ;  $C=\{2, 3, 4, 5\}$ ;  $D=\{5, 6, 7, 8, 9\}$ .

Тоді  $B \cap C = \{2, 3, 4\}$ . Змінну  $y$  задано на  $B \cap C$ .

$K_f(x, u) = x^a u^1 \vee x^b (u^1 \vee u^2) \vee x^c (u^2 \vee u^3 \vee u^4)$  – задано на  $A \times B$ .

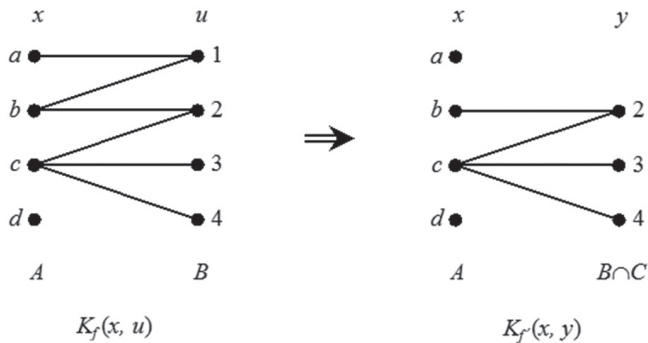


Рис. 2

Тоді  $u/y(K_f(x, u)) = x^b y^2 \vee x^c (y^2 \vee y^3 \vee y^4) = K_{f'}(x, y)$  – задано на  $A \times (B \cap C)$ .

Далі  $K_g(v, z) = (v^2 \vee v^3) z^6 \vee v^3 (z^7 \vee z^9) \vee v^5 z^8$  – задано на  $C \times D$ .

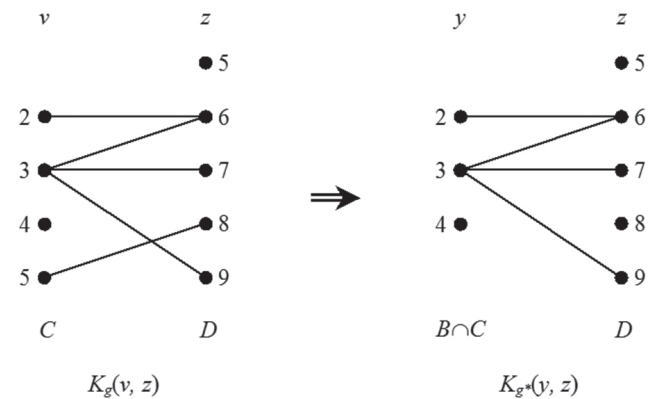


Рис. 3

Тоді  $v/y(K_g(v, z)) = (y^2 \vee y^3) z^6 \vee y^3 (z^7 \vee z^9) = K_{g'}(y, z)$  – задано на  $(B \cap C) \times D$ .

Операція заміни змінної може бути теж морфізмом, але у деякій іншій алгебро-логічній інтерпретації.

Враховуючи (4) і (5), формулу (1\*) можна записати у вигляді:

$$K_h(x, z) = \exists y \in B \cap C (K_{f'}(x, y) \wedge K_{g'}(y, z)).$$

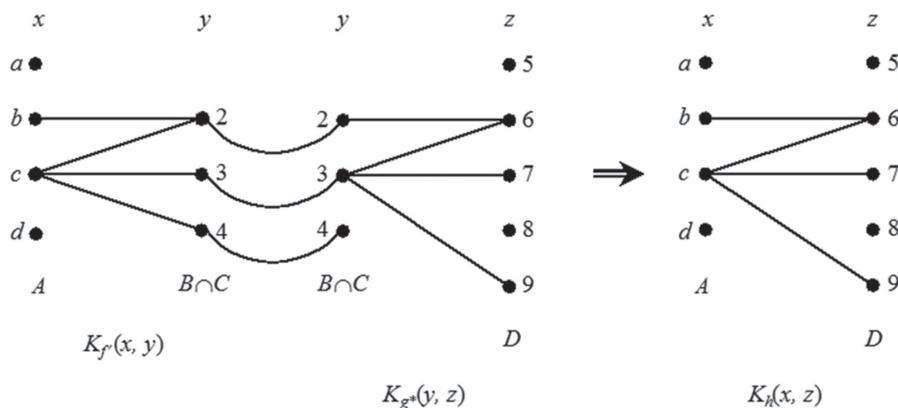


Рис. 4

Підставляємо  $K_{f'}(x, y)$  та  $K_{g'}(y, z)$  в останню формулу:

$$K_h(x, z) = \exists y \in \{2, 3, 4\} ((x^b y^2 \vee x^c (y^2 \vee y^3 \vee y^4)) \wedge ((y^2 \vee y^3) z^6 \vee y^3 (z^7 \vee z^9))) = (x^b \vee x^c) z^6 \vee x^c (z^7 \vee z^9).$$

Звідси, результатом є  $K_h(x, z)$  на  $A \times D$ .

Проте при виконанні операції добутку морфізмів формули  $K_f(x, y)$  та  $K_g(y, z)$  мали початковий вигляд і не скорочувались. Для подальшого дослідження розглянемо другий спосіб вибору області визначення змінної  $y$ , – коли  $S = B \cup C$ .

У випадку з вихідними предикатами –  $K_f(x, u)$  на  $A \times B$  і  $K_g(v, z)$  на  $C \times D$  – при підстановці їх в формулу (1\*) будуть виконуватись наступні перетворення:

$$u/y(K_f(x, u)) = K_{f''}(x, y), \tag{6}$$

$$v/y(K_g(v, z)) = K_{g''}(y, z), \tag{7}$$

де предикат  $K_{f''}(x, y)$  визначено вже на  $A \times (B \cup C)$ , а предикат  $K_{g''}(y, z)$  – на  $(B \cup C) \times D$ . Таким чином,  $f'' : A \rightarrow B \cup C$  та  $g'' : B \cup C \rightarrow D$ .

Для випадку коли  $S = B \cup C$ , область визначення допоміжної змінної  $y$  отримаємо шляхом розширення області визначення кожної з вихідних змінних –  $u$  та  $v$ . Але тепер при заміні змінних формули нових та вихідних предикатів відрізнятимуться тільки іменами змінних, самі ж їх формули не зміняться.

За прикладом знову звернемось до вихідних даних:

$A=\{a, b, c, d\}$ ;  $B=\{1, 2, 3, 4\}$ ;  $C=\{2, 3, 4, 5\}$ ,  $D=\{5, 6, 7, 8, 9\}$ . Тоді  $B \cup C = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ . Змінну  $u$  задано на  $B \cup C$ .  $K_f(x, u) = x^a u^1 \vee x^b (u^1 \vee u^2) \vee x^c (u^2 \vee u^3 \vee u^4)$  – задано на  $A \times B$ .

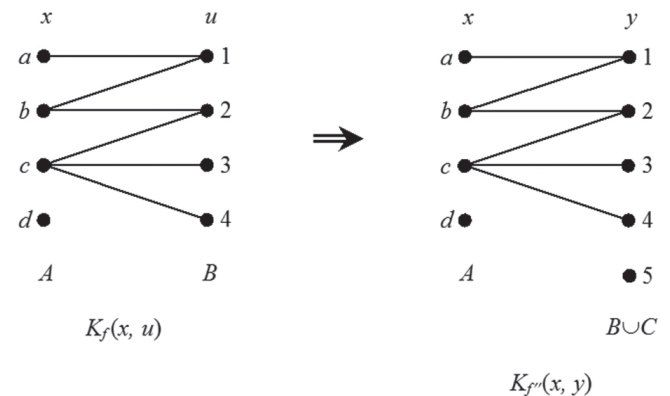


Рис. 5

Тоді  $u/y(K_f(x, u)) = x^a y^1 \vee x^b (y^1 \vee y^2) \vee x^c (y^2 \vee y^3 \vee y^4) = K_{f''}(x, y)$  – задано на  $A \times (B \cup C)$ .

$K_g(v, z) = (v^2 \vee v^3) z^6 \vee v^3 (z^7 \vee z^9) \vee v^5 z^8$  – задано на  $C \times D$ .

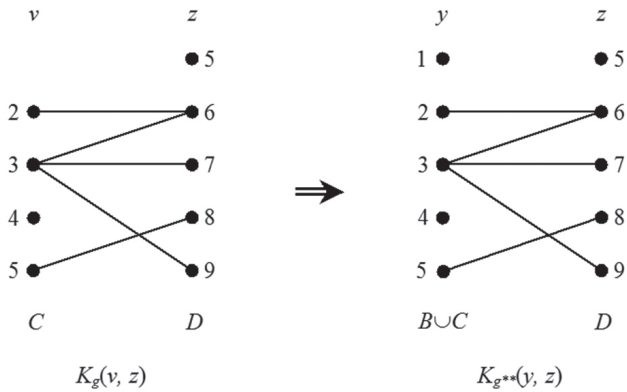


Рис. 6

Тоді  $v/y(K_g(v, z)) = (y^2 \vee y^3) z^6 \vee y^3 (z^7 \vee z^9) \vee y^5 z^8 = K_{g**}(y, z)$  – задано на  $(B \cup C) \times D$ .

Отже, формули не змінились. Проте якщо змінились області визначення предикатів, то це вже різні предикати. Формула (1\*) має вигляд:

$$K_h(x, z) = \exists y \in B \cap C (K_{f''}(x, y) \wedge K_{g**}(y, z)). \quad (1^{**})$$

Перевіримо результат, враховуючи, що  $B \cap C = \{2, 3, 4\}$ :

$$K_h(x, z) = \exists y \in \{2, 3, 4\} ((x^a y^1 \vee x^b (y^1 \vee y^2) \vee x^c (y^2 \vee y^3 \vee y^4)) \wedge ((y^2 \vee y^3) z^6 \vee y^3 (z^7 \vee z^9) \vee y^5 z^8)) = (x^b \vee x^c) z^6 \vee x^c (z^7 \vee z^9).$$

Звідси результат –  $K_h(x, z)$  на  $A \times D$  – знову не змінився в порівнянні зі звичайним добутком морфізмів.

Таким чином нам вдалося розширити області визначення вихідних предикатів  $K_f(x, u)$  та  $K_g(v, z)$ , в результаті чого формули предикатів  $K_f(x, y)$  та  $K_g(y, z)$  не змінились.

Є ще одна особливість модифікованого добутку морфізмів. Оскільки  $f'': A \rightarrow B \cup C$  і  $g^{**}: B \cup C \rightarrow D$ , то формула звичайного добутку в категорії *Pred* повинна мати вигляд

$$K_h(x, z) = \exists y \in B \cup C (K_{f''}(x, y) \wedge K_{g**}(y, z)). \quad (1^{***})$$

Бачимо, що ця формула відрізняється від формули (1\*\*) тим, що в ній квантор існування беруть

по області  $B \cup C$ . Але це знову не впливає на результат. Таким чином вирази (1\*\*) та (1\*\*\*) тотожні.

Отже, при підстановці ядер морфізмів в формулу (1) ми одночасно виконуємо дві операції заміни змінної. Ці операції особливі, оскільки змінюють область визначення змінної. Слід також відзначити, що у цьому випадку змінюється і сам предикат. Отже, насправді операція добутку морфізмів виконується не для вихідних предикатів, а інших, дуже схожих. Але не дивлячись на те, що звичайний та модифікований добуток морфізмів – це різні поняття, не можна казати, що теорія категорій забороняє існування модифікованого добутку. Саме предикатна інтерпретація теорії категорій *Pred* привела нас до того, що поруч зі звичайним добутком морфізмів існує також і модифікований. Або інакше: поряд з частковою операцією добутку морфізмів в категорії *Pred* існує і всюди визначена операція.

### Висновки

Таким чином, було проведено дослідження логіки скінченних предикатів як композиційно-номінативної логіки. Проведено аналіз структури логіки скінченних предикатів, яка забезпечує принцип композиційності. Оскільки особливістю композиційно-номінативних логік є опис часткових операцій, то значну увагу приділено опису лінійних логічних перетворень з різними способами подання предметної області, та дослідженню правил їх обчислення.

Крім того, досліджено часткову операцію добутку морфізмів з точки зору предикатної теорії категорій. Задача зводилась до того, щоб показати, що знаходження модифікованого добутку морфізмів виконується в два етапи. Спочатку за допомогою заміни змінних від довільних вихідних морфізмів ми переходимо до послідовних (для яких знаходять вже звичайний добуток), а потім уже для цих послідовних морфізмів виконується звичайна для теорії категорій операція добутку морфізмів.

Отже, ЛСП відкриває новий погляд на такі проблеми класичної логіки як частковість операцій та

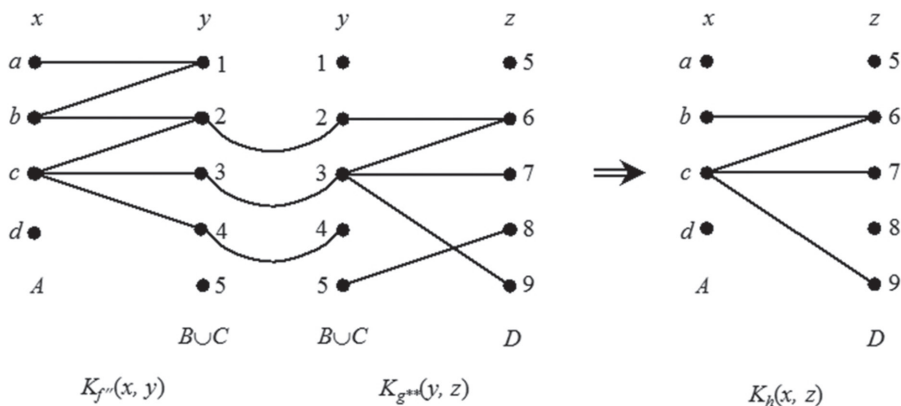


Рис. 7

недостатню структурованість інформації про предметну область. Алгебри ЛСП дозволяють налаштуватися на відповідну предметну область в залежності від вибору базисних елементів та базисних операцій алгебри. А дослідження понять предикату на області, лінійного логічного перетворення та модифікованого добутку морфізмів предикатної категорії допомагає уникнути деяких проблем з частково заданими операціями. Подальшими задачами у цьому напрямку є перевірка на тотальність, правильність виведення в ЛСП та дослідження методів доведення теорем класичної логіки в ЛСП.

**Список літератури:** 1. Шкільняк С.С. Математична логіка; основи теорії алгоритмів: навч. посіб. / С.С. Шкільняк. – К.: ДП «Вид. дім «Персонал»», 2009. – 280 с. 2. Бондаренко М.Ф. Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. Мозгоподібні структури: справочне посіб. Том перший. – К.: Наукова думка, 2011. – 460 с. 3. Вечирская И.Д., Четвериков Г.Г. Формальное описание логического пространства // Искусственный интеллект. – Донецк: Институт проблем искусственного интеллекта. – 2008. – № 3 – С. 781–789. 4. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с. 5. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. М.: Наука, 1971. – 272 с. 6. Вечирская И.Д., Иванилов А.А. О вычислении линейных логических преобразований // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – № 18 – С. 29–32. 7. Вечірська І.Д. Аналіз методу побудови та принципів роботи реляційної мережі як багаторівневої структури паралельної дії // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2013. № 2 (81). – С. 15–21. 8. Дударь З.В., Иванилов А.А., Вечирская И.Д., Лещинский В.А. О категорном

анализе алгебры предикатов // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – № 20. – С. 38–42.

*Поступила до редколегії 10.09.2014*

УДК 519.7:007.52; 519.711.3

**Исследование логики конечных предикатов как композиционно-номинативной логики** / И.Д. Вечирская, И.Э. Гончаров, С.И. Шепилов // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 53–60.

Проанализирована структура логики конечных предикатов, которая обеспечивает принцип композиционности. Основное внимание уделено описанию линейных логических преобразований с разными способами задания предметной области, а также исследованию правил их вычисления. Исследована частичная операция произведения морфизмов с точки зрения предикатной теории категорий.

Рис.: 7. Библиогр.: 8 назв.

UDC 519.7:007.52; 519.711.3

**Research of finite predicate logic as a nominative compositional logic** / I.D. Vechirska, I.E. Goncharov, S.I. Shepilov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 53–60.

The structure of finite predicate logic which provides the principle of compositionality has been analyzed. The main attention has been paid to the description of linear logical transformations with different methods of specifying the subject area, as well as research of the rules for their calculation. The partial operation of the product morphisms in terms of the predicate category theory has been analyzed.

Fig.: 7. Ref.: 8 items.

А.Л. Ерохин<sup>1</sup>, А.С. Нечипоренко<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ayerokhin@ukr.net<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, alinanechiporenko@gmail.com

## ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИИ НОСОВОГО ДЫХАНИЯ

Статья посвящена разработке формальной модели диагностики функции носового дыхания. Рассмотрены основные методы объективной оценки носового дыхания. Проанализирован математический аппарат, используемый в задачах медицинской диагностики. Исследована возможность использования методов искусственного интеллекта для диагностики носового дыхания. Выполнена структурная и параметрическая идентификация модели процесса диагностики на базе нечёткой логики.

МОДЕЛИ НОСОВОГО ДЫХАНИЯ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ, СТРУКТУРНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

### Введение

При разработке современных интеллектуальных медицинских систем одним из наиболее важных остается вопрос разработки формальных моделей диагностики функциональных состояний человека, в частности, функций носового дыхания. Нарушение функции носового дыхания ведёт к резкому снижению качества жизни. При этом количество пациентов с затруднённым носовым дыханием с каждым годом стремительно растёт [1]. Таким образом, диагностика нарушения функции носового дыхания – актуальная проблема современной ринологии. Для диагностики нарушений функции носового дыхания в медицинской практике используют две группы методов: субъективные и объективные. К субъективным методам относят оценку по визуально-аналоговой шкале VAS, оценку симптомов носовой обструкции NOSE (Nasal obstruction symptom evaluation) синусо-назальный тест SNOT-20 [2]. К объективным – компьютерную и магнитно-резонансную томографию (КТ и МРТ), исследования носового воздушного потока, а именно риноманометрию и акустическую ринометрию [3].

Согласно рекомендациям международного комитета по оценке функции носового дыхания, в лор-практике используется следующий протокол: КТ, МРТ, риноманометрия и акустическая ринометрия. С помощью томографических методов визуализируется пространственное отображение взаимоотношений внутриносовых структур и околоносовых пазух, что позволяет судить о характере изменений анатомических конфигураций и их влиянии на развитие патологического процесса, также можно оценить характеристику тканей по их рентгеновской плотности. Акустическая ринометрия позволяет исследовать геометрию полости носа и рассчитать площади поперечных сечений и объем носовой полости. В результате измерений по методу риноманометрии регистрируются две величины: дифференциальное давление и расход

воздушного потока. Для оценки результатов риноманометрии производится расчёт коэффициента носового сопротивления [4]. Согласно стандарту носовое сопротивление рассчитывается для значений дифференциального давления  $\Delta p = 75, 100$  и  $150$  Па. Также применяется расчет носового сопротивления по модели Бромса, согласно которой коэффициент сопротивления определяется на окружности с радиусом в 200 единиц по дифференциальному давлению и расходу [5]. Наиболее достоверной, с точки зрения гидродинамики, является оценка данных риноманометрии по методике Рёхрера [6].

Степень обструкции носового дыхания может быть классифицирована по значению носового сопротивления  $R_{150}$  [7] или резистометрически по значению носового сопротивления при фиксированной скорости объемного потока [8]. Таким образом, отоларинголог сталкивается с множеством диагностических параметров и симптомов, которые необходимо проанализировать. А учитывая, что при всех видах риноманометрических исследований понятие нормы расплывчато и имеет множество интерпретаций, задача медицинской диагностики ещё более усложняется. Следует также отметить, что данные литературных источников [9, 10] свидетельствуют о слабости дифференциальной диагностики функции носового дыхания. Таким образом, проблема диагностики функции носового дыхания является актуальной научно-практической задачей, а процесс диагностики целесообразно рассматривать как объект математического моделирования.

### 1. Анализ литературы и постановка задачи

В литературных источниках [11–13] выделяют три основных подхода к задаче медицинской диагностики: вероятностный, детерминистский и логический. Таким образом, для задач дифференциальной диагностики нарушений носового дыхания в арсенале врача имеется широкий спектр

математических методов. Для медицинской диагностики наиболее часто используются вероятностно-статистические методы, а именно метод Байеса. Данный метод основывается на выборе симптомов, характерных для конкретной патологии и позволяет пересчитывать априорные вероятности заболеваний в апостериорные вероятности этих заболеваний согласно (1).

$$P(d_j / X^*) = \frac{P(d_j)P(X^* / d_j)}{\sum_{j=1}^m P(d_j)P(X^* / d_j)}, \quad (1)$$

где  $P(d_j)$  – априорная вероятность диагноза  $d_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;  $P(X^* / d_j)$  – условная вероятность диагноза  $d_j$  при наборе симптомов  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ;  $P(d_j / X^*)$  – апостериорная вероятность диагноза  $d_j$  при наличии у пациента набора симптомов  $X^*$ . По результатам вычисления апостериорных вероятностей всех возможных диагнозов, выбирается диагноз с наибольшей вероятностью [14]. Однако лор-патологии характеризуются пересекающимися наборами симптомов, что делает возможным его применение только для первичной диагностики.

Также часто используется регрессионный анализ, который позволяет вычислить значение некоторого выходного параметра, определяющего соответствующий диагноз. Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n, \quad (2)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – коэффициенты, определяемые по методу наименьших квадратов,  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – вектор входных переменных (симптомов), влияющих на выходной параметр  $y$ . Основным недостатком данного метода является необходимость наличия большой выборки экспериментальных данных и зависимость от условий эксперимента [15].

Из группы детерминистских методов можно отметить метод фазового интервала. При использовании детерминистских методов задачу удобно формулировать геометрически. Рассматривается  $n$ -мерное пространство, которое характеризуется вектором  $X$ , любое состояние системы представляет собой точку в  $n$ -мерном пространстве симптомов. Каждая координата  $x_i, i = \overline{1, n}$  пространства соответствует одному из симптомов. Точка  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  фазового пространства соответствует диагнозу  $d_j, j = \overline{1, m}$ . Области диагнозов считаются непересекающимися. Основываясь на верифицированных диагнозах, в фазовом пространстве выделяются области  $D_1, D_2, \dots, D_m$ , соответствующие диагнозам  $d_1, d_2, \dots, d_m$ , центр которых определяется точками  $C_1, C_2, \dots, C_m$ . Тогда интервал между точками  $X^*$  и  $C_j$  фазового пространства определяется как  $R(X^*, C_j)$ , где точка  $X^*$  соответствует диагностируемому больному. Тогда в качестве диагноза  $d_j^*$ , соответствующего вектору параметров

$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  выбирается точка  $C_j^*$  или область  $D_j^*$  для которой  $R(X^*, C_j) = \min \{R(X^*, C_j)\}, j = \overline{1, m}$  [18]. Таким образом, отнести состояние системы к тому или иному диагнозу – значит найти наименьшее расстояние от соответствующей точки пространства признаков до одного из центров областей, соответствующих различным диагнозам. Для вычисления интервала между точками пространства используются расстояние по Хеммингу или декартово расстояние. Однако, если центр одной из областей попадает в другую область, в окрестности центра области диагностика будет выполнена неверно [16]. К тому же, данные методы не учитывают как внутреннюю структуру исследуемого объекта, так и причинно-следственные связи между симптомами и диагнозом.

Третьей группой математических методов, наиболее часто используемых в задачах медицинской диагностики являются методы, основанные на аппарате логики предикатов [15]. Диагноз  $d_j^*$  может быть поставлен больному с вектором параметров  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , используя правила «ЕСЛИ-ТО», когда формируется последовательность рассуждений для доказательства справедливости утверждения: ЕСЛИ  $x_1^* \wedge x_2^* \wedge \dots \wedge x_n^*$ , ТО  $d_j^*$  [17]. Однако, для знаний, имеющих нечёткую, вероятностную природу, такие методы не пригодны. Следует также отметить, что все методы, рассмотренные выше, имеют два общих недостатка – это невозможность учёта качественных параметров и работы с нечёткими знаниями. Поэтому начиная с середины девяностых годов предыдущего столетия, начинают активно развиваться модели и алгоритмы решения задач медицинской диагностики на базе нечёткой логики. Такие модели позволяют описывать причинно-следственные связи между параметрами состояния больного и диагнозом на основе исходной нечисловой и нечёткой информации.

Типовая структура модели нечёткого логического вывода содержит основные блоки [18]: фазификации, где происходит преобразование вектора диагностических параметров  $X$  в вектор нечёткий множеств  $\tilde{X}$ , необходимых для выполнения нечёткого логического вывода; нечёткой базы знаний, в которой содержится информация о зависимости  $Y = f(X)$  в виде лингвистических правил «ЕСЛИ-ТО»; нечёткого логического вывода, где на основании правил базы знаний определяется значение выходной переменной в виде нечёткого множества  $\tilde{Y}$  соответствующего нечётким значениям входных диагностических параметров  $\tilde{X}$ ; блок настройки функции принадлежности, где определяется степень принадлежности входного вектора  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  нечётким термам из базы знаний; блок дефазификации, где осуществляется преобразование выходного нечёткого множества  $\tilde{Y}$  в чёткое

число  $Y$ . Их основной недостаток это трудоемкость процессов формализации понятий, построения функций принадлежности и формирования правил вывода. В то же время, экспертные системы на основе нечёткой логики являются простыми и удобными на практике. Они хорошо зарекомендовали себя в кардиологии [15], неврологии [19] и др.

В связи со стремительным развитием методов объективной диагностики функции носового дыхания, когда врач сталкивается с проблемой обработки больших массивов диагностических параметров при отсутствии физиологической нормы носового дыхания, целесообразной является разработка математической модели процесса диагностирования на базе методов искусственного интеллекта. Целью данной работы является формализация процесса диагностики нарушений функции носового дыхания на базе нечёткой логики.

## 2. Моделирование процесса диагностики в ринологии

Объектом идентификации в данном случае является процесс дифференциальной диагностики заложенности носа. Для построения модели необходимо выбрать её структуру, определяющую взаимосвязь наблюдаемых данных через совокупность параметров, а также сформировать входные воздействия. Таким образом, необходимо осуществить структурную и параметрическую идентификацию модели процесса диагностики ринологических заболеваний. Задача диагностики в данном случае рассматривается как процесс принятия решения в системе с одним выходным параметром, т.е. диагнозом и множеством входных (симптомов). Формирование нечёткой базы знаний (БЗ) на этапе структурной идентификации представляет собой формализацию причинно-следственных связей «диагностические параметры – диагноз» с помощью лингвистических правил «ЕСЛИ-ТО». Таким образом, медицинская информация, содержащаяся в историях болезни и базе данных диагностических параметров риноанометрических измерений должна описываться нечёткими логическими уравнениями.

Для записи и обработки диагностических параметров носового дыхания, авторами было разработано программное обеспечение на основе платформы «.NET» [20]. Окна визуализации диагностической информации приведены на рис. 1, 2.

Пусть  $d$  – некоторый выходной параметр, значения которого определяет диагноз,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – входные диагностические параметры, тогда диагноз выражается как:

$$d = f_d(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

где  $f_d$  – некоторая функция устанавливающая связь между переменными  $x_i, i = \overline{1, n}$  и  $d$ .

Metric	R150 (Без)	R100 (Без)	R75 (Без Анемизац.)	R150 (С Анемизац.)	R100 (С Анемизац.)	R75 (С Анемизац.)	R150 (С Аллерген)	R100 (С Аллерген)	R75 (С Аллерген)
Right Ins	1,01	1,02	0,98	1	1	1	0	0	0
Left Ins	1	1	0,99	0,99	1	0,98	0	0	0
Total Ins	0,5	0,5	0,49	0,5	0,5	0,49	0	0	0
Right Exp	1,02	1,01	1,02	1	1,01	0,99	0	0	0
Left Exp	1,01	1,01	1	1,01	1	1	0	0	0
Total Exp	0,51	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0

Рис. 1. Окно визуализации коэффициентов носового сопротивления

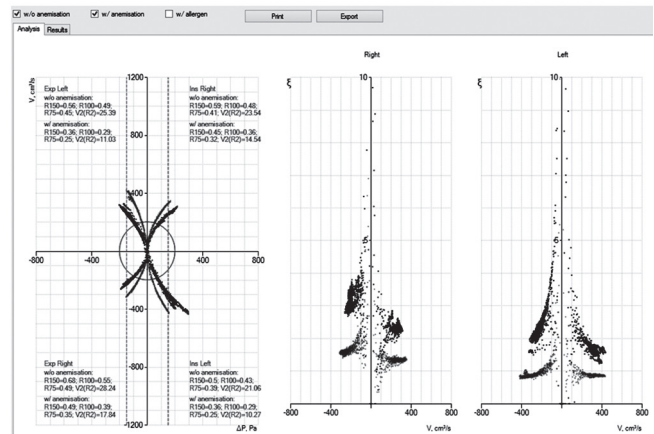


Рис. 2. Окно визуализации графических зависимостей риноанометрических данных

В задачах ринологической диагностики мы имеем дело как с количественными параметрами (коэффициенты носового сопротивления, размеры анатомических конфигураций носовой полости, данные КТ и МРТ и т.д.) так и с качественными (например, состояние больного, оцениваемое по субъективной шкале) параметрами состояния больного. Пусть  $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$  – вектор параметров состояния больного, где  $x_i^* \in U_i, i = \overline{1, n}$ , тогда задача диагностики заключается в определении диагноза  $d^* \in W$ . Необходимым условием формального решения такой задачи является наличие зависимости (3). Для установления данной зависимости необходимо рассматривать параметры, характеризующие состояние больного и диагноз как лингвистические переменные, заданные на универсальных множествах (4), (5) или дискретных множествах (6), (7):

$$U_i = [x_i, \bar{x}_i], i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где  $x_i, \bar{x}_i$  – нижнее (верхнее) значение входного параметра  $x_i$ ;

$$W = [d, \bar{d}], \quad (5)$$

где  $d, \bar{d}$  – нижнее (верхнее) значение выходного параметра  $d$ :

$$U_i = \{v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{q_i}\}, i = \overline{1, n} \quad (6)$$

где  $v_i^1 (v_i^{q_i})$  – оценка по бальной шкале, соответствующая наименьшему (наибольшему) значению входного параметра  $x_i$ ;

$$W = \{w^1, w^2, \dots, w^{q_m}\}, \quad (7)$$

где  $w^1 (w^{q_m})$  – оценка по бальной шкале, соответствующая наименьшему (наибольшему) значению выходного параметра  $d$ .

Для оценки лингвистических переменных  $x_i, i = \overline{1, n}$  и  $d$  используются качественные термы из следующих терм-множеств:  $A_i = \{a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{p_i}\}$  – терм-множество переменной  $x_i, i = \overline{1, n}$ ,  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$  – терм-множество переменной  $d$ , где  $a_i^p$  –  $p$ -ый лингвистический терм параметра  $x_i, i = \overline{1, n}, p = \overline{1, p_i}$  и  $d_j$  –  $j$ -ый лингвистический терм параметра  $d$ , совпадающий с названием  $j$ -го диагноза,  $m$  – число ринологических диагнозов.

Поскольку для определения степени обструкции носового дыхания в международной ринологической практике преимущественно используются количественные параметры, то нечёткие множества  $a_i^p$  и  $d_j$  запишем в виде:

$$a_i^p = \int_{x_i}^{\overline{x_i}} \mu(a_i^p, x_i) / x_i, \quad (8)$$

где  $\mu(a_i^p, x_i)$  – функция принадлежности входного параметра  $x_i \in [x_i, \overline{x_i}]$  терму  $a_i^p \in A_i, p = \overline{1, p_i}, i = \overline{1, n}$ ;

$$d_j = \int_d^{\overline{d}} \mu(d_j, d) / d, \quad (9)$$

где  $\mu(d_j, d)$  – функция принадлежности значения выходного параметра  $d \in [d, \overline{d}]$  терму-диагнозу  $d_j \in D, j = \overline{1, m}$ . Тогда степень принадлежности входного вектора  $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$  нечётким термам  $d_j$  из базы знаний определяется системой нечётких логических уравнений:

$$\mu^{d_j}(X^*) = \bigvee_{p=1}^{k_j} \left[ \bigwedge_{i=1}^n \mu^{j^p}(x_i) \right], j = \overline{1, m}, \quad (10)$$

где  $k_j$  – число совокупностей диагностических параметров с диагнозом  $d_j, j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – число диагнозов,  $\mu^{d_j}(X^*)$  – зависящая от  $n$  - переменных, функция принадлежности вектора параметров  $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$  диагнозу  $d_j, j = \overline{1, m}$ . При этом количественное измерение качественных параметров обеспечивается за счёт введения искусственных шкал универсальных множеств типа (6), (7). Идентификация лингвистического термина происходит по максимуму функции принадлежности:

$$\mu^d(X^*) = \max_{j=1, m} [\mu^{d_j}(X^*)]. \quad (11)$$

Этому решению будет соответствовать искомым диагноз больного с вектором параметров  $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$ . Для настройки нечёткой БЗ необходимо найти такие параметры функций принадлежности термов входных переменных и весовых коэффициентов правил, которые минимизируют отклонение между желаемым и действительным поведением нечеткого классификатора

на обучающей выборке. Таким образом, настройка нечёткого классификатора сводится к решению задач оптимизации. Хорошие результаты настройки функции принадлежности даёт применение генетических и иммунных алгоритмов [21, 22]. На заключительном этапе производится деффазификация, например, по методу центра тяжести, который наиболее часто используется для таких задач.

Для проверки адекватности построенной модели в рамках принятых допущений и ограничений проводится оценка значений параметров в соответствии с принятым критерием качества. Заключительным этапом является процедура верификации модели.

### Выводы

В работе проанализированы основные математические методы, используемые в задачах медицинской диагностики. Исследована возможность использования методов искусственного интеллекта для диагностики в ринологии. Осуществлена структурная и параметрическая идентификация модели процесса диагностики нарушений носового дыхания, для чего проведена формализация процесса диагностики на базе нечёткой логики.

Перспективным направлением для задач прогнозирования в ринологии является интеллектуальная обработка сигналов носового дыхания. Данный вопрос поднимался в работах [23–25], однако повышение эффективности диагностирования было достигнуто только для дифференциальной диагностики вазомоторных и аллергических ринитов. Поэтому целесообразно для обработки характеристик биосигналов с целью выявления закономерностей, по которым в дальнейшем можно проводить диагностику, использовать аппарат искусственного интеллекта.

Задачу построения модели по экспериментальным данным целесообразно решать путём комплексного использования нечёткой логики, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов. Поэтому дальнейшие исследования должны идти по пути создания гибридных нейрофаззи систем с настройкой параметров с помощью эволюционных алгоритмов. Данный подход позволяет объединить такое преимущество фаззи-систем как обеспечение сложного отображения вход-выход в форме базисных правил, основываясь на восприятии и имеющейся в наличии априорной информации [26] и способность искусственных нейронных сетей к обучению. Таким образом, нейро-фаззи сети обучаются как нейронные сети, а строят объяснения как системы нечеткого вывода. Исходная совокупность диагностических параметров для задач диагностики функции носового дыхания дополнится характеристиками сигналов дифференциального давления и расхода

воздушного потока, регистрируемых в процессе риноманометрических измерений. Например, это могут быть спектральные характеристики выше приведенных сигналов, полученные с помощью модифицированного ковариационного метода.

Ещё одним перспективным направлением диагностики в ринологии является анализ с помощью искусственных нейронных сетей временных рядов дифференциального давления и расхода воздушного потока.

**Список литературы:** 1. *Segboer C. L.* Quality of life and use of medication in chronic allergic and non-allergic rhinitis patients / C.L. Segboer, C.T. Holland, S.M. Reinartz, I. Terreehorst, A. Gevorgyan, P.W. Hellings, C.M. Van Drunen, W.J. Fokkens // *Rhinology*. — 2014. — 52. — P. 167. 2. *Jay, F.* Sino-nasal outcome test (SNOT-20) / F. Jay, M. D. Piccirillo // Washington University School of Medicine, St. Louis, Missouri — 1996. — 2. — P. 2–5. 3. *Clement P. A.* Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry / P.A. Clement, F. Gordts // *Rhinology*. — 2005. — 43. — P. 169–179. 4. *Clement P. A.* Committee report on standardization of rhinomanometry / P. A. Clement // *Rhinology*. — 1984. — 22(3). — P. 151–155. 5. *Broms P.* Rhinomanometry. II. A system for numerical description of nasal airway resistance / P. Broms, B. Jonson, C. J. Lamm // *Acta Otolaryngology*. — 1982. — 94(1-2). — P. 157–168. 6. *Rührer F.* Der Stromungswiderstand in der menschlichen Atemwegen / F. Rührer // *Pflogers Arch Ges Physiology*. — 1915. — 162. P. 225-295. 7. *Гарюк О.Г.* Риноманометрия (Сообщение 2: Современное состояние и перспективы) / О.Г. Гарюк // *Ринология*. — 2013. — 3. — С. 32–45. 8. *Mlynski G.* Diagnosis of respiratory function of the nose / G. Mlynski, A. Beule // *HNO. Springer medizin verlag*. — 2008. — 56(1). — P. 81–99. 9. *Thulesius H. L.*, Rhinomanometry in clinical use. A tool in the septoplasty decision making process : doctoral dissertation, clinical sciences / H.L. Thulesius — 2012. — 67 p. 10. *Broms P.* Rhinomanometry. IV. A pre and postoperative evaluation in functional septoplasty / P. Broms, B. Jonson, L. Malm // *Acta Otolaryngol* — 1982. — 94(5-6). — P. 523–529. 11. *Степанова М. Д.* Прикладные интеллектуальные системы в области медицины / М. Д. Степанова, С. А. Самодумкин // Учебно-методическое пособие. — Мн.: БГУИР, 2000, с. 38. 12. *Мельников В. Г.* Медицинская кибернетика / В. Г. Мельников // Под редакцией Мисюренько И. В. — Харьков: :Полиграфкнига. — 1978. — 112 с. 13. *Гублер Е. В.* Вычислительные методы распознавания патологических процессов / Е. В. Гублер // Л.: Медицина. — 1980. — 342 с. 14. *Bayes Th.* An essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances / Th. Bayes // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. — 1763. — P. 53. 15. *Ротштейн А. П.* Медицинская диагностика на нечёткой логике / А. П. Ротштейн // Винница: Континент-ПРИМ. — 1996. — 132 с. 16. *Становская Т. П.* Интеллектуализация метода фазового интервала / Т. П. Становская, М. В. Закусило // *Вісник Вінницького політехнічного інституту. Автоматика та інформаційно-вимірювальна техніка*. — 2006. — 6. — С. 22-26. 17. *Ротштейн А. П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн // Винница: УНИВЕРСУМ — Винница. — 1999. — 320 с.

18. *Штовба С. Д.* Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С. Д Штовба // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*. — 2003. С. 9–15. 19. *Телишевская А. В.* Идентификация модели медицинской системы на базе нечёткой логики / А. В. Телишевская, А. И. Поворознюк // *Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование*. 2013. — № 39(2012). — С. 177–181. 20. *Нечипоренко А. С.* Технические аспекты риноманометрии / А. С. Нечипоренко // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2013. — № 4/9(64). — С. 11–14. 21. *Lambrou A.* Reliable Confidence Measures for Medical Diagnosis with Evolutionary Algorithms / A. Lambrou, H. Papadopoulos and A. Gammerman // *IEEE Transactions on information in biomedicine*. — 2011. — 21 (1), — P. 93–99. 22. *A. A. Spadoto* Improving Parkinson’s Disease Identification Through Evolutionary-Based Feature Selection / A. A. Spadoto, R. C. Guido, F. L. Carnevali, A. F. Pagnin, A. X. Falcão, J. P. Papa // *33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Boston, Massachusetts USA*, — 2011. — P. 7857–60. 23. *Seren E.* Frequency spectra of normal expiratory nasal sound / E. Seren // *Am J Rhinol*. — 2005. — 19. P. 257–261. 24. *Нечипоренко А.С.* Особенности применения спектрального анализа для объективной оценки носового дыхания / А.С. Нечипоренко // *Бионика интеллекта*. — 2013. — № 2(81). С. 64–68. 25. *Ерохин А. Л.* Объективное оценивание функции носового дыхания по риноманометрическим данным / А.Л. Ерохин, И.П. Захаров, А.С. Нечипоренко, О.Г. Гарюк // *Восточно-европейский журнал передовых технологий № 4/9(70)*, 2014. С. 47–50. 26. *Бойко В.В.* Анализ клинических данных в медицинских исследованиях на основе методов вычислительного интеллекта / В.В. Бойко, Е.В. Бодянский, Е.А. Винокурова, С.В. Сушков, А.А. Павлов // Харьков: ТО Эксклюзив, 2008. — 120 с.

Поступила в редколлегию 13.05.2014

УДК 004.942

**Формальні моделі диференційної діагностики функції носового дихання** / А. Л. Єрохін, А. С. Нечипоренко // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал*. — 2014. — № 2 (83). — С. 61–65.

У статті розглянуто особливості застосування математичного апарату у задачах медичної діагностики. Запропоновано формальну модель процесу діагностики порушень функції носового дихання на базі нечіткої логіки. Визначено подальші шляхи підвищення ефективності лор-діагностики з використанням штучного інтелекту.

Л. 2. Бібліогр.: 26 найм.

UDC 004.942

**Formal models of differential diagnosis of nasal breathing function** / A. L. Yerokhin, A. S. Netchyporenko // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2014. — № 2 (83). — P. 61–65.

The paper describes the basic approaches for medical diagnosis. The analysis of existing methods of an assessment of nasal breath is carried out A formal model of diagnosis of nasal breathing function is proposed. Prospects for the using of artificial intelligence methods for the diagnosis of nasal breathing are shown.

Fig. 2 Ref.: 26 items.

УДК 519.81

Э.Г. Петров<sup>1</sup>, Е.В. Губаренко<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ST@kture.kharkov.ua<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, gubarenko.evgen@gmail.com

## СИСТЕМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НООСФЕРЫ (ТЕХНОБИОСФЕРЫ)

Рассмотрено понятие технобиосферы в ретроспективе его становления и развития. Проанализирована социально-экономическая система во взаимодействии с технобиосферой, выделены особенности. Описаны направления моделирования и методы принятия решений. Составлена комплексная системологическая модель технобиосферы.

ТЕХНОБИОСФЕРА, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, АБСТРАКТНАЯ СИСТЕМА, ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

### Введение

Становление понятия ноосфера имеет давнюю историю начиная с работ Э. Леруа и П. Тейяра де Шардена [1] двадцатых годов прошлого столетия, которые рассматривали биосферу Земли как пассивную внешнюю среду возникновения и развития «человека разумного» и человечества как единой социально-экономической системы (СЭС), до В.И. Вернадского [2], указавшего на превращение разумной деятельности человечества в определяющий фактор развития интегрированной метасистемы «человечество – биосфера» и, как следствие, превращение ее в ноосферу.

Системообразующими элементами мировой СЭС являются социум и экономика. Цель СЭС заключается в удовлетворении потребностей социума, а способом ее достижения – рост экономики, как средства овеществления потребительских благ путем трансформации природных ресурсов. На ранних этапах развития СЭС прирост доступных не возобновляемых ресурсов обеспечивался за счет привлечения и разработки новых источников (месторождений), а темпы потребления возобновляемых природных ресурсов не превосходили темпы их самовосстановления. В процессе дальнейшего развития СЭС все виды ресурсов становятся «критическими», а СЭС в целом переходит в перманентное кризисное состояние с угрозой развития катастрофического сценария. Осознание этого факта привело мировое сообщество к необходимости трансформации концепции экономического роста СЭС в концепцию устойчивого развития технобиосферы (ноосферы). Однако практическая реализация указанной концепции происходит крайне медленно. Среди причин следует выделить недостаточную разработанность теоретического базиса, в частности моделей ноосферы как целостной метасистемы, ее элементов: социума, экономики, биосферы и отношений между ними.

По определению [3], моделирование – это способ получения новой или верификации известной информации об объекте познания. Для этого

изучаются процессы, явления, функциональные характеристики объектов любой природы с помощью экспериментального или умозрительного исследования моделей, под которыми понимаются макеты, схемы, изображения, описания, т.е. любые материальные или виртуальные аналоги объектов познания.

Наряду с интеллектуальным интроспективным анализом моделирование является одним из древнейших способов познания. При этом происходил постепенный эволюционный переход от изучения реальных натуральных объектов к абстрактным моделям. Абстрактными являются модели, описывающие объект познания на любом абстрактном языке, под которым понимается некоторый алфавит (набор знаков, понятий, терминов) и грамматика, определяющая правила манипулирования элементами алфавита. Любое высказывание, записанное на абстрактном языке, является формулой, а совокупность формул описывающих процесс, явление или объект в целом – абстрактной (формальной) моделью. В настоящее время моделирование с помощью абстрактных моделей стало основным средством познания.

В современных условиях, для которых характерны экспоненциальный рост быстродействия дискретной вычислительной техники, средств накопления, хранения, передачи информации, основным, быстро развивающимся и прогрессивным средством познания, стало математическое моделирование.

Следует отметить, что первоначально моделирование, как средство познания по необходимости было специализированным, предметно и проблемно-ориентированным. В дальнейшем происходило естественное стремление к обобщению, переходу от предметно-проблемной ориентации, к выделению классов моделей и созданию общей теории моделирования, ориентированной на формализацию процессов синтеза и изучение моделей как универсального средства познания [4]. Исследования в этом контексте привели к

созданию и развитию научного направления ориентированного на описание объекта познания как некоторой абстрактной системы. Это послужило отправной точкой создания и развития научного направления известного как «теория систем» и «системный анализ», которые создали фундамент для общей теории моделирования, позволяющий описать объект познания в виде обобщенной абстрактной системы.

Рассмотрим с указанных позиций ноосферу как абстрактную систему элементами которой являются классы проблемно и объектно-специализированных моделей.

**Целью** статьи является обобщенное теоретико-множественное определение ноосферы (технобиосферы), как абстрактной системы, анализ ее особенностей, выделение двух принципиально разных направлений моделирования и методов принятия решений, а так же синтез на этой основе ее комплексной системологической модели.

### 1. Модель абстрактной системы

По определению [5] абстрактная система – это множество элементов  $M$ , на которых задано множество отношений  $Q$ , определяющих характер взаимодействий между ними и объединяющих отдельные элементы в единое целое. В дальнейшем такое единое целое будем называть структурой системы и обозначим  $C$ . С математической точки зрения структура системы – это декартово произведение:

$$C = (M \times Q), \quad (1)$$

где  $C$  – универсум структур, мощность которого определяется мощностью множеств элементов  $M$  и отношений  $Q$ .

Каждая конкретная структура, как целое, порождает множество свойств

$$P = F(\mu \times q), \mu \in M, q \in Q. \quad (2)$$

Будем различать прямые свойства, т.е. свойства, определяемые непосредственно свойствами элементов структуры: вес, объем и т.д. и системные (эмерджентные), уникальные свойства, возникающие только в результате структурного упорядочения элементов отношениями в целостную систему. Например, кристалл алмаза как целостная структура, элементами которой выступят атомы углерода, а отношениями – кристаллическая решетка, обладает уникальными эмерджентными свойствами – твердостью, прозрачностью и прочее.

Таким образом, общее определение абстрактной системы следующее: система ( $S$ ) – это множество однородных или разнородных элементов, упорядоченных множеством отношений в единое целое, и обладающее некоторым множеством прямых и эмерджентных свойств:

$$S = \langle C, P \rangle. \quad (3)$$

С этой точки зрения ноосфера является метасистемой, элементами которой выступают социальная, экономическая и биосферная системы, каждая из которых соответствует определению (3). Кроме того социум и экономика находятся в тесной взаимосвязи и образуют социально-экономическую метасистему, обладающими эмерджентными свойствами, которые можно выявить только при комплексном рассмотрении двух этих систем как единой метасистемы.

Моделирование является инструментом выявления свойств конкретной системы и идентификации функциональных зависимостей их формирования, поэтому дальнейшее конструктивное использование определения абстрактной системы связано с конкретизацией и учетом специфических особенностей структуры и свойств систем, т.е. выделение их классов.

Введем понятие активных и пассивных систем как классов абстрактных моделей. Различие заключается в том, что структура пассивных систем не содержит элементов, которые обладают свободой воли, т.е. способностью к сознательному выбору поведения (реакции) в условиях действия внешних раздражителей (воздействий). Принципиальной особенностью систем этого класса является то, что для них выполняются аксиоматические условия наблюдаемости и управляемости [6], т.е. условие однозначности реакции (траектории движения, поведения) на внешние воздействия. Эти свойства определяются фундаментальными законами природы, которые могут быть идентифицированы, что открывает возможность детерминированного целенаправленного управления для перевода системы из начального в некоторое желаемое целевое состояние. Такие системы являются объектом изучения «теории автоматического управления» и описываются ее моделями. В дальнейшем будем различать искусственные и естественные пассивные системы.

В настоящее время для некоторых естественных пассивных систем условие наблюдаемости и управляемости невозможно выполнить, но это связано не с принципиальной особенностью таких систем, а с недостаточной изученностью латентных объективных закономерностей, определяющих их реакции на внешние воздействия. Характерной особенностью таких систем является их сложность и недостаточная изученность, которая усугубляется отсутствием достаточных вычислительных и материальных ресурсов для реализации управляющих воздействий. Примером является предсказание погодных условий планеты или локальных регионов и управление ими, а так же большинство других процессов биосферы.

В отличие от пассивных, активные системы в своей структуре содержат элементы обладающие

свободой воли, т.е. способностью к осознанному выбору альтернативного поведения из допустимого множества альтернатив (принятию решений).

Реакции на внешние воздействия (раздражители) активных систем, в отличие от пассивных, недетерминированы, и для достижения ими желаемого целевого состояния необходимо реализовывать либо принуждение (лишение индивидуума возможности свободного выбора), либо мотивирование (убеждение индивидуума принимать predetermined решения). Мотивация заключается в том, чтобы создать такие условия, когда некоторая поведенческая альтернатива является для индивидуума или социальной группы более привлекательной (полезной), чем другие.

Возникает вопрос, насколько уникальны индивидуальные предпочтения и может ли быть реализовано управление не только отдельным индивидуумом, но и социальной группой, т.е. группой индивидуумов близких по профессиональной ориентации, образованию, половозрастным характеристикам и другим признакам. Для ответа на этот вопрос введем понятие индивидуального и группового поведения.

Изучение проблемы влияния на поведение различных факторов привело к возникновению понятия «рационального поведения» [7]. Идея заключается в том, что предпочтения отдельного индивидуума уникальны, но совокупные предпочтения социальной группы более сглажены и согласованы. Например, изучение предпочтений индивидуумов при выборе вакансий для трудоустройства позволило выделить структуру факторов влияющих на выбор: размер материального вознаграждения, престижность и возможность профессионального роста, социальный статус, удаленность от места жительства, график работы, социальные блага, морально-психологический комфорт и т.д. Это общий перечень наиболее значимых факторов, но для каждого индивидуума структура и значимость (вес) факторов индивидуальна и зависит от пола, возраста, уровня образования, среды обитания. Поэтому необходимо различать:

- управление (мотивацию) индивидуума;
- управление социальной группой.

В общих случаях управление активными системами сводится к изменению степени удовлетворения потребностей индивидуума или социальной группы таким образом, чтобы максимизировать привлекательность желательной (целевой) альтернативы поведения [8]. Для этого необходима структурно-параметрическая идентификация многофакторной модели привлекательности альтернатив поведения (аналога функции полезности при решении задач оптимизации управления пассивными системами) [9, 10], учитывающей не

только материальные, но и морально-этические, психологические, социальные факторы.

Существует в настоящее время большой класс смешанных активных и искусственных пассивных систем, которые определяются термином автоматизированных или человеко-машинных систем. Эти системы необходимо четко различать по степени и роли влияния на их функционирования активных и пассивных элементов и в зависимости от этого формировать «смешанное» управление такими системами, ориентированное на обеспечение эффективности и устойчивости их функционирования.

Конечной целью синтеза и исследования всех абстрактных моделей (с помощью моделирования, прогнозирования и других методов) является изучение и идентификация характеристик и особенностей реальных систем для целенаправленного их изменения (управления). Если непосредственное управление невозможно из-за ограниченности знаний или возможностей (материальных, технических, ресурсных, управленческих), тогда модели используются для предсказания (прогноза) развития, количественных и качественных характеристик параметров возмущающих внешних воздействий – для реализации управления по возмущениям или отклонению от желаемого целевого состояния. Базовым для решения указанных проблем являются характеристики устойчивости и эффективности системы. Рассмотрим возможность качественного и количественного оценивания этих характеристик для обозначенных выше классов абстрактных систем.

*Пассивные системы.* Будем различать статическую (в узком смысле) и динамическую (в широком смысле) устойчивость. В первом случае под устойчивостью будем понимать способность системы автономно возвращаться в исходное невозмущенное состояние после прекращения действия возмущения.

Проблема устойчивости пассивных систем исследована в «теории автоматического управления». Плеяда выдающихся ученых, начиная с А.М. Ляпунова [11] и других, разработали теоретические и практические методы анализа и моделирования устойчивости движения. Согласно этой теории, если система устойчива, в пространстве ее состояний существует «область устойчивости», т.е. множество состояний из которых система способна возвращаться в начальное состояние при прекращении действия возмущений. Если возмущающее воздействие настолько велико, что система «выходит» за границу области ее устойчивости, то она уже не может вернуться в исходное состояние и по некоторой траектории переходит в новое устойчивое состояние или продолжает хаотическое движение. С этих позиций запас устойчивости

системы может быть оценен как расстояние, измеренное в некоторых метриках, в пространстве переменных между исходным состоянием и границей области устойчивости

$$\Delta U(t) = \min(X_u(t) - X_0(t)), \quad (4)$$

где  $\Delta U(t)$  – запас устойчивости;  $X_u(t)$  – кортеж состояний, соответствующий границе устойчивости в пространстве состояний  $X$ ;  $X_0(t)$  – кортеж начальных состояний системы. Это условие справедливо как для искусственных, так и для естественных пассивных систем.

Рассмотрим зависимость эффективности пассивных систем от запаса устойчивости. Состояние системы характеризуется кортежем  $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ , где  $x_i$  – разнородные по смыслу, размерности, измерительным шкалам, направлению доминирования характеристики. Будем полагать, что эффективность системы является некоторой многофакторной оценкой ( $P$ ), известной как «полезность» [12].

$$P = F(\lambda, X), \quad (5)$$

где  $\lambda$  – коэффициент изоморфизма разнородных характеристик состояния системы.

Известно, что максимальное значение функции полезности (5) достигается на границе допустимой области решений, известной как «область компромиссов»  $X^c$  [13]. Если допустимыми являются только устойчивые состояния, то эффективное решение должно выбираться в близких окрестностях границы устойчивости. Это делает систему неустойчивой даже при малых возмущениях. Такое обстоятельство можно преодолеть, если присоединить к пассивной системе систему управления возмущенным движением, целью которой является парирование возмущений (управление по возмущению) или стабилизация возмущенного движения относительно эффективного выбранного или программно изменяемого состояния (управление по отклонению). Однако такую стратегию можно реализовать только для искусственных пассивных систем и невозможно, в силу указанных выше причин, реализовать для естественных биосферных систем. Для них можно реализовать только управление по возмущению, т.е. идентифицировать и минимизировать возмущающее воздействие на систему.

Для пассивных систем удовлетворяющих условием наблюдаемости и управляемости методы управления глубоко изучены «теорией автоматического управления». Однако эту теорию невозможно распространить на активные системы, так как они обладают свободной волей, т.е. их реакция на внешние воздействия не детерминирована объективными законами природы, а является результатом сознательного выбора из допустимого множества возможностей.

*Активные системы.* Любая человеческая деятельность представляет собой непрерывную последовательность процедур принятия и реализации решений.

Независимо от вида деятельности в общем случае процедура принятия решений включает в себя следующие функциональные этапы:

- определение цели деятельности;
- формирование множества возможных путей достижения цели (решений)  $X^B$  и выделение из них допустимых  $X^D$  с учетом функциональных, нормативных, морально-этических и других ограничений;
- формирование метрики оценки эффективности деятельности (критерия эффективности)  $K(x)$ ;
- выбор и реализация эффективного решения

$$x^o = \arg \operatorname{extr}_{x \in X^D} K(x).$$

Принимая решение о выборе вида деятельности индивидум добровольно и сознательно ограничивает свою «свободу воли» (поведение) принимая на себя обязательство выполнять «регламент» конкретного вида деятельности, что связано с конкретизацией всех этапов процедуры принятия решений. Таким образом активный элемент (индивидум) превращается в элемент «трудовых ресурсов» подчиняющимся правилам «рационального поведения».

Целью деятельности является максимизация степени удовлетворения жизненных потребностей (благ) путем обмена (продажи) личного живого труда (физического и интеллектуального) на необходимые индивидуму, в текущий момент времени, блага. Обозначим набор благ, которые необходимы конкретному индивидуму для удовлетворения личных потребностей, кортежем

$$B = \langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle. \quad (6)$$

Этот кортеж включает в себя разнородные блага: материальные, социальные, экологические, духовные, эстетические, морально-этические и т.д., при этом структура (конкретный перечень) и значимость (степень потребности) различны и индивидуальны для каждого конкретного индивидума. Обозначим множество допустимых, т.е. выделенных из возможных законодательными, нормативными, морально-этическими и другими ограничениями, поведений индивидума  $Y = \{y_i\}, i = \overline{1, n}$ .

Примем следующие допущения:

- функция потребления благ (степень удовлетворения) не насыщаема;
- индивидум реализует рациональное поведение, которое заключается в стремлении максимизировать обобщенную оценку набора получаемых благ

$$Y^0 = \arg \max_{y \in Y} B(y). \quad (7)$$

Эти допущения являются принципиальными, так как они побуждают индивидума к активной

деятельности направленной на максимизацию степени удовлетворения личных потребностей и на основе этого обеспечивает прогресс социума в целом. Не выполнение этих условий ведет к застою и стагнации СЭС.

Тогда под областью устойчивости активного элемента и активной системы будем понимать такую область состояний по степени удовлетворения потребностей, когда стремление к повышению степени удовлетворенности не приводит к необходимости изменения вида деятельности. В этом случае изменение вида деятельности означает переход в новое устойчивое состояние, а поиск нового вида деятельности аналогичен движению пассивного элемента по хаотической траектории в новое устойчивое состояние.

Будем полагать, что степень удовлетворения кортежа потребностей активного элемента системы, определяется эффективностью его личной деятельности и деятельности системы, элементом которой он является.

Деятельность – это процесс овеществления живого труда с целью создания или изменения формы представления материального или абстрактного объекта деятельности. Измерение «количества» овеществленного живого труда (результата деятельности) позволяет сформулировать понятие эффективности активного элемента или системы как количественный результат деятельности за единицу времени. Результат деятельности определяется двумя характеристиками: затратами физических усилий и профессионализмом, т.е. знаниями и умениями, которыми обладает активный элемент в конкретной сфере деятельности – это интеллектуальная составляющая.

Повысить эффективность деятельности можно двумя способами:

- автоматизацией всего либо части процесса производства (физических усилий);
- повышением профессионализма выполнения работ.

Таким образом, возникают сложные человеко-машинные системы (автоматизированные системы), которые представляют собой симбиоз искусственных пассивных систем, реализующих физический труд, и активных систем, выполняющие функции интеллектуальной производственной деятельности, т.е. принятие функциональных решений. В зависимости от количественного и качественного соотношения пассивных и активных элементов, их взаимной значимости, может быть выделено множество смешанных пассивно-активных систем, на одном полюсе которых будут чисто автоматические – пассивные системы, а на другом – системы интеллектуальной деятельности: проектирование, обучение и т.д.

*Смешанные системы.* В чистом виде пассивные или активные системы являются либо

упрощением, либо решают ограниченных круг задач. Самым распространенным видом систем, являются смешанные, когда в том или ином виде в систему включены как активные, так и пассивные элементы. Иногда, для упрощения, активные элементы исключаются из рассмотрения (моделирования) или же их возможностью к проявлению свободы воли пренебрегают, за счет введения неких ограничений, которые подавляют данную особенность. Этот подход основан на понятии «трудовые ресурсы», но он серьезно ограничивает возможности моделирования, прогнозирования, оценивания и принятия эффективных решений.

Следовательно, устойчивость и эффективность для смешанных систем серьезно отличается от устойчивости и эффективности чисто активных или пассивных систем.

Уникальным примером смешанной метасистемы, является ноосфера (технобиосфера). Ее системообразующими элементами является социум, т.е. структурированное на социальные группы по признаку семейных отношений, полу, возрасту, территориальной близости, национальности и т.д. множество активных элементов (индивидуумов), экономика и биосфера. Общей целью социума, как системы, является перманентное повышение уровня (степени) удовлетворения потребностей его элементов. Удовлетворение потребностей элементов (индивидуумов) социума осуществляется путем производства и потребления благ. Инструментом производства благ является экономика, как целостная система, элементами которой является все виды человеческой деятельности, как способа овеществления (создания) всех видов материальных и духовных ценностей и благ. Особенность экономики как системы заключается в том, что ее активные элементы (индивидуумы) являются одновременно и производителями (трудовыми ресурсами) и потребителями благ, хотя эти процессы в общем случае не совпадают в пространстве и времени. Именно это обстоятельство служит причиной необходимости и плодотворности рассмотрения социальной и экономической системы как единой социально-экономической метасистемы (СЭС).

Индивидуум не может овеществлять все свои разнообразные потребности, т.е. реализовать все виды деятельности. Для повышения эффективности деятельность должна быть узкоспециализированной, а ее результат является общественным продуктом. Удовлетворение индивидуальных потребностей осуществляется следующим образом: в процессе и по результатам деятельности индивидуум обменивает (продает) свой живой труд на универсальный свободно конвертируемый в потребности ресурс (деньги), который он может обменять на любую потребность.

В связи с этим возникает проблема «оценивания» результатов экономической деятельности и соответственно производимых благ в денежном выражении. Такая оценка (измерительная метрика) необходима для аргументированного определения как численного значения величины оплаты «деятельности» каждого индивидуума при производстве благ, так и «стоимости» благ при оплате. Такая оценка должна быть многофакторной и учитывать затраты живого (физического и интеллектуального) труда, количество материальных, энергетических, производственных, экологических ресурсов и функциональные потребительские характеристики результатов деятельности.

Теоретической основой такого комплексного оценивания является теория полезности [14], а проблема синтеза и структурно-параметрической идентификации соответствующей модели связана с необходимостью идентификации отношений, определяющих структуру и как следствие «свойства» социально-экономической системы (СЭС), которые определяют соотношения между «социальной» и «экономической» ориентацией системы.

Необходимым условием существования СЭС, как организационной формы является окружающая среда (биосфера), как пассивная метасистема она обладает собственной устойчивостью, т.е. способностью самостоятельно возвращаться (самовосстанавливаться) в исходное начальное состояние при исчезновении возмущающего воздействия. С этой точки зрения, СЭС выступает по отношению к среде обитания источником внешних возмущений. Среди них могут быть выделены: загрязнение атмосферного воздуха, пресной воды, деградация плодородных почв, изменения ландшафта, воздействие на животный и растительный мир и прочие. При уровне развития экономики, которым обладала цивилизация до начала 20 в., эти воздействия были сравнительно невелики и компенсировались за счет самовосстановления экологических систем (а экологические катастрофы носили стохастический локальный характер), система (биосфера) же в целом оставалась в области устойчивого состояния. Но по мере роста экономики, росла «возмущающая» нагрузка на среду обитания (экосистему), а темпы «самовосстановления» стали отставать от темпов роста возмущающих воздействий. В результате экосистема, как целостная система вышла на границу области устойчивости, а по некоторым характеристикам потеряла устойчивость и перешла (в соответствие с теорией катастроф) в состояние хаотического перехода в «новое» устойчивое состояние, которое характеризуется ураганами, тайфунами, цунами, землетрясениями, глобальным потеплением, аномальными дождевыми и засушливыми сезонами, т.д.

В настоящее время человечество, даже объединив ресурсы не способно реализовать динамическое управление экосистемой по отклонению [15]. Альтернативой является управление по возмущению, т.е. планомерное уменьшение уровня негативных возмущающих воздействий путем сокращения выбросов парниковых газов, квотирования потребления природных ресурсов и т.д. в надежде на то, что процесс деградации экосистемы обратим.

СЭС как государство. Государство, как социально-экономическая система, из-за своей уникальной особенности абсорбировать все виды ресурсов и производственных мощностей, на данный момент, является основой организационной формой функционирования глобальной СЭС. В процессе реализации управления должны быть решены следующие задачи.

Социальный комплекс:

- обеспечение информационного сопровождения проходящих процессов;
- обеспечение свободы формирования и взаимодействия личных информационных пространств индивидуумов, демократическое согласование их с общественными социальными интересами;
- создание равных потенциальных возможностей для всех индивидуумов по удовлетворению личных потребностей путем максимизации количества и качества личного живого труда на основе общедоступности систем здравоохранения и образования;
- формирования и укрепление моральных, этических, культурных, общечеловеческих, национальных особенностей и традиций;
- обеспечение постоянного роста качественных и количественных характеристик трудовых ресурсов.

Экономический комплекс:

- обеспечение возможности свободного экономически обоснованного обмена универсального ресурса (денег) на товары или услуги;
- обеспечение сохранности и развития характеристик производственной базы и на этой основе рост рынка труда;
- развитие национального комплекса невозобновляемых природных ресурсов;
- стимулирование оптимизации ресурсо- и энергопотребления, процессов замещения естественных ресурсов искусственными, создания новых технологий и т.д. на основе развития научно-интеллектуального потенциала;
- обеспечение правовой и методической базы взаимодействия СЭС иерархически более низкого иерархического уровня;
- влиять на рациональное распределение потребляемых благ, структуру и количественные характеристики личных потребностей.

### Природно-экологический комплекс

- сохранение и последовательное развитие количественных и качественных характеристик трудовых ресурсов (индекс здоровья населения, продолжительность жизни, количество населения);
- формирование систем комплексного мониторинга окружающей среды;
- сохранение и улучшение показателей качества окружающей среды (среды обитания) путем минимизации антропогенных возмущающих воздействий;
- рационализация потребления восстанавливаемых ресурсов (атмосферный воздух, пресная вода и прочее).

### Выводы

В настоящее время мировым научным сообществом осознано, что культивируемая большинством «развитых» стран концепция стихийного, неконтролируемого, экстенсивного экономического роста, ориентированного на максимизацию прибыли отдельных групп является антисоциальной. Как инструмент повышения темпов роста и уровня удовлетворения потребностей социума такой подход полностью исчерпал себя и дальнейшее следование ему ведет к стагнации или даже краху большинства социальных институтов, а, следовательно, всей техносферы. Альтернативой является переход к концепции устойчивого развития ноосферы. Однако реализация концепции устойчивого развития требует решения ряда социально-экономических и экологических проблем. Среди них первоочередными являются:

- отказ от неограниченного стихийного поведения и переход к обоснованному рациональному социальному и экономическому поведению;
- формирование объективных моделей формирования многофакторной оценки, стоимости количества и качества живого труда (физического и интеллектуального) каждого индивидуума и результатов экономической деятельности; модель должна учитывать «стоимость» инвестиций и их амортизацию;
- интенсификация экономики за счет повышения значимости интеллектуального живого труда;
- минимизация потребления и развитие методов восстановления экоресурсов;
- разумная, осознанная эксплуатация возобновляемых и не возобновляемых природных ресурсов, поиск альтернативных решений;
- разработка глобального плана снижения давления на экосистему и восстановления ее обратимых процессов;
- разработка социально-ориентированных методов развития СЭС.
- определения роли и форм государственного управления.

Проведен анализ и описано эволюционное развитие подходов к восприятию системы, как абстрактного объекта познания.

Дано определение абстрактной целенаправленной системы путем теоретико-множественной интерпретации необходимых структурных элементов.

Рассмотрены особенности пассивных систем. Дано описание их устойчивости и эффективности, а также проанализированы способы управления.

Предложено выделять активные системы, как системы, в структуре которых присутствуют активные элементы (индивидуумы). Дано определение активного элемента, как способного на проявление свободы воли.

Рассмотрены особенности и структура такой уникальной смешанной системы как ноосфера (технобиосфера). Описаны характерные особенности определения устойчивости и эффективности для активных систем.

Определена социально-экономическая система (СЭС), как часть класса смешанных систем. Рассмотрены особенности построения СЭС в современном обществе.

Выделены системообразующие элементы (социальная, экономическая и экологическая системы) ноосферы как метосистемы и описано их взаимодействие с активными элементами системы.

Рассмотрено государство, как организационная форма СЭС. Выделены три класса задач: социальные (информационное обеспечение и поддержание структуры связей), экономические (связанные с формированием средств производства) и экологические (сохранение характеристик окружающей среды).

**Список литературы:** 1. *Тейяр де Шарден П.* Феномен человека / П. Тейяр де Шарден. – М.: Наука, 1987. – 240 с. 2. *Вернадский В.И.* Несколько слов о ноосфере / В.И. Вернадский // Успехи современной биологии. – 1944. – №18. – С. 113-120. 3. *Томашевский В.М.* Моделирование систем / В.М. Томашевский – К.: Видавнична група ВНУ, 2005. – 352 с. 4. *Мальцев А.И.* Алгебраические системы / А.И. Мальцев – М.: Наука, 1970 – 392 с. 5. *Бурбаки Н.* Теория множеств / Н. Бурбаки; пер. с фран. Г.Н. Поварова, Ю.А. Шиханович. – М.: Мир, 1965. – 457 с. 6. *Калман Р.* Очерки по математической теории систем / Р. Калман, П. Фабл, М. Арбиб – М.: Мир, 1971. – 384 с. 7. *Акофф Р.* О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери – М.: Сов.радио, 1974. – 272 с. 8. *Згуровский М.З.* Системный подход к оценке и управлению устойчивого развития общества / М.З. Згуровский, Г.А. Статюха // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – №3. – С. 7–27. 9. *Статюха Г.А.* Проблемы построения метрик устойчивого развития для системного применения в оценивании взаимодействия общества с окружающей средой / Г.А. Статюха, И.Н. Джигирей, Б.Н. Комаристая // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – N 6/4 (36). – С. 19–26. 10. *Губаренко Е.В.* Модели

и методы управления устойчивым развитием социально-экономических систем / Е.В. Губаренко, А.О. Овезгельдыев, Э.Г. Петров, под общ. ред. Э.Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д.С., 2013. – 252 с. **11.** *Ляпунов А.М.* Общие задачи об устойчивости движения / А.М. Ляпунов. – М. – Л.: ГИТТЛ, 1950. – 472 с. **12.** *Нейман Дж.* Теория игр и экономическое поведение / Дж. Нейман, О. Моргенштерн. – М.: Наука, 1970. – 124 с. **13.** *Петров Э.Г.* Условия устойчивого функционирования социально-экономических систем / Э.Г. Петров, Е.В. Губаренко // Системні дослідження та інформаційні технології, 2013. – № 1. – С. 28–35. **14.** *Петров Э.Г.* Необходимость и инструментальные средства обеспечения эффективности государственного управления социально-экономическими системами / Э.Г. Петров, Е.В. Губаренко // Проблемы информационных технологий. – № 1 (007). – 2010. – С. 8–17. **15.** *Zgurovsky M.* The Sustainable Development Global Simulations in Respect of Quality and Safety of Human Life / M. Zgurovsky – K.: Polytekhnik, 2007. – 218 p.

*Поступила в редколлегию 22.05.2014*

УДК 519.81

**Системологічна модель сталого розвитку ноосфери (технобіосфери)** / Е.Г. Петров, Е.В. Губаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 66–73.

Системоутворюючими елементами світової соціально-економічної системи (СЕС) є соціум і економіка. Мета СЕС полягає в задоволенні потреб соціуму, а засобом її досягнення – зростання економіки, як засобу виробництва споживчих благ. На ранніх етапах розвитку СЕС приріст доступних не поновлюваних ресурсів забезпечувався за рахунок залучення і розробки нових

джерел (родовищ), а темпи споживання відновлюваних природних ресурсів не перевершували темпи їх самовідновлення. Надалі всі види ресурсів перетворилися в «критично» обмежені, а СЕС в цілому перейшло в перманентний кризовий стан з загрозою виникнення катастрофічного сценарію. Усвідомлення цього факту призвело світове співтовариство до необхідності переходу від концепції економічного зростання СЕС до концепції сталого розвитку біосфери (техноноосфери). Однак практична реалізація зазначеної концепції відбувається з багатьох причин вкрай повільно, серед яких недостатня розробленість теоретичного базису.

Бібліогр.: 15 найм.

UDK 519.81

**System model of sustainable development of the noosphere (technobiosphere)** / E. G. Petrov, E.V. Gubarenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 66–73.

Backbone elements of global socio-economic systems (SES) are the society, and Economics. The purpose of the SES is to meet the needs of society and its way of achieving economic growth, as a means of materialization of consumer goods. In the early stages of development SES increase of available non-renewable resources is ensured by attracting and developing new sources (deposits), and the rate of consumption of renewable natural resources do not exceed the rate of self-healing. In future, all types of resources have become critical limited, and SES in General turned into a permanent state of crisis with the threat of a catastrophic scenario. This realization has led the international community to transition from the concept of economic growth SES to the concept of sustainable development of technobiosphere (the noosphere). However, the practical implementation of this concept occurs for many reasons, very slowly, among which are the insufficient development of the theoretical basis.

Ref.: 15 items.

УДК 519.6



О. М. Литвин, Л. С. Лобанова, Г. А. Мірошніченко

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна  
galina\_ms2@mail.ru

## ПРО ОДИН ПІДХІД ДО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Запропоновано новий метод знаходження наближеного розв'язку задачі Коші для систем лінійних звичайних диференціальних рівнянь. Розв'язок подається у вигляді лінійної комбінації елементів деякої системи лінійно-незалежних функцій. Невідомі сталі розкладу знаходяться з умови найкращого наближення правих частин диференціальних рівнянь системи (в нормі  $L_2[0,1]$  та в нормі  $W_2[0,1]$ ) за допомогою вказаної системи лінійно-незалежних функцій. Наведено приклади.

ФУНКЦІОНАЛ, ЗАДАЧА КОШІ, СИСТЕМА ЛІНІЙНО-НЕЗАЛЕЖНИХ ФУНКЦІЙ

### Вступ

Як відомо [1] математичне моделювання на даний час надає один із основних методів розв'язання задач природознавства, техніки та машинобудування, наприклад, при дослідженні оптимальних систем автоматичного управління тощо. Процес математичного моделювання будь-якого об'єкта складається з декількох взаємопов'язаних етапів: модель – алгоритм – програма (рис. 1).

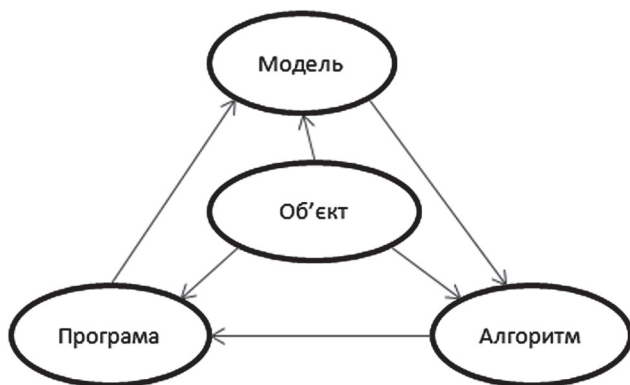


Рис. 1. Процес математичного моделювання об'єкта

В даній роботі на основі створеної моделі процесу здійснюються другий і третій етапи математичного моделювання згідно з запропонованим методом.

У роботах [2-4] досліджувалося наближення функцій класу  $C[0,1]$  і класу  $W_2^1[0,1]$  сплайнами першої степені. Зокрема, в роботі [4] доведено, що функції класу  $W_2^1[0,1]$  можна наблизити сплайнами першого порядку в нормі  $W_2^1[0,1]$  з оптимальним порядком точності на цьому класі. У роботах [5-8] було запропоновано і досліджено новий метод розв'язання задачі Коші для системи лінійних звичайних диференціальних рівнянь за допомогою сплайнів першої степені за умови, що праві частини системи наближалися сплайнами першої степені мінімізацією відповідної нев'язки в нормі  $W_2^r[0,1], r = 0, r = 1$ .

У даній роботі вказаний метод узагальнюється на випадок, коли наближений розв'язок шукається

у вигляді лінійної комбінації деякої системи лінійно-незалежних функцій, що задовольняють однорідним умовам задачі Коші, і невідомі коефіцієнти вказаної лінійної комбінації знаходяться з умови найкращого наближення правих частин диференціальних рівнянь системи в нормі  $W_2^r[0,1], r = 0, 1$ .

### 1. Постановка задачі

Задача полягає в розробці і дослідженні методу знаходження наближеного розв'язку задачі Коші для системи звичайних лінійних диференціальних рівнянь

$$\frac{d\vec{y}}{dx} = A\vec{y} + \vec{f}(x), \quad (1)$$

$$\vec{y}(0) = 0, \quad (2)$$

$$\vec{y} = \begin{pmatrix} y_1(x) \\ y_2(x) \\ \dots \\ y_n(x) \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_{11}(x) & a_{12}(x) & \dots & a_{1n}(x) \\ a_{21}(x) & a_{22}(x) & \dots & a_{2n}(x) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}(x) & a_{n2}(x) & \dots & a_{nn}(x) \end{pmatrix}$$

у вигляді лінійної комбінації точних розв'язків задачі Коші (1) – (2) для вільних членів

$$\vec{\varphi}_k(x) = \frac{d\vec{\psi}_k(x)}{dx} - A\vec{\psi}_k(x),$$

де  $\vec{\psi}_k(x)$  – система довільних лінійно-незалежних вектор-функцій, що задовольняють умову  $\vec{\psi}_k(0) = 0, k = 1, 2, \dots$ . Наводяться приклади. Аналіз результатів обчислювального експерименту свідчить про високу точність наближення, отриманого запропонованим методом.

### 2. Алгоритм методу та основні твердження

Алгоритм розв'язання задачі Коші для системи звичайних лінійних диференціальних рівнянь (1) – (2) згідно з методом, що пропонується, полягає в наступному:

– вибір системи  $\{\vec{\psi}_1(x), \dots, \vec{\psi}_N(x)\}$  лінійно-незалежних вектор-функцій, які задовольняють умові

$$\vec{\psi}_k(0) = 0; \quad \frac{d\vec{\psi}_k(x)}{dx} - A\vec{\psi}_k(x) = \vec{\varphi}_k(x) \neq 0, \quad k = \overline{1, N}, \quad (3)$$

– представлення невідомого розв’язку задачі (1) – (2) у вигляді

$$y_{i,N}(x) = \sum_{\ell=1}^N C_{i,\ell} \psi_{\ell,i}(x), \quad i = \overline{1,n}, \quad (4)$$

– знаходження невідомих сталих  $C_{i,\ell}$ ,  $i = \overline{1,n}$ ,  $\ell = \overline{1,N}$  з умови найкращого наближення вільних членів  $f_i(x)$ ,  $i = \overline{1,n}$  диференціальних рівнянь системи в нормі  $\|u\|_2 = \left( \int_0^1 u^2(x) dx \right)^{\frac{1}{2}}$  або в нормі простору  $W_2^1[0,1] = \left\{ u(x) : \sum_{s=0}^1 \|u^{(s)}\|_2^2 < \infty \right\}$ .

У загальному випадку вказані умови мають вигляд

$$J_r(C) = \int_0^1 \sum_{i=1}^n \left( f_i(x) - \sum_{\ell=1}^N \left( C_{i,\ell} \frac{d\psi_{\ell,i}(x)}{dx} - \sum_{k=1}^n a_{i,k}(x) C_{k,\ell} \psi_{\ell,k}(x) \right) \right)^2 dx \rightarrow \min_C, r = 0,$$

$$J_r(C) = \int_0^1 \sum_{i=1}^n \sum_{s=0}^r \left( f_i^{(s)}(x) - \sum_{\ell=1}^N \left( C_{i,\ell} \frac{d\psi_{\ell,i}(x)}{dx} - \sum_{k=1}^n a_{i,k}(x) C_{k,\ell} \psi_{\ell,k}(x) \right)^{(s)} \right)^2 dx \rightarrow \min_C, r = 1. \quad (5)$$

Використовуючи необхідну умову екстремуму функції багатьох змінних, для визначення коефіцієнтів  $C_{k,\ell}$  ( $k = \overline{1,n}$ ;  $\ell = \overline{1,N}$ ) розкладання наближеного розв’язку по системі функцій  $\psi_{\ell,k}(x)$  отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\frac{\partial J_0(C)}{\partial C_{j,p}} = 2 \int_0^1 \left\{ \sum_{i=1}^n \left( f_i(x) - \sum_{\ell=1}^N C_{i,\ell} \frac{d\psi_{\ell,i}(x)}{dx} - \sum_{k=1}^n a_{i,k}(x) C_{k,\ell} \psi_{\ell,k}(x) \right) \times \left( -\frac{d}{dx} \psi_{j,p}(x) \cdot \delta_{i,j} + a_{i,j}(x) \psi_{j,p}(x) \right) \right\} dx = 0,$$

$$j = \overline{1,n}, p = \overline{1,N},$$

$$\frac{\partial J_1(C)}{\partial C_{j,p}} = 2 \int_0^1 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{s=0}^1 \left( f_i^{(s)}(x) - \sum_{\ell=1}^N \left( C_{i,\ell} \frac{d\psi_{\ell,i}(x)}{dx} - \sum_{k=1}^n a_{i,k}(x) C_{k,\ell} \psi_{\ell,k}(x) \right)^{(s)} \right) \cdot \left( -\psi_{j,p}^{(s+1)}(x) \cdot \delta_{i,j} + a_{i,j}^{(s)}(x) \psi_{j,p}^{(s)}(x) \right) \right\} dx = 0,$$

$$j = \overline{1,n}, p = \overline{1,N}; \delta_{i,j} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}.$$

Більш докладно, ця система має вигляд

$$\int_0^1 \sum_{i=1}^n \sum_{s=0}^1 \sum_{\ell=1}^N \left( C_{i,\ell} \psi_{i,\ell}^{(s+1)}(x) - \sum_{k=1}^n C_{k,\ell} (a_{i,k}(x) \psi_{k,\ell}(x))^{(s)} \right) \times \left( -\psi_{j,p}^{(s+1)}(x) \cdot \delta_{i,j} + a_{i,j}^{(s)}(x) \psi_{j,p}^{(s)}(x) \right) dx =$$

$$= \int_0^1 \sum_{i=1}^n \sum_{s=0}^1 f_i^{(s)}(x) \left( -\psi_{p,j}^{(s+1)}(x) \cdot \delta_{i,j} + a_{i,j}^{(s)}(x) \psi_{p,j}^{(s)}(x) \right) dx, \quad (6)$$

$$j = \overline{1,n}; p = \overline{1,N}.$$

**Твердження 1.** Наближений розв’язок

$$y_{i,N}(x) = \sum_{\ell=1}^N C_{i,\ell} \psi_{i,\ell}(x), \quad i = \overline{1,n}$$

має наступні властивості:

а) точно задовольняє початковій умові (2) задачі Коші;

б) точно задовольняє системі диференціальних рівнянь

$$\frac{dy_{i,N}(x)}{dx} - \sum_{k=1}^n a_{i,k}(x) y_{k,N}(x) = f_{i,N}(x), \quad i = \overline{1,n}, \quad (7)$$

де

$$f_{i,N}(x) = \sum_{\ell=1}^N \left( C_{i,\ell} \frac{d}{dx} \psi_{i,\ell} - \sum_{k=1}^n a_{i,k} C_{k,\ell} \psi_{k,\ell} \right), \quad i = \overline{1,n} \quad (8)$$

і функції  $f_{i,N}(x)$  є найкращими наближеннями в нормі  $W_2^r[0,1]$  до  $f_i(x)$ ,  $i = \overline{1,n}$ . Доведення твердження 1 отримується безпосередньою перевіркою виконання (7), (8).

Наведене твердження представляє новий метод розв’язання задачі (1)–(2), який полягає у тому, що її точний розв’язок пропонується наближати точними розв’язками системи (7) при нульових початкових умовах і не рівних нулю правих частинах.

**Твердження 2.** Припустимо, що коефіцієнти, праві частини і розв’язок системи (1)

$$y_i(x) \in C^\infty(R), a_{ij}(x) \in C^\infty(R), f_i(x) \in C^\infty(R),$$

$$i, j = \overline{1,n}$$

є аналітичними функціями. Якщо постійні

$$C_{k,\ell} \quad (k = \overline{1,n}, \ell = \overline{1,N})$$

знаходяться з умови

$$J_1(C) = \int_0^1 \sum_{k=1}^n \sum_{s=0}^1 \left[ f_k^{(s)}(x) - f_{k,N}^{(s)}(x) \right]^2 dx \rightarrow \min_C,$$

то у випадку  $\psi_{k,\ell}(x) = x^\ell$ ,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$  виконуються наступні граничні співвідношення

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \max_{1 \leq k \leq n} \max_{0 \leq x \leq 1} \left\{ |f_k(x) - f_{k,N}(x)|, |f_k'(x) - f_{k,N}'(x)| \right\} = 0,$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \max_{0 \leq x \leq 1} |y_k(x) - y_{k,N}(x)| = 0, \quad k = \overline{1,n}.$$

Наведені приклади підтверджують викладене.

### 3. Результати обчислювального експерименту

Наведемо чисельні приклади, що ілюструють застосування запропонованого методу до розв’язання задачі Коші для систем звичайних лінійних диференціальних рівнянь. Відзначимо, що у всіх наведених прикладах невідомі постійні знаходилися з умови якнайкращого наближення правих частин диференціальних рівнянь системи в нормах простору  $L_2[0,1]$  і  $W_2^r[0,1]$ ,  $r \in \{0,1\}$ . Наближений розв’язок знаходився на відрізку  $[0,1]$ .

Максимальна похибка наближення до точного розв'язку  $\delta_1$  визначалася для випадку, коли постійні в (4) знаходилися з умови найкращого наближення правих частин  $f_i(x), i = \overline{1, n}$  виразами

$$\sum_{l=1}^N \left( C_{i,l} \frac{d}{dx} \Psi_{l,i}(x) - \sum_{k=1}^n a_{i,k} C_{k,l} \Psi_{l,k}(x) \right), i = \overline{1, n}$$

у нормі  $\|u\|_2 = \left( \int_0^1 u^2(x) dx \right)^{\frac{1}{2}}$ .

Максимальна похибка наближення до точного розв'язку  $\delta_2$  визначалася для випадку, коли постійні в (4) знаходилися з умови найкращого наближення правих частин  $f_i(x), i = \overline{1, n}$  і їх похідних  $\frac{df_i(x)}{dx}, i = \overline{1, n}$  відповідно виразами

$$\sum_{l=1}^N \left( C_{i,l} \frac{d}{dx} \Psi_{l,i}(x) - \sum_{k=1}^n a_{i,k} C_{k,l} \Psi_{l,k}(x) \right), i = \overline{1, n},$$

$$\frac{d}{dx} \sum_{l=1}^N \left( C_{i,l} \frac{d \Psi_{l,i}(x)}{dx} - \sum_{k=1}^n a_{i,k}(x) C_{k,l} \Psi_{l,k}(x) \right), i = \overline{1, n}$$

у нормі простору  $W_2^1[0,1] = \left\{ u(x) : \sum_{s=0}^1 \|u^{(s)}\|_2^2 < \infty \right\}$ .

Максимальна похибка наближення до точного розв'язку  $\delta_3$  визначалася для випадку, коли розв'язок задачі знаходили методом Рунге-Кутта з кроком  $h$ .

**Приклад 1.** Знайдемо запропонованим методом наближений розв'язок задачі

$$y' - 2y = 6x \cos 6x + (1 - 2x) \sin 6x, \quad y(0) = 0$$

Її точний розв'язок  $y(x) = x \sin 6x$ .

Для розв'язання цієї задачі було обрано систему  $\Psi_{k,i}(x) = x^k, i = 1, 2; k = 1, 2, \dots$

При  $N = 10$  похибка наближення до точного розв'язку дорівнювала  $7,6066 \cdot 10^{-6}$  для випадку, коли коефіцієнти  $C_{i,l}, l = \overline{1, N}, i = 1$  знаходилися з умови найкращого наближення правій частини в нормі  $L_2[0,1]$  і  $4,4924 \cdot 10^{-6}$  в нормі  $W_2^1[0,1]$ .

Похибка розв'язку, отриманого методом Рунге-Кутта при  $h = 0.04$  склала  $3,5974 \cdot 10^{-6}$ .

Графіки точного  $y_t(x)$  і наближеного  $y_N(x)$  розв'язків задачі прикладу 1 наведені на рис. 2.

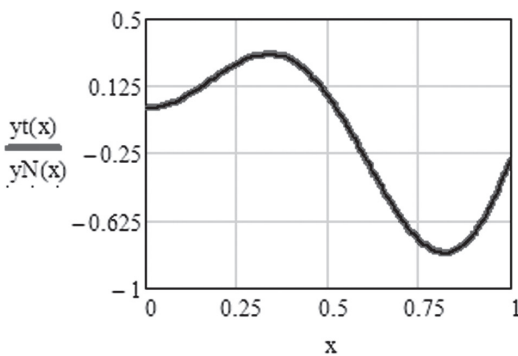


Рис. 2 Графіки точного  $y_t(x)$  і наближеного  $y_N(x)$  розв'язків задачі прикладу 1

**Приклад 2.** Запропонованим методом знаходився наближений розв'язок задачі

$$\begin{cases} y_1' = x^2 y_1 + x^3 y_2 + f_1(x) \\ y_2' = x y_1 + x^2 y_2 + f_2(x), \end{cases} \quad y_1(0) = 0, y_2(0) = 0,$$

точний розв'язок якої

$$y_1(x) = 10x^2 e^{-4x},$$

$$y_2(x) = 5x e^{-4x}.$$

Максимальне відхилення наближеного розв'язку при  $N = 10$  від точного складає відповідно  $8,0537 \cdot 10^{-3}$  для  $y_1(x)$  і  $5,6677 \cdot 10^{-6}$  для  $y_2(x)$  з умови найкращого наближення правій частини в нормі  $L_2[0,1]$  і відповідно  $1,1228 \cdot 10^{-5}$  для  $y_1(x)$  і  $3,0246 \cdot 10^{-7}$  для  $y_2(x)$  в нормі  $W_2^1[0,1]$ .

Максимальне відхилення наближеного розв'язку, отриманого методом Рунге-Кутта при  $h = 0,04$  від точного розв'язку складає відповідно  $2,2148 \cdot 10^{-6}$  і  $9,1988 \cdot 10^{-7}$ .

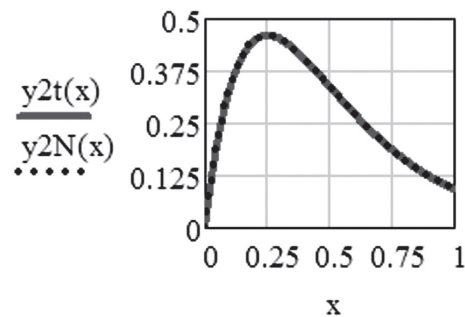
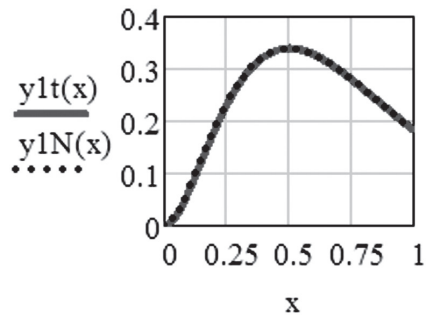


Рис. 3. Графіки точних  $y_{1t}(x), y_{2t}(x)$  і наближених  $y_{1,N}(x), y_{2,N}(x)$  розв'язків задачі прикладу 2

**Приклад 3.** В цьому прикладі розглядалася задача

$$\begin{cases} y_1' = \frac{1}{1+x} y_1 + 2y_2 + 2 - e^{-x} \sin x - \frac{e^{-x} \sin x}{x+1} - e^{-x} \cos x \\ y_2' = 4y_1 + \frac{1}{1+x^2} y_2 - \frac{e^{-x} \cos x - 1}{x^2+1} - e^{-x} \cos x - 5e^{-x} \sin x \end{cases}$$

$$y_1(0) = 0, y_2(0) = 0,$$

з точним розв'язком

$$y_1(x) = e^{-x} \sin x$$

$$y_2(x) = e^{-x} \cos x - 1$$

Для розв'язання цієї задачі було вибрано таку ж систему лінійно-незалежних функцій, як і в попередніх прикладах.

Максимальне відхилення наближеного розв'язку при  $N = 8$  від точного складає відповідно  $1,4632 \cdot 10^{-6}$  для  $y_1(x)$  і  $1,4784 \cdot 10^{-8}$  для  $y_2(x)$  з умови найкращого наближення правої частини в нормі  $L_2[0,1]$  і відповідно  $8,8218 \cdot 10^{-10}$  для  $y_1(x)$  і  $1,3802 \cdot 10^{-9}$  для  $y_2(x)$  в нормі  $W_2'[0,1]$ .

Максимальне відхилення наближеного розв'язку, отриманого методом Рунге-Кутта при  $h = 0,005$  від точного розв'язку складає відповідно  $2,5284 \cdot 10^{-9}$  і  $3,6477 \cdot 10^{-9}$ .

Графіки точних  $y_{1t}(x), y_{2t}(x)$  і наближених  $y_{1,N}(x), y_{2,N}(x)$  розв'язків задачі прикладу 3 наведено на рис. 4.

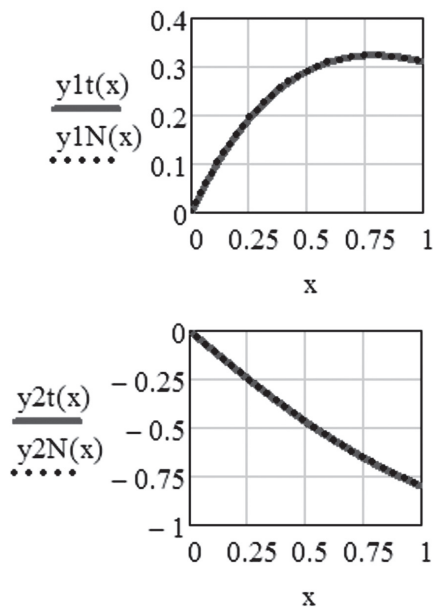


Рис. 4. Графіки точних  $y_{1t}(x), y_{2t}(x)$  і наближених  $y_{1,N}(x), y_{2,N}(x)$  розв'язків задачі прикладу 3

Перспективи подальших досліджень. В наступних публікаціях автори планують викласти узагальнення запропонованого методу на випадок розв'язання задачі оптимального управління для системи диференціальних рівнянь з управлінням.

### Висновки

Запропонований метод побудови наближених розв'язків задачі Коші для систем звичайних лінійних диференціальних рівнянь

$$\frac{d\vec{y}}{dx} = A\vec{y} + \vec{f}(x), \quad 0 < x < 1,$$

згідно з яким компоненти  $y_k(x), k = \overline{1, n}$  розв'язку представляються у вигляді лінійної комбінації елементів деякої системи лінійно-незалежних функцій  $\psi_{i,k}(x), k = \overline{0, 1}, \dots, N, i = \overline{1, n}$ , що задовольняють однорідним початковим умовам задачі Коші. Коефіцієнти розкладання знаходяться з умови найкращого наближення в нормах  $W_2^1[0,1]$  і  $L_2[0,1]$  правих частин  $f_i(x), i = \overline{1, n}$  даної системи.

Аналіз результатів обчислювального експерименту показав, що:

1) якщо праві частини є поліномами змінної  $x$ , то для знаходження наближеного розв'язку системи з постійними коефіцієнтами вибір базисних функцій  $\psi_{i,k}(x) = x^k$  дає експоненціальну точність;

2) якщо система диференціальних рівнянь загального вигляду, тобто із змінними коефіцієнтами, то вибір базисних функцій  $\psi_{i,k}(x)$  відповідно до запропонованого методу може бути здійснений оптимально;

3) якщо базисні функції вибираються різними для різних компонент  $y_1(x), \dots, y_n(x)$ , то можна одержати точний розв'язок для правих частин, які є деяким наближенням заданим правим частинам;

4) одна з основних переваг цього методу полягає у тому, що ми в результаті одержуємо розв'язок в аналітичному вигляді;

5) в такому вигляді, який викладено в даній роботі, метод можна використовувати тільки для розв'язання задачі Коші для систем ЛДР, проте є можливість його узагальнення на випадок задачі Коші для нелінійних систем;

6) приклади ілюструють високу точність наближених розв'язків, одержаних запропонованим методом;

7) наведені приклади свідчать, що точність наближення залежить від властивостей розв'язку: вона більша, якщо розв'язок є монотонним на відрізку  $[0,1]$  в порівнянні з розв'язком, характер поведінки якого на цьому відрізку змінюється з монотонного зростання на монотонне спадання і навпаки.

**Список літератури:** 1. Самарский А.А. Математическое моделирование / Самарский А.А., Михайлов А.П. // Идеи. Методы. Примеры – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с. 2. Корнейчук Н.П. Сплайны в теории приближения / Н.П. Корнейчук. – М: Наука, 1984. – 352 с. 3. Завьялов Ю.С. Методи сплайн – функцій / Б.И. Квасов, В.Л. Мирошніченко. М.: Наука, 1980. – 350 с. 4. Литвин О.М. Про оцінку похибки наближення диференційовних функцій лінійними сплайнами в нормі  $W_2^1(I), I = [0,1]$ . // Доповіді НАН України. Математика, природознавство, технічні науки. – 2005. – №7. – С. 22-26. 5. Литвин О.М. Про використання апроксимаційних сплайнів до розв'язання задачі управління системою лінійних звичайних диференціальних рівнянь / О.М. Литвин, Л.С. Лобанова, Г.А. Мірошніченко // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2011. – № 3(106). – С. 105-113. 6. Литвин О.М. Деякі аспекти чисельної реалізації наближеного розв'язання задачі управління системою лінійних звичайних диференціальних рівнянь / О.М. Литвин, Л.С. Лобанова, Г.А. Мірошніченко // Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації: зб. наук. ін. за матеріалами четвертої міжнародної наукової конференції – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2010. – С. 129-136. 7. Литвин О.М. Про один новий варіаційний метод розв'язання задач оптимального управління системами звичайних диференціальних рівнянь

/Литвин О.М., Лобанова Л.С., Мірошніченко Г.А. // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції "Інформатика та системні науки" ІСН-2011 – Полтава : РВВ ПУЕТ, 2011. – С.347-350. **8.** Литвин О.М. Чисельне дослідження нового варіаційного методу розв'язання задач оптимального управління системами звичайних диференціальних рівнянь / Литвин О.М., Лобанова Л.С., Мірошніченко Г.А. // 17 міжнародна конференція з автоматичного управління "Автоматика – 2010". Тези доповідей. Том 1. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – С.54-56.

*Надійшла до редколегії 11.06.2014*

УДК 519.6

**Об одном подходе к математическому моделированию в задачах оптимального управления** / О. М. Литвин, Л. С. Лобанова, Г. А. Мірошніченко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 74–78.

Рассматривается новый метод нахождения приближенного решения задачи Коши для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений, основанный на представлении решения задачи Коши в виде линейной комбинации элементов некоторой системы линейно-независимых функций. Постоянные

разложения находятся из условия наилучшего приближения правых частей дифференциальных уравнений системы и (возможно) их производных с помощью указанной системы линейно-независимых функций. Результаты вычислительного эксперимента показывают высокую точность приближения.

Ил.: 4. Библиогр.: 8 назв.

UDK 519.6

**About one approach to the mathematical modeling of optimal control problems** O. M. Lytvyn, L. S. Lobanova, H. A. Mirochnyshenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 74–78.

A new method of finding an approximate solution of the Cauchy problem for systems of linear ordinary differential equations based on the representation of Cauchy problem solution as a linear combination of elements of a system of linearly independent functions is considered. Constant expansions are found from the condition of the best approximation of right sides of differential equations of the system and (possibly) their derivatives using said system of linear-independent functions. Results of computational experiments show high accuracy of the approximation.

Fig.: 4. Ref.: 8 items.

УДК 004.77

Е.С. Иевлев<sup>1</sup>, С.Н. Иевлева<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, iev\_lev@ukr.net<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, svet\_nik@ukr.net

## ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В КОРПОРАТИВНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

В статье изложена методика оценки параметров распределения длительности передачи пакетированных данных на основе двух задаваемых временных оценок продолжительности передачи данных по каналам связи. Основной целью исследования является совершенствование методов анализа и моделей управления в корпоративных сетях, направленных на повышение их производительности.

КОРПОРАТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ, ПАКЕТИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ, ВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ, ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, МЕТОДЫ АНАЛИЗА, МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ, ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ, СЕТЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

### Введение

В настоящее время, несмотря на тенденцию к повышению пропускной способности компьютерных сетей (КС), изменение характера передаваемой информации, ее объемов и интенсивности может привести к возникновению блокировок и перегрузок, а разнообразие передаваемой информации, ее интенсивность и объем приводят ко все большему отличию существующих математических моделей источников информации, коммуникационных узлов сетей и самого трафика, разработанных для сетей первых поколений, от реально наблюдаемых результатов их функционирования на современном этапе. Таким образом, совершенствование методов анализа и моделей управления в корпоративных сетях, направленных на повышение их производительности, остается актуальной проблемой и в настоящее время.

Сложность совершенствования моделей управления в корпоративных сетях состоит в том, что сетевые процессы в современных компьютерных сетях имеют случайный характер. Анализ результатов многочисленных экспериментов по исследованию сетевых процессов показывает, что переход к технологии пакетной коммутации и создание интегрированных информационных приложений сопровождается появлением сложных явлений, исследование которых может быть проведено в рамках теоретико-вероятностных подходов [1].

Целью данной работы является построение вероятностных моделей управления сетевыми процессами в корпоративных компьютерных сетях (ККС), на основе двух задаваемых временных оценок продолжительности передачи данных по каналам связи.

### 1. Выбор закона распределения продолжительности передачи пакетированных данных в корпоративных компьютерных сетях

Во всех ККС с  $N$  каналами связи, в которых принимается продолжительность передачи пакетированных данных случайной величиной, можно использовать оптимистические  $a_i, i = 1, N$

(нижняя грань области определения) и пессимистические  $b_i, i = 1, N$  (верхняя грань области определения) оценки длительности передачи пакетов данных по каналам связи. Эти оценки, обычно, задаются на основе либо нормативных данных, либо априорных соображений, либо из статистического опыта. При работе со случайными величинами предполагается, что известно, хотя бы приблизительно, вероятностное распределение этой случайной величины. Объективно измерить распределение длительности передачи пакета чрезвычайно сложно, по этой причине, обычно используется другой подход. Выбирается какой-либо модельный класс распределений, описываемых несколькими параметрами, эти параметры определяются экспертным путем для каждой передачи.

Практически для всех систем ККС априорно можно принять, что плотность распределения временных оценок продолжительности передачи пакетов обладает тремя свойствами: непрерывностью, унимодальностью и двумя неотрицательными точками пересечения этой плотности с осью абсцисс. Простейшим распределением с подобными свойствами является бета-распределение. Общий вид бета-распределения характеризуется, помимо наличия большого количества случайных факторов, каждый из которых в отдельности оказывает незначительное, несущественное влияние, наличием нескольких, также случайных факторов, число которых невелико, а влияние существенно. В результате воздействия существенных факторов распределение вероятностей обычно делается ассиметричным. Отсюда вытекает возможность выбора бета-распределения в качестве априорно типового.

Как показано в [2] в качестве априорно типового можно выбрать бета-распределение.

Формула плотности бета-распределения имеет следующий вид:

$$B(p, q, x) = \begin{cases} \frac{1}{B(p, q)} x^{p-1} (1-x)^{q-1} & \text{при } 0 \leq x \leq 1, \\ 0 & \text{при } x < 0, x > 1, \end{cases}$$

где  $B(p, q)$  – бета-функция, причем

$$B(p, q) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx = \frac{\Gamma(p)\Gamma(q)}{\Gamma(p+q)},$$

а гамма-функция  $\Gamma(z)$  определяется по формуле

$$\Gamma(z) = \int_0^z e^{-t} t^{z-1} dt,$$

причем для целых  $z$  функция

$$\Gamma(z) = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot (z-1) = (z-1)!$$

Вид функции (1) зависит от показателей  $p$  и  $q$ , причем для  $p > 2$  (и, соответственно, для  $q > 2$ ) функция распределения обращается в 0 в левой (или правой) конечной точке вместе с ее первой производной. Для  $1 < p < 2$  (и, соответственно,  $1 < q < 2$ ) кривая имеет вертикальную касательную в левой (правой) конечной точке. Для  $0 < p < 1$  (и, соответственно,  $0 < q < 1$ ) функция уходит в бесконечность, если значения  $x$  соответствуют левой (правой) конечной точке, причем вертикальная прямая, проведенная из левой крайней точки, будет ее асимптотой. Для  $p \leq 0$  (и, соответственно,  $q \leq 0$ ) интеграл равен бесконечности, так что функция распределения перестает существовать.

## 2. Построение вероятностной модели управления сетевыми процессами в корпоративных компьютерных сетях

Итак, будем считать, что корпоративная компьютерная сеть состоит из  $N$  каналов связи, для каждого из которых экспертами задаются три оценки  $a_i, b_i, m_i$ , где  $m_i, i = \overline{1, N}$  – мода распределения (наиболее вероятное время передачи пакета по каналам связи).

В основу исследования и построения вероятностной модели управления сетевыми процессами в ККС положены следующие допущения:

1. Продолжительность произвольной передачи пакета  $t(i, j)$ , между  $i$ -м и  $j$ -м узлами ККС, есть случайная величина, распределенная по закону бета-распределения на отрезке  $[a, b]$  с плотностью:

$$\varphi(t) = C(t-a)^{p-1} (b-t)^{q-1}, \quad (1)$$

где  $C$  определяется из условия

$$\int_a^b \varphi(t) dt = 1.$$

Искомое оптимальное распределение мы будем искать среди класса бета-распределений, задаваемых, в общем виде, по известной формуле плотности (1), где  $p-1 = \alpha$  и  $q-1 = \gamma$  – неизвестные и подлежащие оценке показатели, на которые накладывается весьма существенное ограничение – они не должны меняться от передачи к передаче.

Поскольку распределение  $p_i(x)$  должно, в некотором смысле, оптимально аппроксимировать заданную числовую информацию  $a_i, b_i, m_i$  ( $1 \leq i \leq N$ ), необходимо установить критерии этой

оптимальности, на основании которых можно оценить степенные показатели  $\alpha$  и  $\gamma$ . Разумеется, такого рода критерии устанавливаются априорно.

Отметим, что распределение  $p_i(x)$  для каждой из передач  $R_i$  формирует соответствующую моду  $L_i$ . Оценим параметры распределения  $p_i(x)$ , чтобы множество значений  $\{L_i\}$  оптимально аппроксимировало множество заданных значений  $\{m_i\}$ , полученных от экспертов. Такого рода аппроксимация может быть построена аналитическим путем, в частности, с помощью известного метода наименьших квадратов. Необходимо подобрать такие значения показателей  $\alpha$  и  $\gamma$ , чтобы сумма квадратов отклонений

$$V = \sum_{i=1}^N (L_i - m_i)^2 = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\alpha b_i + \gamma a_i}{\alpha + \gamma} - m_i \right)^2 \quad (2)$$

была минимальной. Таким образом,

$$\sum_{i=1}^N \left[ \left( 1 - \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} \right) \alpha + \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} b_i - m_i \right]^2 = \min. \quad (3)$$

Обозначим отношение  $\frac{\alpha}{\alpha + \gamma}$  через  $k$ . Тогда

$$\sum_{i=1}^N [k b_i (1-k) a_i - m_i]^2 = \min.$$

Значение  $k$  может быть получено из соотношения  $\frac{\partial V}{\partial k} = 0$ .

Получаем

$$2 \sum_{i=1}^N [k b_i (1-k) a_i - m_i] (b_i - a_i) = 0.$$

Отсюда

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)(m_i - a_i)}{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)^2}. \quad (4)$$

Соотношение (4) не определяет однозначно степенные показатели  $\alpha$  и  $\gamma$ . Таким образом, необходимо ввести второй критерий соответствия распределения  $p_i(x)$  эмпирическим значениям.

Для всех входящих в ККС каналов связи определяется математическое ожидание времени передачи пакета и дисперсию по формуле:

$$M(x_i) = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6}, \quad (5)$$

$$\sigma^2(x_i) = \frac{(b_i - a_i)^2}{36}, \quad (6)$$

после чего все параметры сети оцениваются исходя из средних значений. Отметим, что такого рода методика применима в случае, когда уровень неопределенности случайных величин продолжительности передачи данных близок к детерминированному. Отсюда вытекает требование, что вычисленное на основе закона  $p_i(x)$  множество теоретических значений  $\{M(x_i)\}$  должно оптимальным образом

(в смысле метода наименьших квадратов) совпадать с множеством средних  $\{\bar{x}_i\}$ , оцениваемых по формуле (5). Выполнение этого требования дает возможность однозначно оценить значения степенных показателей  $\alpha$  и  $\gamma$  таким образом, чтобы заменить трехоценочную методику на двухоценочную и, одновременно, сохранить полноту объема информации, полученной с помощью трехоценочной методики.

Задаем второе условие:

$$W = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{b_i(\alpha+1) + a_i(\gamma+1)}{\alpha+\gamma+2} - \frac{a_i + b_i + 4m_i}{6} \right]^2 = \min. \quad (7)$$

Отсюда получаем

$$W = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\alpha+1}{\alpha+\gamma+2} b_i + \left( 1 - \frac{\alpha+1}{\alpha+\gamma+2} \right) a_i - \frac{a_i + b_i + 4m_i}{6} \right]^2 = \min. \quad (8)$$

Обозначим

$$\frac{\alpha+1}{\alpha+\gamma+2} = q,$$

тогда

$$W = \sum_{i=1}^N \left[ qb_i + (1-q)a_i - \frac{a_i}{6} - \frac{b_i}{6} - \frac{2}{3}m_i \right]^2 = \min.$$

Из соотношения  $\frac{\partial W}{\partial q} = 0$  значение  $q$  можно легко определить:

$$\frac{\partial W}{\partial q} = 2 \sum_{i=1}^N \left[ qb_i + (1-q)a_i - \frac{a_i}{6} - \frac{b_i}{6} - \frac{2}{3}m_i \right] (b_i - a_i) = 0.$$

Отсюда

$$q = \frac{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^N (b_i - a_i)(b_i + 4m_i - 5a_i)}{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)^2}. \quad (9)$$

Полученные соотношения (6) и (9) однозначно определяют значения  $\alpha$  и  $\gamma$  и, тем самым, однозначно формируют закон распределения  $p_i(x)$  для любой передачи данных, осуществляемой в данной ККС.

Таким образом, в формулу  $p_i(x)$  параметрами входят области определения времени выполнения передач  $a_i$  и  $b_i$ , задаваемые экспертами, и, вычисляемые на основании соотношений (4) и (9), степенные показатели  $\alpha$  и  $\gamma$ . В отличие от параметров  $a_i$  и  $b_i$ , значения  $\alpha$  и  $\gamma$  неизменны для всех передач, входящих в данную ККС.

Эмпирические исследования показали, что величины  $\alpha$  и  $\gamma$  концентрируются около постоянных значений  $\alpha \approx 1$  и  $\gamma \approx 2$ . Последние были приняты в качестве стандартных степенных показателей, и, тем самым, был построен закон распределения с плотностью, зависящей лишь от двух параметров:

$$p(x) = C(x-a)(b-x)^2.$$

Здесь  $C$  – константа, которая легко определяется из условия

$$\int_{ax}^b p(x) dx = 1.$$

Получаем плотность распределения в интервале от  $a$  до  $b$ :

$$p(x) = \frac{12}{(b-a)^4} (x-a)(b-x)^2 \quad (10)$$

Распределение (10) относится к классу бета-распределений и имеет следующие параметры:

1) математическое ожидание

$$Mx = \int_{ax}^b xp(x) dx = \frac{3a+2b}{5}; \quad (11)$$

2) моду

$$m = \frac{2a+b}{3}, \quad (12)$$

причем можно показать, что всегда  $m < \bar{x}$ ;

3) дисперсию

$$Dx = \int_{ax}^b x^2 p(x) dx - \left[ \frac{3a+2b}{5} \right]^2 = 0,04(b-a)^2. \quad (13)$$

Подставив в формулу плотности распределения

$$f(x) = N(x-a)^\alpha (b-x)^{\alpha \left( \frac{1}{m'} - 1 \right)}, \quad (14)$$

где  $\gamma = \alpha \left( \frac{1}{m'} - 1 \right)$

определенное по формуле (9) значение

$$m' = \frac{(m-a)}{(b-a)} = \frac{1}{3}$$

и значение  $\alpha=1$ , получим плотность (10) как частный случай плотности (14). Следовательно, плотность распределения (10) отвечает всем требованиям: унимодальности, непрерывности и наличию двух неотрицательных точек пересечения с осью абсцисс.

### Выводы

Таким образом, изложенная выше методика оценки параметров распределения на основании двух задаваемых временных оценок существенно уменьшает объем информации, необходимый от эксперта: он должен задавать только два параметра – оптимистическую и пессимистическую оценку продолжительности передачи данных по каналам связи.

К недостатку двухоценочной методики следует отнести сужение класса бета-распределений. Отказ от использования наиболее вероятной оценки (моды  $m$ ) для некоторых видов передач может деформировать закон распределения в сторону большего отклонения от действительного. Однако, статистические свойства ККС в целом, как это показывают результаты статистического анализа, не претерпевают существенных изменений.

К недостатку двухоченочной методики следует отнести сужение класса бета-распределений. Отказ от использования наиболее вероятной оценки (моды  $m$ ) для некоторых видов передач может деформировать закон распределения в сторону большего отклонения от действительного. Однако, статистические свойства ККС в целом, как это показывают результаты статистического анализа, не претерпевают существенных изменений.

На практике для ряда передач производилось сравнение эмпирического распределения реальных продолжительностей передач с распределением (10). Для каждой из уже завершенных передач ее фактическая продолжительность нормировалась относительно установленных для каналов связей оптимистического и пессимистического времени, после чего эмпирическое распределение нормированной продолжительности сопоставлялось по аналогичной методике с распределением (10), для которого области определения были, соответственно, равны нулю и единице.

Заметим, что такого рода сопоставление производилось на основе системы статистических критериев согласия – критериев  $\chi^2$ , А.Н. Колмогорова и  $\omega^2$ . Результаты сопоставления также оказались вполне удовлетворительными.

**Список литературы:** 1. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. Фрактальные процессы в компьютерных сетях: Учебное

пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 102 с. 2. Иевлев Е.С. О выборе закона распределения продолжительности передачи пакетированных данных в корпоративных компьютерных сетях: АСУ и приборы автоматики. – 2012. – № 161 – С. 113–116. 3. Голенко Д.И. Моделирование и статистический анализ псевдослучайных величин на электронных вычислительных машинах. – М.: Наука, 1965. – 228 с.

*Поступила в редколлегию 9.07.2014*

УДК 004.77

**Ймовірнісні моделі управління мережевими процесами в корпоративних комп'ютерних мережах** / Е.С. Ієвлев, С.М. Ієвлева // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 79–82.

У роботі розглядається побудова ймовірнісних моделей управління мережевими процесами в корпоративних комп'ютерних мережах. У статті викладено методику оцінки параметрів розподілу тривалості передачі пакетованих даних.

Бібліогр.: 3 найм.

UDK 004.77

**Intelligent system of optimization of operating modes of compressor station of MG** // Ye.S Ievlev, S.N. Ievleva / Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 79–82.

In work deals with the construction of probabilistic models of network management processes in corporate computer networks. In this paper the method of estimation of distribution parameters length packet data.

Ref.: 3 items.

УДК 519.6



О. О. Литвин, Ф. Ф. Коваль, О. С. Чорна

УІПА, м. Харків, Україна, e-mail: lena1402@ukr.net

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИВИМІРНОГО РОЗПОДІЛУ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗА ДАНИМИ ПРО НИХ В СИСТЕМІ ПОХИЛИХ СВЕРДЛОВИН

У роботі викладаються методи побудови тривимірної моделі розподілу корисних копалин на основі даних у кожній точці заданої системи похилих свердловин і методів інтерлінації функцій трьох змінних. Викладаються методи побудови поліноміальних формул інтерлінації функцій на системі похилих свердловин, сплайн-інтерлінації функцій на системі похилих свердловин, розміщених, як в одній площині, так і довільним чином, а також формули інтерлінації функцій трьох змінних з використанням узагальнень глобальних інтерполяційних формул Дональда Шепарда й Олега М. Литвина.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СПЛАЙН-ІНТЕРЛІНАЦІЯ, КЕРНИ, ПОХИЛІ СВЕРДЛОВИНИ

### Вступ

Буріння в нашій країні ведеться на території Донецько-Дніпровської западини, Карпатського регіону і на шельфі Чорного моря. Головна особливість спорудження свердловин в цих регіонах полягає в тому, що буріння ведеться в складних геологічних умовах і на значних глибинах. Це ускладнює проводку свердловин, вимагає значних матеріальних, енергетичних та фінансових затрат.

Результати тих або інших регіональних досліджень стають найбільш інформативними тоді, коли вони отримані на основі вивчення природного об'єкту в цілому, в нашому випадку – кернів свердловинного буріння. Модель, що не враховує місця і ролі описуваного родовища в загальній структурі керну, неминуче буде однобокою, якщо не помилковою, в певних базових положеннях.

При вирішенні прикладних завдань, перш за все це завдання має бути “перекладене” формальною математичною мовою, тобто для реального об'єкту, процесу або системи має бути побудована його математична модель.

Тому актуальною є розробка та дослідження нових методів побудови математичних моделей розподілу корисних копалин, на основі використання даних з кернів похилих свердловин і сучасних методів теорії наближення функцій багатьох змінних.

Великий внесок у математичне моделювання об'єктів, процесів, явищ внесли Сергієнко І.В., Дейнека В.С., Скопецький Ст.Ст., Самарський А.А., Марчук Р.В., Яненко М.М., Рвачов Ст.Л., Литвин О.М. та ін.

У даній роботі вважається справедливою наступна гіпотеза: вважаються відомими функції  $\gamma_k(z), k = \overline{1, M}$  розподілу щільності або деякого показника якості вугілля, руди тощо у залежності від глибини  $z$ , у кожній свердловині  $\Gamma_k(z), k = \overline{1, M}$ .

У роботі пропонуються та досліджуються математичні моделі для опису структури кори Землі за допомогою аналізу результатів свердловинного буріння.

Метою роботи є побудова математичних моделей розподілу корисних копалин на базі даних з кернів похилих свердловин, формул поліноміальної, узагальненої поліноміальної, сплайн-інтерлінації функцій трьох змінних і узагальнених глобальних інтерполяційних формул Д. Шепарда або О. М. Литвина.

### 1. Основні твердження роботи

Проблема створення математичних моделей, ідентифікації їх параметрів, синтезу алгоритмів виявлення змін умов буріння та відпрацювання доліт, а на цій основі розроблення методів та принципів побудови адаптивних систем керування є вельми актуальною для нафтогазовидобувного комплексу України і потребує подальшого розвитку.

Актуальною є задача побудови просторових математичних моделей розподілу корисних копалин для випадку, коли інформацію про функцію розподілу корисних копалин  $f(x, y, z)$  задано у  $M$  похилих свердловинах (допускаються також вертикальні свердловини). Для того, щоб побудувати математичні моделі для цього випадку, дамо спочатку математичне означення похилої свердловини.

**Означення.** Будемо вважати похилою свердловиною множину точок такого вигляду

$$\Gamma_k = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\},$$

$$k = \overline{1, M},$$

де функції  $X_k(z), Y_k(z)$  задовольняють умові

$$r'_k(z) < 0,$$

де  $r_k = \sqrt{(X_k(z) - X_k(0))^2 + (Y_k(z) - Y_k(0))^2}$  (рис. 1) [1].

Таким чином, у даному означенні свердловини ми свідомо вважаємо, що діаметр свердловини дорівнює нулю, тобто що множина точок, які належать свердловині, є у своїй сукупності деякою лінією.

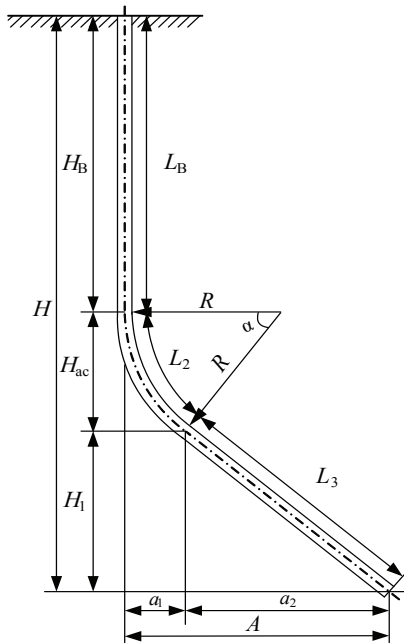


Рис. 1. Графічне зображення похилої свердловини

**Теорема 1. Оператор**

$$O_{MN}f(x, y, z) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N s_{1k}(x, z) s_{2l}(y) f_{k,l}(z)$$

є оператором інтерлінації функції  $f(x, y, z)$  на системі похилих свердловин, регулярно розміщених у просторі,

$$\Gamma_{k,l} = \left\{ (x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_l = \text{const}, \right. \\ \left. -H \leq z \leq 0 \right\},$$

$k = \overline{1, m}; l = \overline{1, n}$ , який має властивості:

1.  $O_{MN}f(X_p(z), Y_q, z) = f(X_p(z), Y_q, z) = f_{p,q}(z)$ ,  
 $p = \overline{1, M}; q = \overline{1, N}$

2. Для кожного фіксованого  $z$  оператор  $O_{MN}f(x, y, z)$  є оператором поліноміальної інтерполяції функції за двома змінними  $x$  та  $y$  якщо допоміжні функції  $s_{1k}(x, z), s_{2l}(y, z), k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n}$  задовольняють умові

$$s_{1k}(X_p(z), z) = \delta_{k,p}, \quad s_{2l}(Y_q(z), z) = \delta_{l,q}. \quad (1)$$

Доведення. Враховуючи властивості (1) для допоміжних функцій можна записати

$$O_{MN}f(X_p(z), Y_q(z), z) = \\ = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N s_{1k}(X_p(z), z) s_{2l}(Y_q(z)) f_{k,l}(z) = \\ = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \delta_{k,p} \delta_{l,q} f_{k,l}(z) = f_{p,q}(z), p = \overline{1, M}, \\ q = \overline{1, N}, -H \leq z \leq 0$$

Таким чином, перше твердження теореми 1 доведене.

Для доведення другого твердження теореми 1 достатньо зауважити, що при фіксованому  $z$

базисні функції  $s_{1k}(x, z), s_{2l}(y, z), k = \overline{1, M}, l = \overline{1, N}$  є базисними поліномами лагранжевої інтерполяції за змінними  $x$  та  $y$  відповідно.

Теорема 1 доведена.

Вважаємо, що для довільної функції  $f(x, y, z) \in C(R^3)$  (взагалі кажучи невідомої), яка є розподілом корисних копалин в корі планети, нам відомі її сліди  $f(X_k(z), Y_k(z), z) = \gamma_k(z), k = \overline{1, M}$  в точках  $M$  довільно розміщених похилих свердловин

$$\Gamma_k = \left\{ (x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0 \right\}, \\ k = \overline{1, M}.$$

Введемо позначення

$$X(z)_k = X_k(z); Y(z)_k = Y_k(z), k = \overline{1, M}$$

$$O_{M,\lambda}f(x, y, z; X(z), Y(z)) = \\ = \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(x, y; X(z), Y(z)),$$

$$\lambda \geq 1, M = 2, 3, \dots,$$

$$\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z; X(z), Y(z)) =$$

$$= \prod_{i=1, i \neq k}^M \frac{d_i(x, y, z; X(z), Y(z))^\lambda}{d_{i,k}^\lambda} =$$

$$= \prod_{i=1, i \neq k}^M \left( \frac{d_i(x, y, z; X(z), Y(z))}{d_{i,k}} \right)^\lambda,$$

$$d_i(x, y, z; X(z), Y(z)) =$$

$$= \sqrt{(X_i(z) - x)^2 + (Y_i(z) - y)^2},$$

$$d_{i,k} = \sqrt{(X_i(z) - X_k(z))^2 + (Y_i(z) - Y_k(z))^2},$$

які для випадку

$$\gamma_k(z) = \gamma_k = \text{const}, k = \overline{1, M},$$

є інтерполяційними операторами на нерегулярній сітці вузлів, запропонованими О. М. Литвином [2] у 1990 р.

**Теорема 2.** Якщо у формулі для

$$O_{M,\lambda}f(x, y, z; X(z), Y(z))$$

покласти

$$\ell_{M,k,\lambda}(x, y; X(z), Y(z)) =$$

$$= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M |(x - X_i(z))(X_k(z) - X_i(z)) + (y - Y_i(z))(Y_k(z) - Y_i(z))|^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M (X_k(z) - X_i(z))^2 + (Y_k(z) - Y_i(z))^2}^\lambda$$

то оператор  $O_{M,\lambda}f(x, y, z; X(z), Y(z))$  буде мати властивості

1. для  $\frac{\lambda}{2} \in N$  ( $N$  – множина натуральних чисел) допоміжні функції  $\ell_{M,k,\lambda}(x, y; X(z), Y(z))$  будуть поліномами від двох змінних степеня  $(M - 1)\lambda$ ;

2.  $O_{M,\lambda}f(X_p(z), Y_p(z), z; X(z), Y(z)) = \gamma_p(z), p = \overline{1, M}$ .

## 2. Алгоритм побудови операторів сплайн-інтерлінації

Алгоритм викладаємо по крокам.

Крок 1. Виконуємо триангуляцію поверхні: введемо позначення  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3)$ ,  $T_\mu = T_\mu(z)$  – трикутник на глибині  $z$  з вершинами

$$P_k(X_k(z), Y_k(z), z),$$

$$k = \mu_1, \mu_2, \mu_3; \mu_1, \mu_2, \mu_3 \in \{1, 2, \dots, M\},$$

тобто  $\overline{T_\mu}(z) = \{(x, y, z) : (x, y, z) \in T_\mu(z)\}$  є криволінійною призмою.

Крок 2. Будуємо для кожного трикутника  $T_\mu(z)$  оператор інтерлінації  $O_\mu(x, y, z)$  у вигляді

$$O_\mu(x, y, z) = \gamma_{\mu_1}(z) \left( \frac{\varphi_{\mu_2, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right) + \gamma_{\mu_2}(z) \left( \frac{\varphi_{\mu_1, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right) + \gamma_{\mu_3}(z) \left( \frac{\varphi_{\mu_1, \mu_2}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right),$$

$$\varphi_{p,q}(x, y, z) = \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ X_p(z) & Y_p(z) & 1 \\ X_q(z) & Y_q(z) & 1 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z) = \begin{vmatrix} X_{\mu_1}(z) & Y_{\mu_1}(z) & 1 \\ X_{\mu_2}(z) & Y_{\mu_2}(z) & 1 \\ X_{\mu_3}(z) & Y_{\mu_3}(z) & 1 \end{vmatrix} = \varphi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z), z).$$

Введемо до розгляду оператор

$$O_M F(x, y, z) = O_\mu f(x, y, z),$$

$$(x, y, z) \in T_\mu(z) \times [-H, 0],$$

$$T_\mu(z) \subset D = \bigcup_{\mu} T_\mu(z).$$

Нехай  $Q$  – кількість криволінійних трикутних призм, відповідних вибраній триангуляції поверхні.

**Теорема 3.** Оператор  $O_\mu(x, y, z)$  має наступні властивості:

а) він є оператором інтерлінації функцій трьох змінних  $f(x, y, z)$  на системі похилих свердловин  $\Gamma_k, k = 1, M$ , тобто

$$O_M f(X_p(z), Y_p(z), z) = f(X_p(z), Y_p(z), z) = \gamma_p(z),$$

$$-H \leq z \leq 0, p = \overline{1, M};$$

б) кожній неперервній функції  $f(x, y, z) \in C(D)$  цей оператор ставить у відповідність теж неперервну функцію  $O_M f(x, y, z) \in C(D)$ :

$$f(x, y, z) \in C\left(\bigcup_{\mu} T_\mu \times [-H, 0]\right), T_\mu(z) \subset D \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O_M f(x, y, z) \in C\left(\bigcup_{\mu} T_\mu \times [-H, 0]\right).$$

*Доведення.* Інтерлінаційні властивості «а» випливають з наступної властивості детермінантів:

детермінант з двома однаковими рядками дорівнює нулю. Тому, якщо  $p \in \{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$ , то

$$O_M f(X_p(z), Y_p(z), z) = O_\mu(X_p(z), Y_p(z), z) = \gamma_{\mu_1}(z) \frac{\varphi_{\mu_2, \mu_3}(X_p(z), Y_p(z), z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} + \gamma_{\mu_2}(z) \frac{\varphi_{\mu_1, \mu_3}(X_p(z), Y_p(z), z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} + \gamma_{\mu_3}(z) \frac{\varphi_{\mu_1, \mu_2}(X_p(z), Y_p(z), z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} = \gamma_p(z),$$

$$(x, y) \in T_\mu, z \in [-H, 0], p \in \{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}.$$

Тут враховано, що

$$\varphi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z), z) = 1,$$

$$\varphi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z), z) = 0,$$

$$\varphi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z), z) = 0,$$

$$\varphi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z), z) = 1,$$

$$\varphi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z), z) = 0,$$

$$\varphi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z), z) = 0,$$

$$\varphi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z), z) = 1,$$

$$\varphi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z), z) = 0,$$

$$\varphi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z), z) = 0.$$

Іншими словами, оператор  $O_M f(x, y, z)$  є оператором кусково-лінійної інтерполяції за змінними  $x, y \forall z \in [-H, 0]$ .

Для доведення того, що  $O_M f(x, y, z) \in C(D)$ , досить зазначити, що функції  $O_{p,q,r} f(x, y, z)$  та  $O_{p,q,r'} f(x, y, z)$  на спільній криволінійній, взагалі кажучи, грані призм зі свердловинами  $\Gamma_p$  та  $\Gamma_q$  мають однакові сліди, тобто функція  $F(x, y, z) = O_M f(x, y, z)$  при переході від тригранної призми з ребрами  $\Gamma_p(z), \Gamma_q(z), \Gamma_r(z)$  до тригранної призми з ребрами  $\Gamma_p(z), \Gamma_q(z), \Gamma_{r'}(z)$  зберігає неперервність. Те, що у випадку неперервних слідів  $\gamma_p(z) \in C[-H, 0], p = \overline{1, M}$  функції  $O_\mu f(x, y, z)$  теж будуть неперервними, випливає з формули для операторів  $O_\mu f(x, y, z)$  і відомої властивості неперервних функцій: сума неперервних функцій є неперервною функцією [4].

Теорема 3 доведена.

## 3. Математичне моделювання розподілу корисних копалин методом узагальнень глобальної інтерполяційної формули Д. Шепарда та О. Литвина

У багатьох областях для відновлення неперервних поверхонь використовуються експериментальні дані, нерегулярно розміщені у просторі. Однією з загальних інтерполяційних формул, узагальнення яких можна використовувати для інтерлінації функцій трьох змінних у випадку

нерегулярно розподілених прямих-свердловин, є двовимірною глобальною інтерполяційною формулою Доналда Шепарда.

Узагальнену глобальну формулу Шепарда для системи ліній

$$(X_k(z), Y_\ell(z), z), -H \leq z \leq 0, k = \overline{1, M}, \ell = \overline{1, N},$$

можна подати так:

$$S_{M,N,\lambda}(f; x, y, z) = \frac{\sum_{k=0}^M \sum_{\ell=0}^N f(X_k(z), Y_\ell(z), z) \left( \sqrt{(x - X_k(z))^2 + (y - Y_\ell(z))^2} \right)^{-\lambda}}{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N \left( \sqrt{(x - X_i(z))^2 + (y - Y_j(z))^2} \right)^{-\lambda}},$$

$$\left. \begin{aligned} & (x - X_k(z))^2 + (y - Y_\ell(z))^2 \neq 0 \quad \forall \begin{matrix} k = \overline{1, M}, \\ \ell = \overline{1, N}, \end{matrix} \\ & f(X_i(z), Y_j(z), z), \text{ якщо } (x - X_i(z))^2 + (y - Y_j(z))^2 = 0, \\ & i \in \{1, \dots, M\}, j \in \{1, \dots, N\}. \end{aligned} \right\}$$

**Теорема 4.** Оператор  $S_{M,N,\lambda}(f; x, y, z)$  має властивості

а)  $f(x, y, z) \in C(R^3) \Rightarrow S_{M,N,\lambda}(f; x, y, z) \in C(R^3),$

б)  $S_{M,N,\lambda}(f; X_i(z), Y_j(z), z) = f(X_i(z), Y_j(z), z),$  [6]  
 $i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}.$

**Недолік 1.** Якщо кількість  $M \times N$  заданих точок є великою, то кількість арифметичних операцій  $Q$  для обчислення  $U = S_{M,N,\lambda}(f; x, y, z)$  у одній точці пропорційна  $M : Q = cM$  ( $c$  – деяка стала). Це означає, що в цьому випадку метод може бути неефективним або непрактичним.

**Недолік 2.** Рівність нулю градієнта у кожній точці  $D_k$  при фіксованому  $z$  є небажаними обмеженнями на наближувану функцію.

**Недолік 3.** Обчислювальна похибка (похибка заокруглення) стає істотною в околі точок  $D_k(X_k(z), Y_k(z), z)$ .

Іншими словами, у даній праці припускається, що кожній похилій свердловині ставиться у відповідність не одне число, а одна функція – характеристика розподілу щільності корисних копалин конкретного типу залежно від глибини  $z$ .

Розглянемо для довільної

$$f \in C(R^3), f(X_k(z), Y_k(z), z) = \gamma_k(z), k = \overline{1, M},$$

інтерлінаційні оператори [5]

$$O_{M,\lambda}(f; x, y, z) = \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(x, y, z), \lambda \geq 1, M = 2, 3, \dots,$$

$$\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) = \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(x, y, z)^\lambda}{d_{i,k}^\lambda} = \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(x, y, z)^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda},$$

$$d_i(x, y, z) = \sqrt{(X_i(z) - x)^2 + (Y_i(z) - y)^2},$$

$$d_{i,k} = \sqrt{(X_i(z) - X_k(z))^2 + (Y_i(z) - Y_k(z))^2}.$$

які для випадку

$$\gamma_k(z) = \gamma_k = \text{const}, k = \overline{1, M},$$

є інтерполяційними операторами на нерегулярній сітці вузлів, запропонованими О. М. Литвином в 1990 р. [2].

**Теорема 5.** Для кожної  $f(x, y, z) \in C(R^3)$  виконуються співвідношення

$$O_{M,\lambda}(f; x, y, z) \in C(R^3),$$

$$O_{M,\lambda}(f; X_p(z), Y_p(z), z) = \gamma_p(z), p = \overline{1, M} \text{ [6].}$$

**Доведення.** Дослідимо властивості допоміжних функцій  $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$ . Перш за все зазначимо, що знаменники  $\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda$  у формулах для  $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$  – сталі величини і  $d_{i,k}^\lambda > 0 \forall i, k \in \{1, \dots, M\}, i \neq k, \lambda > 0$ , а чисельник – невід’ємна функція  $\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(x, y, z)^\lambda \geq 0$ .

Тому  $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) \geq 0 \forall k = \overline{1, M}; \lambda > 0$ .

Крім того,  $\ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) =$

$$= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(X_p(z), Y_p(z), z)^\lambda}{d_{i,k}^\lambda} = \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(X_p(z), Y_p(z), z)^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} =$$

$$= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,p}^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \delta_{k,p}, k, p = \overline{1, M},$$

оскільки

$$\frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,p}^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \begin{cases} 1, & p = k, \\ 0, & \text{якщо } p = i, p \in \{1, 2, \dots, M\}, p \neq k. \end{cases}$$

Таким чином,

$$\ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) = \delta_{k,p}, k, p = \overline{1, M}.$$

Враховуючи це, можна записати таку послідовність рівностей:

$$O_{M,\lambda}(f; X_p(z), Y_p(z), z) = \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) =$$

$$= \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \delta_{k,p} = \gamma_p(z), p = \overline{1, M}.$$

Теорема 5 доведена.

**Теорема 6.** Якщо у формулі для  $O_{M,\lambda}(f; x, y, z)$  замінити  $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$  на  $L_{M,k,\lambda}(x, y, z)$  з раціональними допоміжними функціями,

$$L_{M,k,\lambda}(x, y, z) = \frac{\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)}{\sum_{p=1}^M \ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)},$$

і якщо  $\frac{\lambda}{2} \in N$ , то  $O_{M,\lambda}(f; x, y, z)$  є додатним оператором інтерлінації

$$\forall f \geq 0, O_{M,\lambda}(f; x, y, z) \geq 0,$$

$$O_{M,\lambda}(f; X_p(z), Y_p(z), z) = \gamma_k(z), k = \overline{1, M}.$$

**Теорема 7.** Якщо у формулі для  $O_{M,\lambda}(f; x, y, z)$  покласти

$$\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) = \prod_{i=1, i \neq k}^M \frac{(x - X_i(z))(X_k(z) - X_i(z)) + (y - Y_i(z))(Y_k(z) - Y_i(z))}{(X_k(z) - X_i(z))^2 + (Y_k(z) - Y_i(z))^2},$$

то оператор  $O_{M,\lambda}(f; x, y, z)$  теж буде оператором інтерлінації з поліноміальними допоміжними функціями, якщо  $\lambda > 0, \lambda = 2q, q \in N$ ,

$$O_{M,\lambda}(f; X_k(z), Y_k(z), z) = \gamma_k(z), k = \overline{1, M}.$$

### Висновки

Оператор  $O_M f(x, y, z)$  є оператором інтерлінації функцій трьох змінних, який дозволяє відновлювати розподіл корисних копалин між похилими свердловинами  $\Gamma_k(z)$ ,  $k = \overline{1, M}$  з використанням інформації про розподіл у свердловинах  $\Gamma_k(z)$ ,  $k = \overline{1, M}$ . Кожній неперервній функції  $f(x, y, z) \in C(D)$  цей оператор ставить у відповідність теж неперервну функцію  $O_M f(x, y, z) \in C(D)$ .

Запропоновані в роботі просторові ММ розподілу корисних копалин між свердловинами, розміщеними нерегулярним чином на поверхні Землі методами кусково-поліноміальної інтерлінації функцій  $f(x, y, z)$ , допоміжні функції яких є кусково-лінійними або кусково-квадратичними за змінними  $x, y$  можна використовувати для оцінки запасів корисних копалин у випадку свердловин, нерегулярно розміщених на поверхні Землі.

**Список літератури:** 1. Литвин О.О. Математичне моделювання розподілу корисних копалин за допомогою поліноміальних інтерлінантів на системі похилих свердловин / Н.І. Штепа, С. І. Кулик, О. С. Чорна. – Харків: Журнал “Проблеми машинобудування”. Том 17, випуск 2. – 2014. – С. 33–39. 2. Литвин О.М. Інтерлінація функцій та деякі її застосування. – Харків: Основа, 2002. – 544 с. 3. Литвин О.О. Математичне моделювання розподілу корисних копалин між системою нерегулярно розміщених похилих свердловин методами сплайн-інтерлінації функцій / Н.І. Штепа, С. І. Кулик, О. С. Чорна. – Харків: Журнал “Проблеми машинобудування”. Том 16, випуск 1. – 2013. – С. 61–67. 4. Литвин О. М. Математичне моделювання розподілу корисних копалин між похилими свердловинами методом поліноміальної сплайн-інтерлінації функцій / О.О. Литвин, Н.І. Штепа, О. С. Чорна. // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформатика та системні науки» ІСН-2011 17-19 березня 2011 / За ред. д. ф-м. н., проф. Ємця О. О. – Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011. – 355 с. 5. Литвин

О.М. Математичне моделювання розподілу корисних копалин за допомогою інтерлінації функцій трьох змінних / Н.І. Штепа // Праці міжнародного симпозіуму «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV)», Крим, смт. Кацивелі, 24-29 вересня 2009. т.2. Київ. – 2009. – С. 20-24. 6. Литвин О.О. Математичне моделювання розподілу корисних копалин між системою нерегулярно розміщених похилих свердловин методами глобальної інтерлінації функцій / Н.І. Штепа, С. І. Кулик, О. С. Чорна. – Харків: Журнал “Проблеми машинобудування”. Том 16, випуск 4. – 2013. – С. 39-48. 7. Литвин О.М.. Методи обчислень. Додаткові розділи. – Київ: Наук. думка, 2005. – 331 с.

Надійшла до редколегії 11.09.2014

УДК 519.6

**Математическое моделирование трехмерного распределения полезных ископаемых по данным о них в системе наклонных скважин / О.О. Литвин, Ф.Ф. Коваль, Е.С. Черная // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 83–87.**

В статье исследуются методы построения математических моделей, а также перспективы их использования для разведки полезных ископаемых. Описаны методы построения математических моделей пространственного распределения полезных ископаемых между наклонными скважинами позволяют, после соответствующих обобщений, строить математические модели структуры коры Земли с использованием всех составляющих кернов наклонных скважин, которое приведет к созданию эффективных методов разведки полезных ископаемых и разработки месторождений. Информация, которая используется для такого типа математического моделирования, является значительно более доступной и простой в сравнении с информацией, что получена методами сейсмической томографии. В то же время, она позволяет представить распределение полезных ископаемых в области месторождения в виде единой функции трех переменных.

Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

UDK 519.6

**Mathematical minerals distribution of three-dimensional model even of according to their system of inclined chinks / O.O. Lytvyn, F.F. Koval, O.S. Chorna // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 83–87.**

Methods of built math models and perspectives of their using for mineral exploration are investigated in the article.. This building methods of math models of three-dimensional distribution of minerals between inclined boreholes allows, after appropriate generalization, build math models of earth crust structure with using of all core components of inclined boreholes, which will lead to effective mineral exploration and prospecting methods creation. Using information for such math modeling type is more accessible and easy in comparison with information getting by seismic tomography methods. At the same time it allows present mineral distribution at deposit place in the form of three variable single functions.

Fig. 1. Ref.: 7 items.

В. И. Бритик<sup>1</sup>, Е. Ю. Жилина<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, vladimir.brytik@mail.ru;<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ElenkaZhilinaVr@rambler.ru;

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФИЛЬТРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Данная статья посвящена анализу фильтров с точки зрения, как точности выделения контурных точек, так и сохранения информации о распределении производных элементов. В статье исследуются алгоритмы выделения контуров Превитта (Prewitts), Собела (Sobel), Лапласа (Laplace), Кирша (Kirsch) и оценивается их работа, используя некоторые известные критерии качества работы. Также сравнивалась эффективность исследуемых алгоритмов, которая определялась на выбранных изображениях с наложенным шумом. Точность выделения контура сильно зависит от шумовых составляющих.

КОНТУРНЫЕ ТОЧКИ, ОДНОМЕРНАЯ МАСКА, АЛГОРИТМ, ШУМ ГАУССА, ИМПУЛЬСНЫЙ ШУМ

### Введение

Одной из центральных проблем распознавания образов является выделение объектов на изображении со сложным фоном и дальнейшая интерпретация свойств и характеристик этих объектов [1-3].

Распознавание объектов на изображениях является одной из наиболее важных задач. Её успешное решение во многом зависит от признаков. Наиболее часто в качестве признаков используются контурная информация, ограничивающая распознаваемые объекты. Однако, ввиду большой изменчивости контурной информации, методы распознавания на их основе не позволяют получить необходимые результаты распознавания. Поэтому в последнее время на первый план выходят структурно – лингвистические методы, где помимо особых точек (контурная информация) используются в качестве признаков распределения производных элементов (откликов фильтров). В простейшем случае в качестве производного элемента может быть использовано значение яркости, а её распределение внутри распознаваемого объекта признаком.

На основании вышеизложенного становится очевидным, что при решении задачи распознавания необходимо использовать такие фильтры, которые при выделении контурной информации не теряли информацию о распределении производных элементов.

В данной работе производится анализ фильтров с точки зрения как точности выделения особых точек, так и сохранения информации о распределении производных элементов.

Резкое изменение яркости изображения происходит по нескольким причинам. Во-первых, такие резкие изменения чаще всего происходят на границах объектов – это может быть изображение светлого предмета на темном фоне или темного предмета на светлом фоне. Во-вторых, резкие изменения яркости часто бывают следствием изменения отражательной способности на достаточно

характерных структурах. К резким изменениям яркости изображения также относят резкие изменения ориентации поверхности.

Точки изображения, в которых яркость изменяется особенно сильно, часто называют краями или краевыми (контурными) точками.

Контурные точки в сочетании с другими признаками успешно используются для анализа и классификации изображения в широком диапазоне применений. Многочисленные применения и субъективный подход к определению контурных точек привели к созданию большого количества операторов их выделения, эффективность которых существенно зависит от условий формирования и объектов на изображениях.

В этой работе исследуются разнообразные алгоритмы выделения контуров и оценивается их работа, используя некоторые известные критерии качества работы. Они могут быть разделены на два класса: количественные и качественные. В качестве количественных критериев обычно используются следующие меры:

- процент от точек контура, обнаруженных на идеальном изображении контура;
- число обнаруженных точек контура, которые не совпадают с идеальными;
- отношение числа обнаруженных точек контура, которые не совпадают с идеальным контуром, к числу обнаруженных точек, которые совпадают с идеальными;
- средняя ширина обнаруженного контура, определяемая как отношение общего количества обнаруженных точек контура к числу идеальных точек контура;
- нормализованное отклонение фактических точек контура от идеальных точек контура.

### 1. Критерии эффективности работы алгоритмов по выделению контурных точек

В литературе описано множество экспериментов, посвящённых исследованию эффективности детекторов контуров на изображении, где

использовались различные модификации описанных выше критериев Davis [1], Rosenfeld [2], Pratt [3] и ряде других. В этих работах эффективность оценивалась при помощи специально разработанных критериев, а также визуально [4, 5]. В качестве критериев было использовано распределение, формируемое на основе априорно заданных контурных точек, отображаемых на идеальном изображении и полученных в результате обработки зашумлённого идеального изображения [4, 5]. Были выбраны два критерия, зарекомендовавших себя наилучшим образом:

$R_1$  – характеризует число обнаруженных точек контура и их не совпадение с идеальными

$$R_1 = \frac{1}{I_N} \sum_1^{I_A} \frac{1}{1 + \delta e^2},$$

где  $I_A$  – действительное число точек выделенного контура;  $I_I$  – число точек идеального контура;  $I_N = \max\{I_I, I_A\}$ ;  $\delta$  – скалярная константа (1/9);  $e$  – расстояние между выделенными и идеальными точками контура:

- чем меньше ошибка  $e$ , тем больше  $R_1 \rightarrow 1$ ;
- чем больше ошибка  $e$ , тем больше  $R_1$  уменьшается пропорционально числу контурных точек.

$R_2$  – составляет среднее отклонение обнаруженных точек контура от идеальных точек:

$$R_2 = \frac{1}{I_A} \sum_1^{I_A} e^2.$$

Типы существующих изображений можно условно разделить на три группы:

- контурные или графические изображения, дающие представление о внешних очертаниях объекта на однородном фоне;
- силуэтные изображения как совокупность объектов на общем фоне восприятия. Каждый объект представляется замкнутым контуром, заполненным однородным полем;
- полутоновые изображения, которые представлены в виде объектов, имеющих чёткие очертания или полутоновой переход от фона к объекту.

## 2. Выделение контура при помощи одномерных масок свёртки

Чтобы сравнивать работу алгоритмов (датчиков) выделения контуров, необходимо принять решение относительно определения точки контура. В настоящий момент нет общепринятого определения о том, что такое контур. В этой работе контуром мы считаем резкое изменение яркости (интенсивности), а за контур мы принимаем все точки на наклоне изменения яркости с тем ограничением, что число точек наклона не превышает трёх (модель размытого контура) (рис. 1).

Мы также принимаем во внимание ещё две модели: идеальную и зашумлённую (рис. 2).



Рис. 1. Модель размытого контура

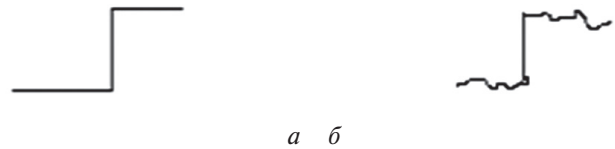


Рис. 2. а – модель идеального контура; б – модель зашумленного контура

Для сравнения алгоритмов выделения контуров были выбраны многоугольники (треугольник, прямоугольник, пяти- и шестиугольник) и круг. Выбор многоугольников обусловлен необходимостью обеспечить переменную ориентацию контурных линий относительно закона сканирования.

Прямоугольник – очень простой объект, его грани имеют постоянную ориентацию, соответствующую закону сканирования. Круг – более сложный объект. Ориентация контура круга постоянно меняется и для большинства алгоритмов это создаёт большие трудности. Треугольник имеет постоянную ориентацию, но не соответствующую закону сканирования, и содержит краевые точки.

Каждый объект исследовался для трёх основных типов контуров: идеальный контур, размытый контур и зашумлённый контур. Идеальный контур – результат черного объекта (серый уровень 15) на белом фоне (серый уровень 0). Размытый контур – моделировался как контур, состоящий из нескольких дискрет. Зашумлённые изображения моделировались для двух типов шума: двоичный шум и шум с распределением типа Гаусса.

Проведем эксперимент, используя контурные или графические изображения (рис. 3) с применением одномерных масок свертки (табл. 1).

Таблица 1

Одномерные маски свёртки

№	Название маски:	Одномерные маски свёртки
1	Маска тона (Tone)	1 2 1
2	Маска края (Border)	-1 0 1
3	Маска пятна (Spot)	-1 2 -1
4	Маска волнистости (Wave)	-1 2 0 -2 1
5	Маска пульсации (Rippling)	1 -4 6 -4 1
6	Маска колебания (Vibration)	-1 6 -15 20 -15 6 -1

В эксперименте использовался шум с распределением Гаусса со стандартным отклонением 3, 5, 12 (рис. 4–11). Число градаций яркости было выбрано от 0–16.

Уровень порога  $T$  выбирался выше максимальной амплитуды шума.

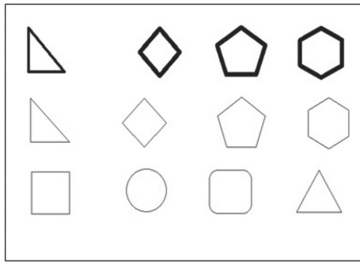
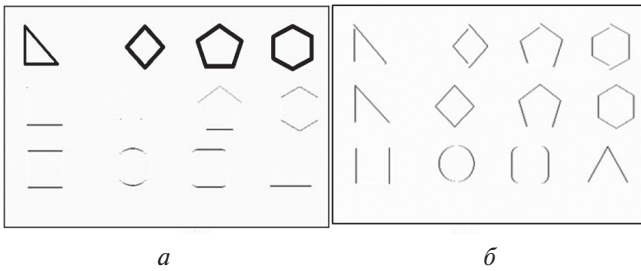


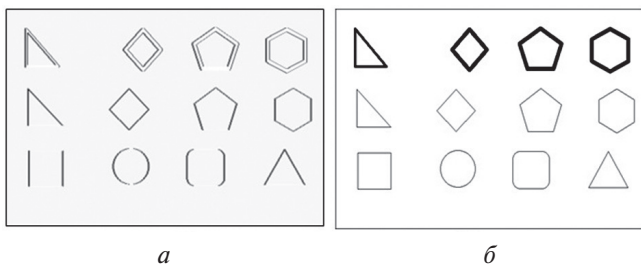
Рис. 3. Эталонное изображение

Результаты тестирования. После применения масок к эталонному изображению были получены изображенные на рис. 4–6 результаты:



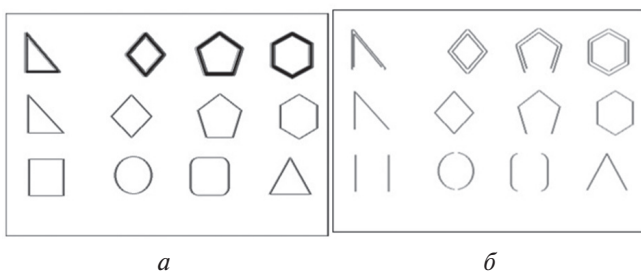
*a* *б*

Рис. 4. Применение к эталонному изображению масок: *a* – применение маски Tone; *б* – применение маски Border к эталонному инвертированному изображению



*a* *б*

Рис. 5. Применение к эталонному изображению масок: *a* – применение маски Vibration к эталонному инвертированному изображению; *б* – применение маски Spot



*a* *б*

Рис. 6. Применение к эталонному изображению масок: *a* – применение маски Wave; *б* – применение маски Rippling к инвертированному эталонному изображению

В эксперименте, где в качестве входной информации использовались контурные изображения треугольника, ромба, пятиугольника, шестиугольника, квадрата и круга, лучшими оказались такие одномерные маски свертки как: маска Spot и Wave. Они позволили получить связный контур. Маски Border, Vibration и Rippling позволили определить несвязанный контур с разрывами. А при помощи маски Tone получили наихудший результат, при котором контур как таковой выделить не удалось.

### 3. Сравнение алгоритмов выделения контура после наложения шума

Основная проблема задачи определения краев – это шумы изображения. Детекторы краев построены таким образом, что дают большой выход при резких изменениях, а одна из причин резких изменений – это прибавление к пикселям посторонних элементов (поскольку шумы в разных пикселях, как правило, не коррелируются, а значит могут очень сильно отличаться друг от друга).

Проведем эксперимент с использованием импульсного шума и шума с распределением Гаусса со стандартным отклонением. Число градаций яркости было выбрано от 0–16. Полученные результаты изображены на рис. 7–11.

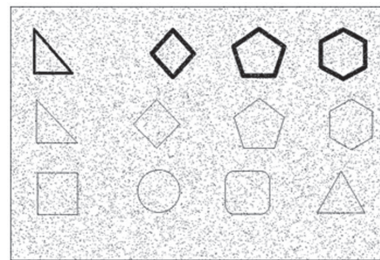
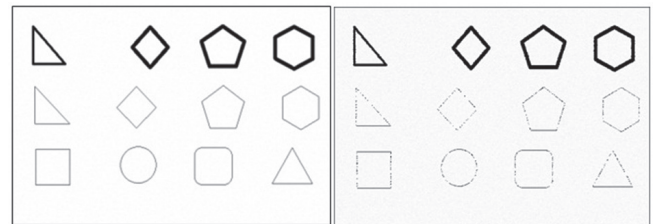
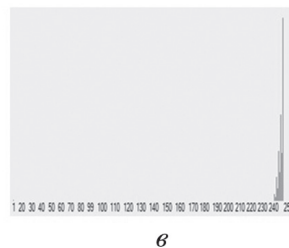


Рис. 7. Применение к эталонному изображению маски Spot и импульсного шума



*a* *б*



*в*

Рис. 8. Применение к эталонному изображению шума с распределением Гаусса со стандартным отклонением 2: *a* – эталонное изображение; *б* – эталонное изображение с применением маски Tone; *в* – гистограмма эталонного изображения с применением маски Tone

В эксперименте использовались такие же контурные изображения, что и в предыдущем, но с наложенным на них импульсным шумом и шумом Гаусса. Лучшими оказались одномерные маски свертки: маска Spot для импульсного шума и Tone для шума Гаусса. Они позволили выделить контур. Маски Border, Vibration, Spot, Wave позволили определить несвязанный контур с разрывами. А маска Rippling дала наихудший результат, при котором контур выделить не удалось.

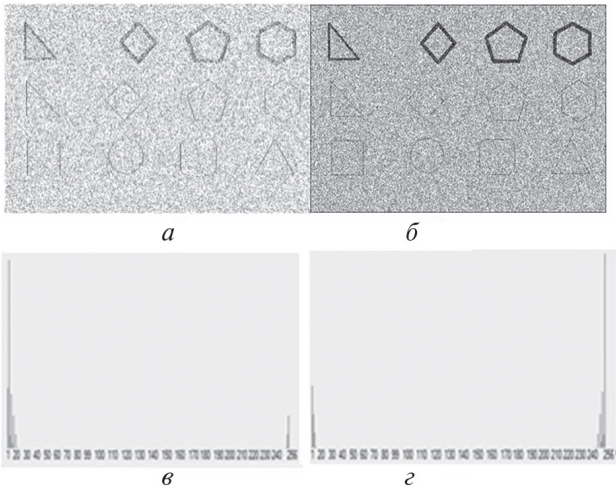


Рис. 9. Применение к эталонному изображению шума с распределением гаусса со стандартным отклонением 2: *a* – применение маски Border к инвертированному эталонному изображению; *б* – эталонное изображение с применением маски Spot; *в* – гистограмма эталонного изображения с применением маски Border; *г* – гистограмма эталонного изображения с применением маски Wave;

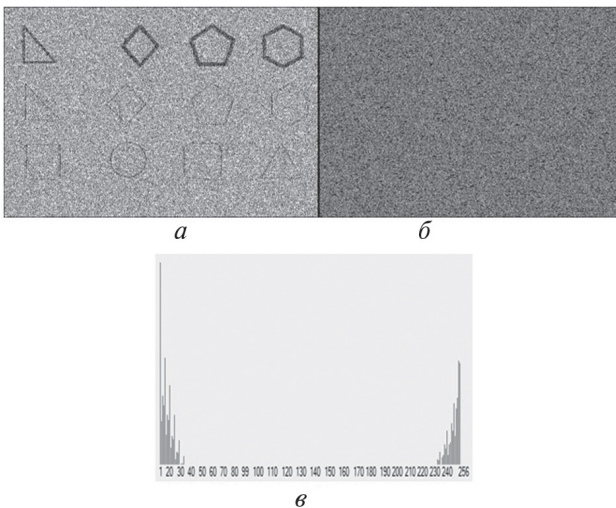


Рис. 10. Применение к эталонному изображению шума с распределением гаусса со стандартным отклонением 2: *a* – эталонное изображение с применением маски Wave; *б* – применение маски Rippling к инвертированному эталонному изображению; *в* – гистограмма эталонного изображения с применением маски Rippling

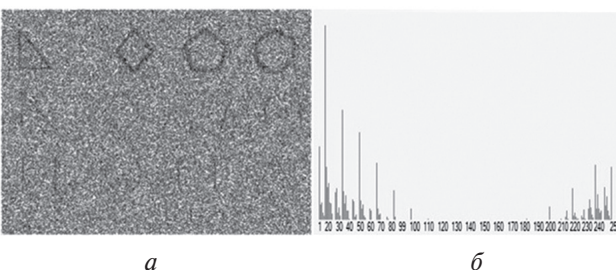


Рис. 11. Применение шума с распределением Гаусса со стандартным отклонением 2: *a* – применение маски Vibration к инвертированному эталонному изображению; *б* – гистограмма эталонного изображения с применением маски Vibration

Проведем следующий эксперимент с использованием таких же масок и шума с распределением Гаусса со стандартным отклонением, что и в предыдущем эксперименте, но на этот раз возьмем силуэтные изображения (рис. 12–15).

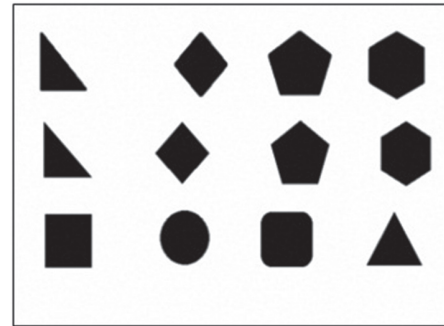


Рис. 12. Эталонное силуэтное изображение

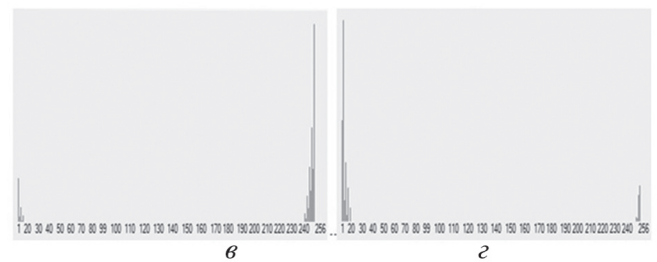
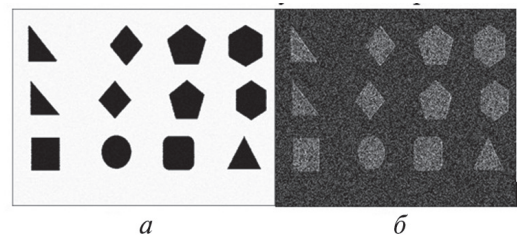


Рис. 13. Применение к эталонному силуэтному изображению шума с распределением Гаусса со стандартным отклонением 2: *a* – маски Tone, *б* – маски Border; *в* – гистограмму маски Tone и *г* – гистограмму маски Border

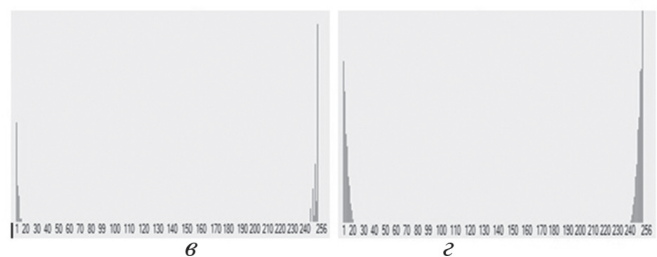
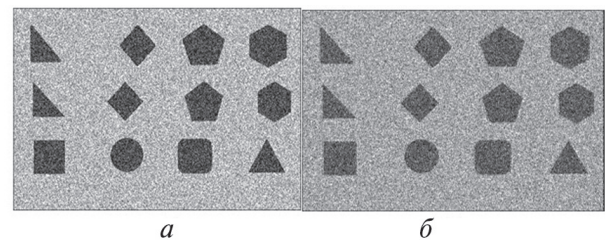


Рис. 14. Применение к эталонному силуэтному изображению шума с распределением Гаусса со стандартным отклонением и масок: *a* – маски Spot, *б* – маски Wave; *в* – гистограмму маски Spot и *г* – гистограмму маски Wave

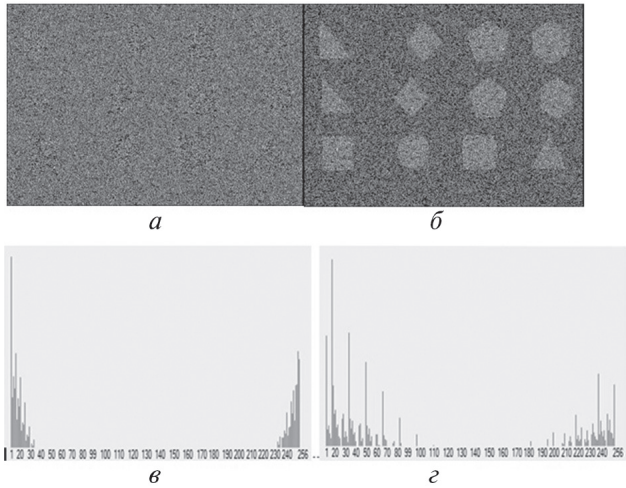


Рис. 15. Применение к эталонному силуэтному изображению шума с распределением Гаусса со стандартным отклонением и масок: а – маски Rippling; б – маски Vibration; в – маски Rippling и г – маски Vibration

В эксперименте использовались силуэтные изображения треугольника, ромба, пятиугольника, шестиугольника, квадрата. Были наложены маски Tone, Border, Vibration, Wave и Spot, позволившие определить частотные характеристики. Маска Rippling дала наихудший результат, при котором выделить что бы то ни было не удалось.

Таким образом, проведя эксперименты и построив гистограммы, можно сделать вывод, что одномерные фильтры для силуэтных изображений не позволяют выделять контур, но позволяют получать распределения значений внутри изображения и четко фиксируют Гауссовский шум, что хорошо для структурно-информационных, частотных и статистических методов.

**4. Выделения контура изображения, используя алгоритмы Превитта Кирша, Собела, Лапласа**

Первая цель этой работы состояла в том, чтобы собрать методы выделения контуров и изучить их работу. Были исследованы алгоритмы Превитта (Prewitts), Собела (Sobel), Лапласа (Laplass), Кирша (Kirschs), Логический (Logic).

Для исследования двумерных фильтров были выбраны изображения: прямоугольника, круга, треугольника, пятиугольника, шестиугольника (табл. 2–10). Эти фигуры представлялись в виде контуров, с незаполненным и заполненным равномерным фоном, где  $b$  – стандартное отклонение.

Для каждого следующего изображения результаты оценивались по следующим параметрам: тип изображения, максимальное значение  $R_1$  и значение  $R_2$ .

Далее рассмотрим их без шума и с шумом 5, 10, 15 и посмотрим его влияние на изображение.

Лучшими в этом эксперименте оказались алгоритмы Превитта, Лапласа, Кирша. Логический алгоритм не позволил определить контур и имел высокие значения ошибки.

Таблица 2

Сравнение алгоритмов выделения контура для контурных изображений пятиугольника с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.					
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma=5$	$\sigma=10$	$\sigma=15$	
Исходное полутоновое						
1-Превитт						
ошибка		0	0	1	26	635
3- Собел						
ошибка		110	105	99	110	319
2- Кирш						
ошибка		0	0	0	12	857
4- Лаплас						
ошибка		0	2	12	21	153
Logic						
ошибка		1002	1001	1002	1002	1005

Таблица 3

Сравнение алгоритмов выделения контура для контурных изображений шестиугольника с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.					
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma=5$	$\sigma=10$	$\sigma=15$	
Исходное полутоновое						
1-Превитт						
ошибка		371	362	370	390	715
3- Собел						
ошибка	452	431	446	445	443	405
2- Кирш						
ошибка	554	459	464	467	473	843
4- Лаплас						
ошибка	1284	304	309	308	317	252
Logic						
ошибка	1157	9	28	28	22	60

Для контурных изображений шестиугольника лучшим себя показал Logic алгоритм. Все остальные алгоритмы имели высокие значения ошибок.

Таблица 4

Сравнение алгоритмов выделения контура для контурных изображений четырехугольника с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.					
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma=5$	$\sigma=10$	$\sigma=15$	
Исходное полутоновое						
1-Превитт Prewitt						
ошибка		444	441	435	489	747
3-Собел Sobel						
ошибка	490	611	614	608	616	389
2-Кирш Kirsch						
ошибка	493	650	647	626	653	939
4-Лапласс Laplасс						
ошибка	1450	278	283	299	285	277
Logic						
ошибка	1195	10	17	39	24	68

Лучшими оказались алгоритмы Лапласса, Превитта. Алгоритм Лапласса позволил получить связанный и не размытый контур. Алгоритмы Превитта позволили получить связанный, но размытый контур. Эти алгоритмы обеспечили высокое значение  $R_1$  и малое значение  $R_2$  для изображения прямоугольника.

При обработке идеального изображения с кругом для каждого алгоритма имелись проблемы при определении контурных точек (табл. 5).

Лучшими в этом эксперименте оказались алгоритмы Превитта, Лапласса. Алгоритм Превитта позволил получить связанный, но размытый контур. Logic алгоритм позволил получить несвязанный и размытый контур. Эти алгоритмы обеспечили высокое значение  $R_1$  и малое значение  $R_2$  для изображений круга и прямоугольника (табл. 6).

Для контурных изображений в качестве лучших можно выделить две версии алгоритмов Превитта и алгоритм Лапласса, однако их визуальная эффективность меняется в зависимости от сюжета и практически не отражается на изменении коэффициентов  $R_1$  и  $R_2$ . Например, алгоритм Лапласса имеет значение  $R_1$  выше чем, алгоритм Превитта, но по качеству явно проигрывает им. Аналогичная

картина и с коэффициентом  $R_2$ . Можно сделать окончательный вывод об эффективности алгоритмов при работе с контурными изображениями, что лучшего из трёх названных алгоритмов назвать нельзя и их эффективность зависит от сюжета.

Таблица 5

Сравнение алгоритмов выделения контура для контурных изображений круга с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.					
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma$ (Ctrl) $\sigma=10$	$\sigma=15$		
Исходное полутоновое						
1-Превитт Prewitt						
ошибка	496	0	0	0	30	560
3-Собел Sobel						
ошибка	1032	79	79	88	87	227
2-Кирш Kirsch						
ошибка	1044	0	0	0	7	726
4-Лапласс Laplасс						
ошибка	1464	0	1	12	11	126
Logic						
ошибка	953	0	0	0	0	6

Таблица 6

Распределение на основе априорно заданных контурных точек, отображаемых на контурном изображении

фильтр	прямоугольник		круг		треугольник	
	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$
Превитт	0,94	0,48	0,93	0,69	0,87	0,53
Собел	0,94	0,48	0,94	0,74	0,9	0,5
Кирш	1	0,1	0,95	0,59	0,86	0,62

Далее проведем эксперимент для силуэтных изображений.

В эксперименте с силуэтным изображением круга лучшим оказался Логический алгоритм. Алгоритмы Лапласса и Превитта обеспечили высокое значение  $R_1$  и малое значение  $R_2$  для изображения круга. Алгоритмы Превитта, Собела и Кирша позволили получить размытый контур.

При обработке силуэтного изображения прямоугольника лучшим оказался Logic алгоритм. Алгоритмы Превитта, Лапласса, Собела, Кирша позволили получить связанные, но размытые контуры. Алгоритмы Лапласса и Превитта обеспечили высокое значение  $R_1$  и малое значение  $R_2$ .

Таблица 7

Сравнение алгоритмов выделения контура для силуэтных изображений пятиугольника с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.				
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma$ (Ctrl) $\sigma=10$	$\sigma=15$	
Исходное полутоновое					
1-Превитт. Previt					
ошибка		3207	3317	3359	3372
3-Собел Sobel					
ошибка		4350	4471	4520	4445
2-Кирш Kirsch					
ошибка		4683	4708	4734	4691
4-Лаплас Laplass					
ошибка		5070	5049	5014	4900
Logic					
ошибка		38	49	51	51

Таблица 8

Сравнение алгоритмов выделения контура для силуэтных изображений круга с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.				
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma=5$	$\sigma=10$	$\sigma=15$
Исходное полутоновое					
1-Превитт. Previt					
ошибка		2622	2685	2719	2730
3-Собел Sobel					
ошибка	264	3512	3609	3621	3632
2-Кирш Kirsch					
ошибка	333	3581	3810	3817	3771
4-Лаплас Laplass					
ошибка	1136	4066	4110	4034	3981
Logic					
ошибка	966	4	9	14	15

Таблица 9

Сравнение алгоритмов выделения контура для силуэтных изображений четырехугольника с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.				
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma=5$	$\sigma=10$	$\sigma=15$
Исходное полутоновое					
1-Превитт. Previt					
ошибка		3130	3240	3238	3281
3-Собел Sobel					
ошибка		4244	3382	4403	4405
2-Кирш Kirsch					
ошибка		4602	4589	4629	4606
4-Лаплас Laplass					
ошибка		4834	4849	4806	4692
Logic					
ошибка		6	12	18	20

Таблица 10

Сравнение алгоритмов выделения контура для силуэтных изображений треугольника с наложенным шумом

фильтр	шум с распределением гаусса со стандартным отклонением 0,2,5,10,15.				
	$\sigma=0$	$\sigma=2$	$\sigma=5$	$\sigma=10$	$\sigma=15$
Исходное полутоновое					
1-Превитт. Previt					
ошибка		1794	1856	1875	1939
3-Собел Sobel					
ошибка	277	2444	2511	2526	2533
2-Кирш Kirsch					
ошибка	325	2633	2633	2654	2640
4-Лаплас Laplass					
ошибка	1154	2787	2773	2767	2694
Logic					
ошибка	1026	38	14	15	15

При обработке силуэтного изображения треугольника лучшим оказался Logic алгоритм. Алгоритмы Превитта, Лапласа, Собела и Кирша позволили получить размытые связанные контуры. Алгоритмы Лапласа и Превитта обеспечили высокое значение  $R_1$  и малое значение  $R_2$ . Алгоритмы Превитта, Собела и Кирша позволили получить неразмытый рваный контур.

Таблица 11

Распределение на основе априорно заданных контурных точек, отображаемых на силуэтом изображении, полученных в результате обработки зашумлённого силуэтного изображения

фильтр	прямоугольник		круг		треугольник	
	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$
Превитт	0,94	0,48	0,93	0,69	0,87	0,53
Собел	0,94	0,48	0,94	0,74	0,9	0,5
Кирш	1	0,1	0,95	0,59	0,86	0,62

Для силуэтных изображений в качестве лучших можно выделить Logic алгоритм и алгоритмы Превитта и Лапласа. Значения коэффициентов  $R_1$  и  $R_2$ , их визуальная эффективность соответствуют теоретическим предположениям. Алгоритмы Превитта, Собела и Кирша имеют теоретически хорошие значения коэффициентов  $R_1$  и  $R_2$ , хотя их работа привела к получению силуэтных изображений уменьшенных размеров.

Можно сделать окончательный вывод, что все алгоритмы недостаточно эффективны при работе с силуэтными изображениями, а их эффективность также зависит от сюжета. Исследование показало, что при выбранном локально адаптивном пороге для контурных изображений алгоритмы Превитта (Prewitts), Собела (Sobel), Лапласа (Laplace), Кирша (Kirsch), Logic работают хорошо, выделяют контур, но при этом не учитывают внутреннее распределение. С увеличением шума на контурных изображениях ошибка возрастает, тогда как для силуэтных изображений данные алгоритмы не работают совсем. Из всего вышесказанного вытекает вопрос, какими свойствами должен обладать фильтр, который бы выделял контур, но при этом не терял значения внутреннего распределения. В то время, как для одних алгоритмов будет важно, чтобы фильтр мог выделять контур, для других будут важны значения внутреннего распределения.

### Выводы

Если сравнивать методы распознавания и их классификацию, то для структурного метода распознавания важным является точность выделения границ и информация внутри этих границ. Для статистических методов важным является распределение производных элементов, а именно контуров и их внутреннее взаимное распределение значения яркости. Для структурно-лингвистических важным является как наличие

всех особенностей описанных выше, так и построение синтаксических выражений, описывающих эти явления. Методы выделения признаков (фильтры) должны как выделять контурные составляющие, что характерно для одних методов, так и получать информацию о распределении структурных элементов вне границ предела объектов. Потеря любой из этих составляющих в принципе не приемлема при решении широкого круга задач распознавания. Точность выделения контура сильно зависит от шумовых составляющих. Даже простые корреляционные методы уже дают большую ошибку. Потеря информации распределения внутри объекта, как и ее искажение при наложении шума, должны также быть использованы в задачах распознавания.

Таким образом, общий вывод из всех проведенных работ может быть следующим. Необходимо разработать некоторый модифицированный дифференциальный алгоритм выделения объектов, который бы в какой-то степени автоматически исправлял ошибки, зависящие от характеристик объектов на изображениях.

**Список литературы:** 1. *Стокхэм мл.* Обработка изображений в контексте модели зрения // ТИИЭР. – 1972. – Т. 60, № 7. 2. *Власенко В. А.* Методы синтеза быстрых алгоритмов свертки и спектрального анализа. / Ю. М. Лаппа, Л. П. Ярославский. – М.: Наука, 1990. 3. *Вуткус Р. Ю.* Адаптивные линейные фильтры для обработки изображений / Л. П. Ярославский. Под ред. В. И. Сифорова и Л. П. Ярославского. – М.: Наука, 1988. 4. *Pratt W. K.* Generalized Wiener Filter Computation Techniques. IEEE Trans. Computers. – 1972. – V. C. 21, N 7. 5. *Форсайт Д.* Компьютерное зрение современный подход/ Ж:Понс Пер с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004 – 928 с.

Поступила в редколлегию 16. 06.2014

УДК 004. 932. 2:004. 93'1

**Дослідження можливостей різних фільтрів та їх застосування в задачах розпізнавання образів / В.І. Бритік, О.Ю. Жиліна // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 88–95.**

Існує безліч алгоритмів виділення контуру, але важко зустріти алгоритм, який би ідеально працював на всіх типах зображень і не допускав би помилок. Тому методи виділення ознак (фільтри) повинні як виділяти контурні складові, так і отримувати інформацію про розподіл структурних елементів поза меж об'єктів.

Табл. 11. Іл. 15. Бібліогр. 5 найм.

UDK 004. 932. 2:004. 93'1

**Investigation possibilities of various filters which used in pattern recognition problems / V.I. Britik, E.U. Zhilina // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 88–95.**

There are many algorithms for edge detection, but it is hard to find an algorithm that would work perfectly on all types of images and would prevent errors. The feature extraction methods (filters) should outline to select components, and obtain information about the distribution of structural elements outside the boundaries within the object.

Table 11. Fig. 15. Ref. 5 item.

УДК 007.5

С.Ф. Чалый<sup>1</sup>, И.Б. Буцукина<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, s\_chaliy@mail.ru<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, inessa\_@list.ru

## СИТУАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССНЫХ ЗНАНИЙ

В статье рассматривается проблема представления темпоральных знаний о гибких процессах преобразования ресурсов. Предложена ситуационная модель представления знаний о таких процессах. Модель описывает процесс в виде набора ситуаций, задающих последовательность действий процесса в конкретных условиях предметной области. Выбор конкретной ситуации осуществляется с использованием ограничений двух типов: структурных и условий выполнения. Первые определяют знания о базовой, типовой структуре процесса, а вторые – знания об альтернативных вариантах реализации. Ограничения в предложенной модели могут быть получены на основе анализа логов событий процесса, что обеспечивает возможность его непрерывной адаптации в условиях эволюции внешней среды, возникновения нештатных ситуаций, применения неявных знаний.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ, ОГРАНИЧЕНИЯ, ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ЗНАНИЯ, ДЕКЛАРАТИВНЫЕ ЗНАНИЯ, ПРОЦЕДУРНЫЕ ЗНАНИЯ

### Введение

Проблема представления темпоральных знаний – знаний о процессах и явлениях, которые изменяются во времени, является ключевой во многих сферах человеческой деятельности, включая медицину, биологию, психологию, лингвистику, компьютерные науки. Темпоральные знания обладают рядом особенностей, требующих применения специальных подходов: относительность во времени; ограниченность; необходимость выделения уровней детализации; отражение статической и динамической составляющих [1]. С учетом указанных особенностей таких знаний разработан ряд базовых подходов к их представлению и использованию на основе темпоральных логик, ситуационного и событийного исчисления, удовлетворения временных ограничений [2–7].

Рассматриваемая проблема обладает рядом особенностей в сфере представления знаний о гибких дискретных процессах преобразования ресурсов, выполняющихся в рамках информационных систем. Указанные процессы представляются в виде нескольких возможных вариантов реализации, из которых выбирается тот вариант, который учитывает ограничения предметной области. Существующие процедурные подходы к представлению знаний о таких процессах основаны на явном представлении альтернативных вариантов реализации. В то же время необходимость адаптации процесса в условиях эволюции предметной области, возникновения нештатных ситуаций, учета неявных знаний требует построения декларативного описания процесса, в котором указанные факторы были бы представлены в формате ограничений. Уточнение таких ограничений может быть выполнено путем сравнения модельного и реального поведения процесса. Последнее может быть получено на основе анализа последовательности событий, представляющих собой «след» его выполнения.

Таким образом, для построения адаптируемой модели гибкого процесса необходимо сформировать представление процессных знаний, которое бы содержало как типовые последовательности действий, так и ограничения, учитывающие возможные варианты реализации процесса. Изложенные соображения и определяют актуальность темы данной работы.

### 1. Постановка задачи

Задача заключается в построении декларативного представления знаний о гибких изменяющихся во времени процессах преобразования ресурсов, которое бы обеспечивало сочетание декларативного и процедурного подходов. Такое представление должно включать в себя: знания о текущем состоянии предметной области; типовые последовательности действий процесса; явные ограничения, задающие структурные взаимосвязи между типовыми последовательностями действий; неявные ограничения, задающие условия использования типовых последовательностей действий процесса.

### 2. Требования к модели представления знаний

Дискретные процессы преобразования ресурсов подразделяются на два основных типа: процессы, у которых последовательность действий задана жестко на этапе их построения и не изменяется в дальнейшем при их выполнении; гибкие процессы, которые могут быть сконфигурированы с учетом особенностей предметной области, а затем адаптированы во время выполнения с учетом изменений внешней среды.

Процессы первого типа конфигурируются один раз и далее не изменяются в течение всего жизненного цикла. Для того, чтобы изменить такой процесс, необходимо повторить весь цикл его проектирования.

В то же время, при длительном использовании такого неизменяемого процесса, внешняя по отношению к нему среда обычно эволюционирует,

что меняет выдвигаемые к процессу требования. В результате возникает необходимость адаптации (а значит, и перепроектирования процесса). Потребуется выполнить все (или большинство) этапов разработки процесса.

Вторая проблема, связанная с использованием жестко определенного процесса, возникает при появлении нештатных ситуаций (например, исключений в программном обеспечении). Стандартная последовательность действий в этом случае должна быть прервана и запущен алгоритм обработки нештатной ситуации. Поэтому знания о процессе должны быть дополнены, а сам процесс - изменен.

Третья проблема связана с необходимостью адаптации процесса решения новых задач, отражающих различные аспекты предметной области. Рассмотрим возникновение данной проблемы на примере бизнес-процесса сервисного обслуживания мультинациональной компании. Проектировании бизнес-процесса формализуется последовательность действий для решения задач сервисного обслуживания работающих на предприятии программных средств. Реализация процесса в различных странах показала большие отличия в производительности, вызванные личными качествами исполнителей, в частности стремлением перебросить ответственность на другие подразделения. Поэтому параллельно с задачей сервисного обслуживания необходимо решать задачу контроля работников и выявления исполнителей с недостаточной мотивацией и недостаточным уровнем квалификации. Появление новой задачи не связано с изменением внешней среды, поскольку исполнителей можно рассматривать как часть процесса, один из видов его ресурсов. Однако же изменение процесса требуется и в этом случае – необходимо добавить действия анализу и контролю работы исполнителей.

Четвертая проблема использования неизменяемых процессов связана с использованием неявных (недокументированных, неформализованных) знаний при выполнении процесса. Применение таких знаний исполнителями либо пользователями процесса может изменить как последовательность действий, так и временные параметры процесса. Например, в процессах документооборота неявные основанные на личных контактах знания позволяют изменить маршрут документов и сократить время их оформления.

Последняя, пятая проблема возникает при разовом (ad-hoc) изменении процесса. В отличие от нештатных ситуаций, разовое изменение процесса может быть связано с эффективной реализацией процесса в конкретных сложившихся условиях, однократным решением дополнительных задач и т.п.

Процессы второго типа не обладают приведенным выше недостатками, поскольку они формируются на основе знаний и объединяют набор

альтернативных решений (вариантов поведения). Выбор между альтернативными вариантами реализации осуществляется на основе знаний об особенностях предметной области.

Гибкость таких процессов задается как на этапе проектирования, так и при их адаптации во время выполнения. При проектировании в модель процесса закладывается набор допустимых вариантов поведения. Непосредственно перед реализацией процесса выполняется конфигурирование, при котором отбирается набор действий, допустимый для данной предметной области. Альтернативно, необходимые наборы действий могут выбираться во время выполнения процесса. При этом каждая выбираемая (или отклоняемая) последовательность действий рассматривается как единое целое и выбирается (отбрасывается) полностью.

В работе [8] рассмотрен и формализован подход представлению темпоральных знаний в форме ситуаций. Каждая из ситуаций отражает состояние предметной области в конкретный момент времени [9] и возникает в результате выполнения конечной последовательности действий, начиная с исходной ситуации [10]. Данный подход обеспечивает гибкость в представлении темпоральных знаний, а также позволяет сочетать предопределенные и изменяющиеся компоненты. Поэтому представляется целесообразным применить его для представления знаний о гибких дискретных процессах преобразования ресурсов. В соответствии с концепцией ситуационного представления знаний для каждой ситуации задаются: условия (либо ограничения на) появления; набор действий, приводящий к конкретной ситуации; результат выполнения последовательности действий.

При настройке процесса отбираются только пригодные для данной конкретной области ситуации.

Исходя из изложенной проблематики, а также с учетом особенностей гибких процессов [11–13], уточним требования к модели представления знаний о гибких процессах в части их настройки и адаптации:

- конфигурирование процесса непосредственно перед его исполнением путем выбора одной из возможных альтернатив, заложенных при создании процесса; в данном случае заранее известна все возможные варианты поведения процесса;
- выбор необходимых подмножеств действий процесса непосредственно во время выполнения; необходимость такой настройки обычно связана с изменением внешней среды для процесса;
- обеспечение возможности частичного представления знаний, при котором часть «ветвей» не задается при создании процесса и может быть специфицирована на основе дополнительных знаний, полученных во время его выполнения; позволяет выявить использовать неявных знаний,

тем самым решается последняя из рассмотренных проблем;

- создание условий для модификации знаний о процессе во время выполнения, когда модель дополняется с учетом новых возникающих задач и уже выполняющиеся процессы преобразуются на основе дополненной модели;

- модификация процесса во время выполнения при необходимости реализации разовых отклонений, без изменения базовой модели; в данном случае меняются правила, связывающие последовательности действий процесса и, тем самым, реализуется однократное отклонение от базовой модели.

### 3. Модель представления знаний о гибких процессах преобразования ресурсов

Предлагаемая модель основана на сочетании процедурного и декларативного подходов к представлению знаний, что требует объединить: набор предопределенных последовательностей действий (процедурная часть); набор ограничений, определяющих выбор альтернатив из последовательностей действий (декларативная часть).

Общая идея предлагаемого подхода состоит в формировании представления знаний на основе формального описания реализованных ситуаций  $s_i$  (или ситуаций, которые должны быть выполнены в будущем), а также взаимосвязей между ними. Такие ситуации отражают знания о состоянии предметной области в результате выполненных действий (или выполнения действий в будущем). В принципе мы можем описать ситуацию на основе набора значений переменных, характеризующих состояние предметной области. Однако текущие значения переменных являются результатом предварительно выполненных действий. При этом не имеет значения, выполнены ли эти операции исполнителями рассматриваемого процесса, либо они представляют собой результат выполнения внешних процессов (внешней среды). Важен лишь факт их выполнения, приводящий к изменению состояния предметной области. О выполнении действий свидетельствуют произошедшие в предметной области события  $e_{ki}$ . Следовательно, при описании темпоральных знаний мы можем исключить рассмотрение переменных, отражающих текущее состояние предметной области и учитывать события, которые свидетельствуют об изменении значений переменных. Поэтому формализация набора событий, описывающих ситуацию, дает статическую составляющую темпоральных знаний. Указанные события обладают атрибутом времени (временной меткой), что позволяет задать отношения между ними на временной шкале. При формализации статической компоненты темпоральных знаний важен не только факт наступления неких событий, а также их упорядоченность

на временной шкале. При составлении отношений порядка между событиями могут учитываться не только конкретные моменты времени, но и интервалы между событиями [1, 2]

Для описания динамической составляющей темпоральных знаний необходимо определить последовательности  $f(A_i)$  действий  $a_{ij}$ , которые влияют на состояние предметной области и приводят к возникновению той или иной ситуации. В то же время в каждой конкретной ситуации допустимы далеко не все действия. Однако представление полного набора взаимодействий между предопределенными последовательностями в явной форме вызывает трудности в силу многовариантности гибкого процесса. Это и свидетельствует о необходимости формирования системы ограничений для представления темпоральных знаний о гибких процессах.

Набор последовательностей действий состоит из подмножеств базовых и опциональных операций, формирующих рассмотренные выше ситуации процесса. Каждое из этих подмножеств включает в себя шаблон, отражающий возможные схемы действий. Такой шаблон задает структуру взаимодействия между активностями процесса. Иными словами, шаблон задается на основе структурных ограничений, явно задающих взаимосвязь действий в последовательности. Поэтому формула  $f(A_i)$ , отражающая указанный шаблон в ситуации  $s_i$  представляет собой знание в сценарии действий в указанной ситуации. Выбор тех или иных наборов действий выполняется на основе соответствующих ограничений, определяющих условия их выполнения. Сформируем минимальный набор базовых ограничений, определяющих схему взаимодействия операций процесса. Состав такого набора определятся возможными отношениями между операциями процесса: следование для пары действий, когда вторая операция обязательно во времени следует за первой; при этом между ними могут быть промежуточные операции; циклическое выполнение, являющееся неоднократным повторением предшествующего ограничения; ветвление, когда за текущей операцией следуют две, но при реализации выполняется лишь одна из них; распараллеливание, когда две операции могут выполняться во времени в произвольном порядке; иерархия, позволяющие наряду с последовательностью действий процесса отразить их иерархию, группируя наборы действий.

Структурные ограничения задают взаимосвязи как между отдельными действиями процесса, так и между ситуациями в целом. Ограничения, задающие условия выполнения, задают отношения между ситуациями и подразделяются на включающие и исключающие. Ограничение включения показывает, что соответствующий фрагмент (ситуацию) необходимо включить в состав процесса.

Ограничение исключения позволяет отсечь отдельные возможности (варианты реализации) процесса в его конкретной конфигурации.

Ситуационная модель процессных знаний в соответствии с рассмотренным подходом включает в себя набор ситуаций  $S$ , ограничений  $C$  и связей  $R_{sc}$ , указывающих условия применения ситуаций (т. е. ограничений на ситуации):

$$M = \langle S, C, R_{sc} \rangle, R_{sc} \subset C \times S, C = C^{str} \cup C^{cond}, \\ S = \{s_i\}, s_i = \langle E_i, f(A_i) \rangle, E_i = \{e_{ki}, t_{ki}\}, A_i = \{a_{ij}\} \\ \forall s_i \in S \exists \{c_j\} \subset C : (\wedge c_j = true) \wedge (f(A_i) = true) \Rightarrow \\ \forall e_{ki} \exists t_{ki} \neq 0$$

Ограничения  $C$  объединяют структурные  $C^{str}$  и условия выполнения  $C^{cond}$ . Появление ситуации описывается набором упорядоченных во времени событий  $E_i$ . Для получения набора событий, необходимо, чтобы логическая функция  $f(A_i)$  на наборе действий ситуации стала истинной (т.е. действия выполнены), а также был удовлетворен весь набор ограничений  $c_j$ , связанных с ситуацией. Критерием получения набора событий ситуации является наличие временных меток у каждого из событий  $e_{ki}$ .

### Выводы

В статье предложена ситуационная модель представления знаний о гибких процессах преобразования ресурсов, которая описывает процесс в виде набора ситуации, задающих последовательность действий процесса в конкретных условиях предметной области. Реализация ситуации задается логическими связями между элементами подмножества событий, отражающих выполнение набора связанных с ситуацией действий. В модели присутствуют ограничения двух типов: структурных и условий выполнения. Первые задают допустимые взаимосвязи между последовательностями действий процесса, во вторые – условия возникновения ситуаций. Иными словами первые определяют знания об элементах базовой, типовой структуры процесса, а вторые знаний об альтернативных вариантах реализации гибкого процесса. Реализация процесса при предлагаемом представлении знаний может быть представлена в виде двухуровневого логического вывода на правилах, задающих ограничения. На первом, структурном уровне определяется набор допустимых в каждом случае ситуаций. На втором осуществляется выбор конкретной ситуации из набора допустимых с учетом текущих свойств предметной области. Практическое преимущество предложенной модели состоит в том, что как ситуации, так и ограничения могут быть получены (в случае отсутствия модели) и уточнены методами process mining на основе анализа логов событий, отражающих выполнение процесса. Важно также отметить, что разбиение процесса на ситуации позволяет выполнять анализ на фрагментах

последовательностей событий и, тем самым снизить влияние ошибок в логике событий.

**Список литературы:** 1. J.F. Allen. Towards a general theory of action and time. *Artificial Intelligence*, 23(2):123–154, July 1984 2. J.F. Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. *ACM Communications*, 26(11):832–843, November 1983. 3. R. Alur and T.A. Henzinger. Real-time logics: complexity and expressiveness. *Information and Computation*, 104(1):35–77, 1993. 4. E.A. Emerson. In *Handbook of Theoretical Computer Science*, pages 997–1071. Elsevier Science Publishers B.V., 1990 (chapter Temporal Modal Logic). 5. J. McCarthy and P. Hayes. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In B. Meltzer and D. Michie, editors. *Machine Intelligence*, vol. 4, pages 463–502. Edinburgh University Press, Edinburgh, 1969. 6. R. Reiter. *Knowledge in Action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems*. The MIT Press, 2001. 7. R.A. Kowalski and M.J. Sergot. A logic-based calculus of events. *New Generation Computing*, 4(1):67–95, 1986. 8. W.M.P. van der Aalst, M. Weske, and D. Grünbauer. Case Handling: A New Paradigm for Business Process Support. *Data and Knowledge Engineering*, 53(2):129–162, 2005. 9. J. McCarthy and P. Hayes. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In B. Meltzer and D. Michie, editors. *Machine Intelligence*, vol. 4, pages 463–502. Edinburgh University Press, Edinburgh, 1969. 10. R. Reiter. *Knowledge in Action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems*. The MIT Press, 2001. 11. M.H. Schonberg, R.S. Mans, N.C. Russell, N. Mulyar, and W.M.P. van der Aalst. Taxonomy of process flexibility. Technical Report BPM Center Report BPM-06-22, BPMcenter.org, 2007. 12. H. Schonberg, R. Mans, N. Russell, N. Mulyar, and W.M.P. van der Aalst. Process Flexibility: A Survey of Contemporary Approaches. In J. Dietz, A. Albani, and J. Barjis, editors, *Advances in Enterprise Engineering I*, volume 10 of *Lecture Notes in Business Information Processing*, pages 16–30. Springer-Verlag, Berlin, 2008. 13. H. Schonberg, R. Mans, N. Russell, N. Mulyar, and W.M.P. van der Aalst. Towards a Taxonomy of Process Flexibility. In Z. Bellahsene, C. Woo, and E. Hunt, editors, *Proceedings of the Forum at the CAiSE'08 conference*, volume 344 of *CEUR Workshop Proceedings*, pages 81–84. CEUR-WS.org, 2008.

Поступила в редколлегию 01.07.2014

УДК 007.5

Ситуаційна модель представлення процесних знань / С.Ф. Чалий, І.Б. Буцукіна // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 2 (83). — С. 96–99.

У статті запропоновано ситуаційну модель подання знань про гнучкі процеси перетворення ресурсів. Модель описує процес у вигляді набору ситуацій, які задають послідовність дій процесу в конкретних умовах предметної області.

Бібліогр.: 13 найм.

UDC 007.5

Situation model for process knowledge representation / S.F. Chaliy, I.B. Butskina // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2014. — № 2 (83). — P. 96–99.

The paper proposes a situational model of knowledge representation of a flexible process of conversion of resources, which describes the process as a set of situations that define workflow processes at a given subject area.

Ref.: 13 items.

УДК 004.89

Н.М. Кораблев<sup>1</sup>, А.А. Фомичев<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, korablev@kture.kharkov.ua<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, alexandros.gru@gmail.ru

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СЕТИ

В статье рассматривается решение задачи автоматической классификации данных на основе модели искусственной иммунной сети. Для повышения скорости иммунного обучения используется пропорциональная мутация на основе аффинности дальнего предка, и конкурентно-целевой отбор клонов на этапе редактирования сети. При выделении кластеров для объектов, которые не могут быть отнесены ни к одному из исходных классов, используются стимулирующие антитела, которые становятся центрами формируемых кластеров.

ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СИСТЕМЫ, КОНКУРЕНТНО-ЦЕЛЕВОЙ ОТБОР КЛОНОВ, ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ МУТАЦИЯ, СТИМУЛИРУЮЩИЕ АНТИТЕЛА, ЦЕЛЕВЫЕ АНТИГЕНЫ

### Введение

Одним из наиболее распространённых способов классификации, использующихся при решении практических задач, является автоматическая классификация, которая сочетает в себе принципы классификации и кластеризации. Автоматическая классификация является разновидностью кластеризации, при которой допускается использование обучающих выборок и формирование дополнительных кластеров для объектов, которые не могут быть отнесены ни к одному из классов, описанных обучающими выборками [1]. При организации самообучения в методах автоматической классификации могут использоваться различные модели организации искусственного интеллекта. Среди таких моделей выделяются модели, функционирующие на основе биологических принципов организации вычислений, в частности, теории искусственных иммунных систем (ИИС). Наиболее распространёнными иммунными моделями, используемыми при классификации, являются [2–5]: 1) модель клонального отбора (алгоритмы ВСА, CLONALG); 2) модель искусственной иммунной сети (алгоритм aiNET); 3) модель ресурсо-ограниченной иммунной системы RLAIIS. При этом алгоритм ВСА характеризуется наилучшей точностью обработки данных при низком быстродействии. Алгоритмы CLONALG и aiNET, независимо от различий в иммунных моделях, на основе которых они функционируют, сопоставимы между собой по точности и быстродействию. При этом данные алгоритмы характеризуются наилучшим быстродействием и сравнительно невысокой точностью при сопоставлении с алгоритмом ВСА. Алгоритм RLAIIS сопоставим по точности с алгоритмом ВСА, и превышает его по быстродействию, однако характеризуется высокой сложностью реализации и модификации.

Модель aiNET имеет ряд преимуществ по сравнению с моделями CLONALG и RLAIIS. Это обуславливается возможностью взаимодействия

антител между собой в процессе иммунного обучения при распознавании антигенов, что предоставляет больше возможностей для редактирования сети антител, не усложняя работу данной модели (как это происходит в RLAIIS).

В данной работе для решения задачи классификации предлагается модифицированная модель aiNETmc, которая использует принцип конкурентного целевого отбора клонов на этапе супрессии сети и принцип стимулирующих антител на этапах иммунного обучения и выделения кластеров. Использование данных подходов в модели aiNET позволяет повысить точность обработки данных на этапе иммунного обучения, и классификации без потери быстродействия, свойственного алгоритму aiNET.

### 1. Постановка задачи

Дано множество классифицируемых объектов и множество классов  $CL\{cl_1; \dots; cl_k\}$ , представленных объектами обучающей выборки  $SMP\{s_1; \dots; s_m\}$ . Для описания классифицируемых объектов и объектов обучающей выборки используется одинаковый формат представления данных. При классификации исходных объектов происходит восстановление объектов обучающей выборки в процессе иммунного обучения вследствие клонирования, мутации и отбора популяций классифицируемых объектов. Применительно к теории ИИС, классифицируемые объекты представляются популяцией антител  $AB\{ab_1; \dots; ab_n\}$ , а объекты обучающей выборки – популяцией антигенов  $AG\{ag_1; \dots; ag_m\}$ . В качестве меры близости между антигенами и антителами используется значение аффинности между ними [2, 3]:

$$aff(ab_i, ag_j) = (1 + d(ab_i, ag_j))^{-1}, \quad (1)$$

где  $aff(ab_i, ag_j)$  – аффинность между  $i$ -м и  $j$ -м объектами, а  $d(ab_i, ag_j)$  – евклидово или манхэттенское расстояние между ними. Необходимо путем модификации модели aiNET разработать иммунную

модель автоматической классификации, характеризующуюся высокой точностью классификации без снижения быстродействия.

## 2. Модификация aiNET для автоматической классификации объектов

Основными особенностями модели aiNET являются: 1) популяционная обработка антигенов, 2) использование множества клеток иммунной памяти и 3) использование трехуровневого механизма супрессии для редактирования иммунной сети. Кроме того, в связи с использованием оператора супрессии иммунной сети, в aiNET происходит произвольное формирование дополнительных антител. Поэтому использование модели aiNET для решения задачи автоматической классификации неэффективно, т.к. она по точности группировки объектов значительно (на 25-40 %) уступает модели ВСА. Для повышения точности модели aiNET при автоматической классификации объектов предлагается ее модификация aiNETmc. Основными особенностями предлагаемой модели aiNETmc являются:

- разделение популяции классифицируемых антител на три множества: 1) антитела, которые могут быть классифицированы без проведения иммунного обучения; 2) антитела, которые определяют принадлежность к одному из исходных классов в результате иммунного обучения; 3) антитела, для которых необходимо проведение кластеризации;
- использование принципа конкурентно-целевого отбора клонов;
- использование пропорционального клонирования с определением минимального количества клонов;
- использование обратно-пропорциональной мутации на основе аффинности дальнего предка с увеличением аффинностей при определении коэффициента мутации;
- использование супрессии клонов и клонированных антител с популяцией антигенов;
- использование принципа стимулирующих антител при кластеризации;
- отказ от проведения дополнительного разброса и трехуровневой супрессии.

Работа модели aiNETmc разделяется на три основных этапа: 1) подготовительный этап; 2) классификация объектов при использовании обучающих выборок; 3) выделение кластеров для неклассифицированных объектов.

Для упрощения представления и модификации иммунных моделей и алгоритмов в ИИС используется понятие иммунного оператора [1, 2] как некоторой функции или совокупности одинаковых действий, производимых над популяцией антител или антигенов. Среди наиболее распространенных иммунных операторов выделяются операторы

клонирования антител, клонального отбора, старения, супрессии, мутации, первичного отбора и др. [2, 3]. В соответствии с этим, процесс классификации объектов на основе предлагаемой модели aiNETmc на формальном уровне может быть описан следующим образом:

$$\begin{aligned}
 & aiNETmc(AG, AB, C, \min) = \\
 & \left[ \begin{array}{l} \text{Presentation}(AG) \rightarrow \\ \rightarrow NATCalculation(AG) \rightarrow \\ \rightarrow \text{Presentation}(AG, AB) \end{array} \right]^{PREP} \rightarrow \\
 & \rightarrow \left[ \begin{array}{l} \text{TrgSelection}(AG, AB') \rightarrow \\ \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \xrightarrow{AB'} \text{Cloning}(ab'_i, \min) \rightarrow \\ \rightarrow Mutation(CL_i) \rightarrow \\ \rightarrow \text{Presentation}(AG_i^T, CL_i) \rightarrow \\ \rightarrow \text{Supression}(AB'_i, CL_i) \end{array} \right\} \xrightarrow{C} \\ \rightarrow \text{ClassSelection}(AB') \end{array} \end{array} \right]^{CLASS} \rightarrow (2) \\
 & \rightarrow \left[ \begin{array}{l} \text{NetPresentation}(AB'') \rightarrow \\ \rightarrow \text{StimAbSelection}(AB'_s) \rightarrow \\ \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \xrightarrow{AB''} \text{Cloning}(ab'', \min) \rightarrow \\ \rightarrow Mutation(CL_i) \rightarrow \\ \rightarrow \text{Presentation}(AB'', CL_i) \rightarrow \\ \rightarrow \text{Supression}(AB'', CL_i) \end{array} \right\} \xrightarrow{C} \\ \rightarrow \text{ClusterSelection}(AB'_s) \end{array} \end{array} \right]^{CLUST} \\
 & \rightarrow \text{NetFormation}(AB', AB''),
 \end{aligned}$$

где *PREP* – подготовительный этап классификации; *CLASS* – этап классификации с контролируемым обучением; *CLUST* – этап кластеризации неклассифицированных антител; *Presentation(AG)* – оператор определения аффинностей внутри популяции антигенов; *NATCalculation(AG)* – оператор определения критериев отбора антител и пороговых значений аффинности *NAT*; *Presentation(AG, AB)* – оператор определения аффинностей между классифицируемыми антителами и обучающими антигенами; *TrgSelection(AG, AB')* – оператор определения целевых антигенов для классифицируемых антител; *Cloning(ab'\_i, min)* – оператор клонирования антител; *min* – минимально допустимое количество клонов; *Mutation(CL\_i)* – оператор мутации клонов; *Presentation(AG\_i^T, CL\_i)* – оператор представления целевых антигенов клонам после мутации; *Supression(AB'\_i, CL\_i)* – оператор межпопуляционной супрессии клонов и клонированных антител; *NetPresentation(AB'')* – оператор сетевого взаимодействия антигенов, для которых проводится кластеризация; *StimAbSelection(AB'')* – оператор определения стимулирующих антител при классификации; *Cloning(ab'', min)* – оператор

клонирования неклассифицированных антител;  $Pr esentation(AB'', CL_i)$  – оператор представления иммунной сети клоном;  $Supression(AB'', CL_i)$  – оператор внутривыборочной супрессии клонов и клонированных антител;  $ClusterSelection(AB''_s)$  – оператор определения кластеров из стимулирующих антител;  $NetFormation(AB', AB'')$  – оператор формирования классифицированной иммунной сети;  $C$  – критерий завершения иммунного обучения.

Подготовительный этап является первым этапом работы модели aiNETmc, выполняемым при классификации исходных антител. На данном этапе происходит определение критериев отбора антител для разделения исходных объектов на несколько множеств антител, классификация которых производится различными способами. Следует отметить, что в случае отсутствия обучающих выборок, представленных популяциями антигенов, содержащих информацию об исходных классах, этап классификации не выполняется, и все множество исходных объектов подвергается кластеризации. Для разделения исходной популяции объектов на множестве антител используются критерий средней аффинности внутри популяции антигенов (обучающей выборки), а также средние аффинности между антигенами, принадлежащими одному исходному классу.

На этапе классификации с контролируемым обучением происходит определение классов для антител, которые могут быть классифицированы с помощью объектов обучающей выборки, при этом у данных антител средняя аффинность с популяцией антигенов сопоставима со средней аффинностью внутри популяции антигенов.

На этапе кластеризации антител, которые не могут быть классифицированы с помощью объектов обучающей выборки, происходит выделение стимулирующих антител, характеризующихся максимальными аффинностями с множеством кластеризуемых объектов. После этого за счет клонирования и мутации происходит группировка неклассифицированных объектов с выделенными стимулирующими антителами. После проведения кластеризации происходит слияние сети антител и уточнение границ классов и кластеров.

Операторы  $Pr esentation(AG)$  и  $NATCalculation(AG)$  используются для вычисления средней аффинности  $NAT_{AG}$  для популяции антигенов, и аффинностей  $NAT_{AG_i}$  для определения средних аффинностей между антигенами, принадлежащими общим исходным классам. Данными величинами являются предельные пороговые аффинности  $NAT$  [2, 3], которые определяются в виде:

$$NAT_{AG} = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m aff(ag_i, AG), \quad (3)$$

где  $NAT_{AG}$  – предельная аффинность для популяции антигенов  $AG$  (обучающей выборки),  $m$  – общее количество антигенов, а  $aff(ag_i, AG)$  – средняя аффинность между  $i$ -м антигеном и остальными антигенами популяции, которая определяется в соответствии с выражением:

$$aff(ag_i, AG) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=0, j \neq i}^m aff(ag_i, ag_j). \quad (4)$$

Кроме общего порогового значения  $NAT_{AG}$ , определяемого для всей популяции антигенов, для выделения классифицируемых антител определяются значения  $NAT_{AG_i}$  для антигенов каждого исходного класса в соответствии с (3).

После определения пороговых аффинностей  $NAT$  для популяции антигенов происходит определение аффинностей между антителами и антигенами путем вызова оператора  $Pr esentation(AG, AB)$ . При этом каждое антитело определяет аффинности со всеми антигенами обучающей выборки. Это происходит для того, чтобы для каждого антитела можно было выделить среднюю аффинность с популяцией антигенов  $aff(ab_i, AG)$ , а также средние аффинности с множествами антигенов, характеризующих исходные классы  $aff(ab_i, AG_j)$ . После этого, на основании выделенных аффинностей, происходит разделение исходной популяции антител на два основных множества:

- 1) антитела  $AB'$ , которые могут быть классифицированы на основе обучающей выборки;
- 2) антитела  $AB''$ , для которых в результате кластеризации произойдет формирование дополнительных классов (кластеров).

Условием отнесения антитела к множеству объектов, классифицируемых при использовании обучающей выборки антигенов, является условие:

$$\forall ab'_i \in AB' : aff(ab'_i, AG) \cdot \lambda \geq NAT_{AG}, \quad (5)$$

где  $aff(ab'_i, AG)$  – средняя аффинность  $i$ -го антитела с популяцией обучающих антигенов;  $\lambda$  – коэффициент роста исходных классов;  $NAT_{AG}$  – пороговая аффинность для популяции антигенов.

В случае, если условие (5) не выполняется, то антитело не может быть классифицировано с помощью обучающей выборки, и оно относится к множеству антител, для которых необходимо проведение кластеризации.

После выделения множества антител, которые могут быть классифицированы с помощью антигенов, данное множество повторно разделяется. При этом происходит выделение множества антител, которые могут быть классифицированы без обучения, и множества антител, для классификации которых необходимо проведение иммунного обучения. Антитела могут быть классифицированы без проведения дополнительного обучения при выполнении условия:

$$\forall ab_i^* \in AB^* : \exists AG_j, aff(ab_i^*, AG_j) \cdot \lambda \geq NAT_{AG_j}, \quad (6)$$

где  $aff(ab_i^*, AG_j)$  – средняя аффинность  $i$ -го антигена с множеством антигенов, принадлежащих  $j$ -му классу;  $\lambda$  – коэффициент роста исходных классов;  $NAT_{AG_j}$  – пороговая аффинность для популяции антигенов, принадлежащих  $j$ -му классу.

Таким образом, после проведения подготовительного этапа популяция исходных антител разделяется на три множества:

- 1) антитела  $AB^*$ , которые могут быть классифицированы без проведения обучения;
- 2) антитела  $AB'$ , для классификации которых необходимо проведение иммунного обучения;
- 3) антитела  $AB''$ , которые не могут быть отнесены ни к одному из исходных классов, представленных антигенами, для которых необходимо проведение кластеризации.

На этапе классификации *CLASS* происходит определение классов для антител из множеств  $AB^*$  и  $AB'$ . При этом для классификации множества антител  $AB'$  используется процесс иммунного обучения. Для ускорения процесса иммунного обучения в модели aiNETmc используется метод конкурентно-целевого отбора антител на этапе супрессии [6–8]. В соответствии с этим, в начале обучения происходит определение целевых антигенов для классифицируемых объектов за счет работы оператора *TrgSelection*( $AG, AB'$ ). Использование целевых антигенов повышает скорость иммунного обучения за счет сокращения количества операций определения аффинности между антителами и антигенами. При определении целевых объектов для каждого антитела определяется множество антигенов, которые характеризуются максимальными значениями аффинностей. При этом целевыми антигенами становятся все антигены, для которых аффинность с антителом удовлетворяет выражению:

$$aff(ab_i', ag_j) \geq NAT_{\min}, \quad (7)$$

где  $aff(ab_i', ag_j)$  – аффинность между  $i$ -м антителом, которое может быть классифицировано с помощью антигенов обучающей выборки и  $j$ -м антигеном,  $NAT_{\min}$  – минимальная пороговая аффинность для одного из исходных классов. Следует отметить, что на подготовительном этапе классификации при определении пороговой аффинности для популяции антигенов  $NAT_{AG}$ , происходит определение пороговых аффинностей  $NAT_{AG_k}$  для антигенов каждого исходного  $k$ -го исходного класса. В соответствии с этим,  $NAT_{\min}$  определяется как минимальное значение  $NAT_{AG_k}$  одного из исходных классов.

После определения целевых антигенов для каждого классифицируемого антитела из множества  $AB'$  происходит последовательный вызов операторов клонирования, мутации, представления целевых антигенов клоном и супрессии.

Работа оператора клонирования антител *Cloning*( $ab_i'$ ) заключается в формировании некоторого множества идентичных копий клонируемого объекта. В модели aiNETmc на этапе иммунного обучения используется оператор пропорционального клонирования с минимальным порогом. В соответствии с этим количество клонов, формируемых антителом, прямо пропорционально его средней аффинности с целевыми антигенами, при этом, если полученное количество клонов меньше некоторого минимально допустимого значения, то результирующее количество клонов будет равно данному минимуму. Таким образом, количество клонов для каждого клонируемого антитела определяется в соответствии с выражением:

$$n_i = \begin{cases} aff(ab_i', AG_i^t) \cdot N, & \text{при } aff(ab_i', AG_i^t) \cdot N \geq \min \\ \min, & \text{при } aff(ab_i', AG_i^t) \cdot N < \min, \end{cases} \quad (8)$$

где  $n_i$  – количество клонов, формируемых  $i$ -м антителом при клонировании;  $aff(ab_i', AG_i^t)$  – средняя аффинность между клонируемым антителом  $ab_i'$  и множеством целевых антигенов  $AG_i^t$  данного антитела;  $N$  – общее количество антител в исходной популяции;  $\min$  – минимально допустимое количество клонов, формируемых антителом при клонировании.

Для изменения признаков клонов в aiNETmc используется оператор обратно-пропорциональной мутации *Mutation*( $CL_i$ ) на основе аффинностей дальнего предка. Определение коэффициента мутации на основе аффинности дальнего предка предложено в [6, 7] и применяется для повышения скорости иммунного обучения. При мутации клонов используется увеличение аффинностей при определении коэффициента мутации [3, 6, 7]. При этом аффинность дальнего предка и аффинность мутирующего клона переопределяются следующим образом:

$$aff(cl_i, AG_i^t) = \begin{cases} 2 \cdot aff(cl_i, AG_i^t), & \text{при } aff(cl_i, AG_i^t) < 0.5 \\ aff(cl_i, AG_i^t), & \text{при } aff(cl_i, AG_i^t) \geq 0.5. \end{cases} \quad (9)$$

Увеличение аффинности производится в связи с тем, что рост функции аффинности на интервале [0.5; 1] неравномерен, поэтому для повышения скорости иммунного обучения необходимо изменить принцип определения коэффициента мутации клонов.

В связи с тем, что в модели aiNETmc используется обратно-пропорциональная мутация клонов, коэффициент мутации определяется в виде:

$$\mu = rand[1 - aff(ab_i^*, AG_i^t); 1 - aff(cl_i, AG_i^t)], \quad (10)$$

где  $aff(ab_i^*, AG_i^t)$  – аффинность дальнего предка клонированного  $i$ -го антитела к целевым антигенам;  $aff(cl_i, AG_i^t)$  – аффинность клона к целевым антигенам.

При этом изменение признаков клона во время мутации происходит следующим образом:

$$cl_i.attr = cl_i.attr \pm \mu \cdot \left( aff(cl_i, AG_i^t)^{-1} - 1 \right), \quad (11)$$

где  $cl_i.attr$  – признак  $i$ -го клона, который подвергнут действию оператора мутации;  $\mu$  – коэффициент мутации, определяемый в соответствии с (10). Следует отметить, что знак  $\pm$  в выражении (11) определяется случайным образом.

После проведения мутации клонов происходит определение аффинностей между клонами и целевыми антигенами посредством вызова оператора  $Presentation(AG_i^t, CL_i)$ .

Для редактирования множества клонов и клонированных антител в модели aiNETmc используется оператор супрессии  $Supression(AB'_i, CL_i)$  между популяциями клонов, клонированных антител и антигенов. При этом происходит добавление клонированного антитела в популяцию мутированных клонов, после чего производится отбор одного объекта, характеризующегося максимальной аффинностью с одним из целевых антигенов. Полученный в результате супрессии объект заменяет клонированное антитело, которое удаляется вместе с остальными клонами.

Оператор  $ClassSelection(AB')$  используется для определения классов для антител из множеств  $AB^*$  и  $AB'$  по результатам проведенного иммунного обучения. При этом принадлежность к одному из исходных классов для каждого антитела, относящегося к одному из данных множеств, определяется по принадлежности антигена, с которым данное антитело имеет максимальную аффинность. Данный оператор завершает этап классификации с контролируемым обучением.

Первым оператором, используемым на этапе кластеризации антител, принадлежащих множеству  $AB''$ , является оператор представления иммунной сети  $NetPresentation(AB'')$ . В процессе работы данного оператора происходит определение аффинностей между антителами, которые не могут быть классифицированы с помощью объектов обучающей выборки. Поэтому при классификации данных объектов происходит формирование новых классов (кластеров) без непосредственного использования популяции обучающих антигенов. После определения аффинностей между антителами множества  $AB''$  происходит отбор стимулирующих антител путём вызова оператора  $StimAbSelection(AB_s'')$ . Данные объекты стимулируют неклассифицированные антитела на клонирование и мутацию для формирования из них новых классов. При этом стимулирующими антителами становятся все антитела из множества  $AB''$ , которые характеризуются максимальными аффинностями с другими неклассифицированными антителами, однако расстояние между каждой

парой стимулирующих антител должно быть больше минимального значения  $NAT$  для одного из исходных классов, представленных популяцией антигенов.

Таким образом, полученное множество стимулирующих антител заменяет обучающие антигены для неклассифицированных антител. После этого начинается процесс иммунного обучения для популяции неклассифицированных антител, не ставших стимулирующими антителами. В соответствии с этим для каждого антитела из  $AB''$ , не являющегося стимулирующим, последовательно выполняются клонирование, мутация клонов и супрессия.

Оператор клонирования антител  $Cloning(ab'', min)$  из множества  $AB''$  функционирует аналогично тому, как это происходит для антител, которые могут быть классифицированы с помощью объектов обучающей выборки. При представлении стимулирующих антител клонам после мутации в результате вызова оператора  $Presentation(AB'', CL_i)$  происходит определение аффинности между ними. После этого, из всего множества клонов в процессе внутрипопуляционной супрессии  $Supression(AB'', CL_i)$  определяется клон с максимальной аффинностью к одному из стимулирующих антител.

Кластеризация антител происходит после проведения иммунного обучения в результате работы оператора  $ClusterSelection(AB_s'')$ , когда для каждого антитела из множества  $AB''$  определяется принадлежность к одному из новых классов по максимальной аффинности с одним из стимулирующих антител.

Завершающим этапом работы aiNETmc является вызов оператора формирования классифицированной сети антител  $NetFormation(AB', AB'')$ , которая получается путём объединения множеств  $AB^*$ ,  $AB'$  и  $AB''$ , полученных на подготовительном этапе работы модели. Таким образом, в результате работы модели aiNETmc производится не только классификация исходных объектов, но и формирование новых классов для объектов, которые не могут быть отнесены ни к одному из исходных классов.

### 3. Экспериментальные исследования

Тестирование предлагаемой модели классификации производилось на нескольких наборах исходных объектов. При этом наборы классифицируемых объектов различаются между собой по количеству объектов и по количеству признаков, характеризующих каждый объект. Характеристики наборов классифицируемых объектов представлены в табл. 1.

Каждый набор объектов использовался в качестве контрольной выборки для оценки точности

классификации иммунных алгоритмов. Основные различия между данными наборами состоят в количестве классов, размерности матрицы признаков и количестве объектов в наборе.

Таблица 1

Наборы классифицируемых объектов

Идентификатор	Количество элементов		Размерность матрицы признаков
	объектов	классов	
Тест 1	500	2	3×3
Тест 2	500	5	3×3
Тест 3	5000	20	6×6
Тест 4	20000	50	9×9

Для сравнения предлагаемой модели с другими иммунными моделями, применяемыми для решения задачи классификации наборов исходных объектов, приведенных в табл. 1, использовались модели CLONALG, ВСА и aiNET [2-5].

Таблица 2

Результаты классификации

Алгоритм		Тест 1	Тест 2	Тест 3	Тест 4
CLONALG	В	62.5 %	62.8 %	54.9 %	44.6 %
	К	2	5	21	53
	Т	70.9 %	71.0 %	69.2 %	64.5 %
ВСА	В	100 %	100 %	100 %	100 %
	К	2	5	20	50
	Т	99.8 %	99.7 %	99.1 %	98.7 %
aiNET	В	58.7 %	59.0 %	51.1 %	41.2 %
	К	2	5	24	46
	Т	63.9 %	64.1 %	56.5 %	52.7 %
aiNETmc	В	58.9 %	59.3 %	51.9 %	41.8 %
	К	2	5	20	50
	Т	99.1 %	99.3 %	98.5 %	97.9 %

Результаты классификации наборов данных, приведенных в табл. 1, с помощью перечисленных иммунных моделей, приведены в табл. 2, в которой используются следующие условные обозначения: «В» – характеризует быстродействие иммунного алгоритма, т.е. общее время, затраченное на классификацию исходной популяции антител; «К» – характеризует количество классов, выделенных в результате классификации; «Т» – характеризует специфичность классифицируемых антител по отношению к антигенам и точность их распределения по классам.

По результатам классификации исходных наборов данных, приведенных в табл. 1, алгоритм ВСА характеризуется наихудшим быстродействием при наилучшей точности классификации. Поэтому время, затрачиваемое на классификацию наборов данных алгоритмом ВСА, является абсолютным максимальным значением (100 %). При этом алгоритм ВСА характеризуется максимальным значением точности классификации, т.к. при обработке контрольных наборов объектов, результаты,

полученные при использовании данного алгоритма, практически полностью соответствуют эталонным результатам классификации (отклонение – 0.2 %). Поэтому ВСА является эталонным методом не только по времени работы, но и по точности классификации.

Исходя из результатов классификации наборов данных, приведенных в табл. 2, алгоритм CLONALG по быстродействию превосходит ВСА в среднем на 38-50 %, однако уступает ему по точности классификации на 30 %. Кроме того, использование CLONALG приводит к выделению неверного количества классов при увеличении количества объектов, либо увеличению количества признаков, характеризующих данные объекты. Следует отметить, что, несмотря на сравнительно невысокую точность, алгоритм CLONALG значительно превосходит эталонный алгоритм ВСА по быстродействию, что и обуславливает большую популярность CLONALG при решении различных практических задач.

При рассмотрении характеристик алгоритма aiNET, полученных в результате классификации исходных наборов данных, приведенных в табл. 2, данный алгоритм характеризуется минимальной точностью классификации, но максимальным быстродействием, т.е. для классификации указанных наборов объектов данному алгоритму требуется на 40-60 % меньше времени, чем эталонному алгоритму ВСА. Однако при использовании данного алгоритма значительно снижается точность результатов классификации (на 35 % по сравнению с ВСА). Кроме того, при увеличении количества классифицируемых объектов, либо увеличении количества их признаков, использование алгоритма aiNET приводит к повышению количества ошибок при определении количества классов для объектов, которые не могут быть отнесены ни к одному из исходных классов.

Из результатов классификации наборов объектов, приведенных в табл. 2, следует, что алгоритм aiNETmc по быстродействию сопоставим с алгоритмом aiNET, но значительно превосходит его по точности и сопоставим по данному параметру с алгоритмом ВСА. При этом по быстродействию алгоритм aiNETmc незначительно отличается от алгоритма aiNET (в среднем на 0,8-1 %), независимо от увеличения количества классифицируемых объектов, или увеличения количества признаков, характеризующих данные объекты. По быстродействию aiNETmc превосходит ВСА и CLONALG, но незначительно уступает лишь алгоритму aiNET. Следует отметить, что алгоритм aiNETmc по точности превосходит aiNET и CLONALG в среднем на 33-34 %. Таким образом, алгоритм aiNETmc является наиболее сбалансированным алгоритмом по сравнению с эталонными ВСА, CLONALG и aiNET.

### Выводы

В работе рассмотрено решение актуальной задачи автоматической классификации объектов на основе иммунного подхода. Предложенная модель классификации aiNETmc является модификацией модели искусственной иммунной сети aiNET. Для повышения быстродействия модель aiNETmc использует разделение исходного набора классифицируемых объектов на несколько множеств. Это позволяет снизить временные затраты на иммунное обучение для объектов, аффинности которых позволяют их классифицировать при использовании исходного набора классов. Использование принципа конкурентно-целевого отбора на этапе супрессии клонов и клонированных антител приводит к повышению скорости иммунного обучения на этапе классификации при использовании объектов обучающей выборки.

Для повышения скорости выделения кластеров из множества объектов, которые не могут быть отнесены ни к одному из исходных классов, в модели aiNETmc используется принцип стимулирующих антител, которые характеризуются максимальными аффинностями к остальным неклассифицированным антителам. При определении стимулирующих антител используются значения средних пороговых аффинностей между антигенами исходных классов. Благодаря этому все формируемые кластера не сливаются, т.е. не содержат общих объектов между собой и с исходными классами.

Из результатов экспериментов, проведенных при тестировании aiNETmc, следует, что предложенная модель превосходит большинство существующих иммунных моделей классификации по точности и сопоставима по данной характеристике с моделью ВСА. При этом модель aiNETmc по быстродействию и скорости иммунного обучения сопоставима с моделью aiNET, которая характеризуется наилучшим быстродействием. Таким образом, предложенная модель aiNETmc характеризуется хорошей сбалансированностью по основным характеристикам по сравнению с существующими иммунными моделями, используемыми при решении задачи автоматической классификации.

**Список литературы:** 1. *Gan G.* Data Clustering: Theory, Algorithms, and Applications / G. Gan, C. Ma, J. Wu // ASA-SIAM, Alexandria. – 2007. – 488 p. 2. *Dasgupta D.* Immuno-

logical computation, theory and applications / D. Dasgupta, L.F. Nino – CRC Press, 2009. – 298 p. 3. *Timmis J.* An Overview of Artificial Immune Systems / J. Timmis, T. Knight, L.N. de Castro, E. Hart // Natural Computation, Springer. – 2004. – P. 55-86. 4. *Watkins A.* New Classifier Based on Resource Limited Artificial Immune Systems / A. Watkins, L. Boggess // CEC '02. – 2002. – Vol. 02. – P. 146–151. 5. *Muwang C.* Application of Artificial Immune System Approach in MRI Classification / C. Muwang, C.T. Kuo, G.H. Chang // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2008. – P. 208-212. 6. *Кораблев Н.М.* Классификация объектов на основе искусственных иммунных систем / Н.М. Кораблев, А.А. Фомичев // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 6 (87). – С. 13-17. 7. *Фомичев А.А.* Оптимизация оператора мутации для иммунных методов группировки данных / А.А. Фомичев, С.А. Стец // Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке. – 2013 – Том 5. – С. 252-253. 8. *Кораблев Н.М.* Исследование иммунных операторов в задаче кластеризации объектов / Н.М. Кораблев, А.А. Фомичев // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2010. – №1 (72). – С. 70-74.

*Поступила в редколлегию 04.07.2014*

УДК 004.89

**Автоматична класифікація даних на основі моделі штучної імунної мережі** / М.М. Кораблев, О.О. Фомічов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 100–106.

У статті досліджується проблема автоматичної класифікації даних на основі моделі штучної імунної мережі. На етапі навчання системи використовується пропорційна мутація з посиленням на основі афінності далекого предка, і конкурентно-цільовий відбір клонів на етапі редагування мережі. При виділенні кластерів для об'єктів, які не можуть бути віднесені до жодного з вихідних класів, використовуються стимулюючі антитіла, які стають центрами сформованих кластерів.

Табл. 2. Бібліогр.: 8 найм.

UDC 004.89

**Automatic classification data based on the model of artificial immune network** / N.M. Korabljev, A.A. Fomichev // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 100–106.

This paper examines the problem of automatic classification of data based on the model of artificial immune network. During training system used is proportional to the mutation with increased affinity based on distant ancestor, and competitive selection of target clones on the editing stage network. When you select a cluster of objects that can not be attributed to any of the original class are used stimulating antibodies, which are formed by the centers of the clusters.

Tab. 2. Ref. : 8 items.

УДК 519.25+617.7



Е.В. Высоцкая, Ю.А. Демин, А.Н. Страшненко

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, diagnost@kture.kharkov.ua

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РИСКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ БОЛЕЗНЯМИ ГЛАЗА И ПРИДАТОЧНОГО АППАРАТА В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ УКРАИНЫ

В данной работе определен риск заболеваемости населения болезнями глаза и придаточного аппарата в различных регионах Украины. Наиболее благополучными с точки зрения заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата является Центрально-Северный и Западного регионов. В Центрально-Южном и Восточном регионах наблюдаются наиболее высокие уровни заболеваемости. Полученные результаты позволяют повысить качество оказания медицинских услуг населению за счет выявления и снижения негативно влияющих факторов в каждом регионе Украины.

РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, КОРРЕГИРУЮЩИЙ КОЭФФИЦИЕНТ, ИНФЕКЦИОННЫЙ РИСК, ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК, СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК

### Введение

Совершенствование медико-социальной помощи населению, повышение эффективности профилактической работы требуют изучения и анализа заболеваемости, которая является важнейшим критерием, характеризующим здоровье населения.

В структуре болезней населения Украины офтальмологическая патология составляет 5% от общего количества заболеваний и занимают шестое место, что позволяет отнести ее к одной из самых распространенных групп в структуре общей заболеваемости в Украине [1-4].

Изучение состояния, структуры и динамики показателей заболеваемости населения вследствие болезней глаза и его придаточного аппарата, ее медико-социальных аспектов, разработка основных направлений по предупреждению инвалидности и совершенствованию комплексной профилактики в условиях конкретной территории являются весьма актуальными.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является выявление рискообразующих факторов, обуславливающих заболеваемость населения Украины болезнями глаза и придаточного аппарата, оценка влияния каждого из выявленных факторов на риск заболеваемости ими в каждом из регионов страны с учетом квалификации лиц, ответственных за проведение профилактических мероприятий.

### 1. Определение риска заболеваемости населения болезнями глаза и придаточного аппарата в различных регионах Украины

Изучение динамики заболеваемости болезнями глаз и придаточного аппарата проводилась на основе данных Государственной службы статистики Украины.

Регионы были сформированы следующим образом:

1) Центрально-Южный регион – Киевская, Винницкая, Кировоградская, Одесская, Николаевская, Херсонская области и АР Крым;

2) Запорожский регион – Волынская, Ровенская, Львовская, Тернопольская, Ивано-Франковская, Закарпатская, Черновицкая области;

3) Восточный регион – Харьковская, Донецкая, Луганская, Днепропетровская, Запорожская области;

4) Центрально-Северный регион – Житомирская, Хмельницкая, Черкасская, Полтавская, Сумская, Черниговская области.

К категориям факторов риска, обуславливающих заболеваемость человека болезнями глаза и придаточного аппарата, относятся техногенные, инфекционные и социально-психологические. Экспертным методом были определены 5 рискообразующих факторов, которые закодированы следующим образом:

1 – увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

2 – увеличение количества заболевших некоторыми паразитарными и инфекционными заболеваниями;

3 – увеличение количества ВИЧ и СПИД инфицированных;

4 – уменьшение обеспеченности населения врачами;

5 – уменьшение обеспеченности населения больничными койками.

Согласно [5] риск заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе определяется как:

$$R_{2j} = (a_{r2j} \cdot r_{ij} + a_{u2j} \cdot r_{u2j} + a_{s2j} \cdot r_{s2j}) \cdot k_{2j},$$

где  $(a_{r2j} \cdot r_{ij} + a_{u2j} \cdot r_{u2j} + a_{s2j} \cdot r_{s2j}) \leq 1$ ,  $j = \overline{1, M}$ ,  $M$  – количество анализируемых регионов, шт.;  $R_{2j}$  – риск заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе, 2 – порядковый номер заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата среди всех возможных типов заболеваемости;  $r_{ij}$  – риск заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе, обусловленной воздействием техногенных факторов;  $r_{u2j}$  – риск

заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе, обусловленной воздействием инфекционных факторов;  $r_{s2j}$  – риск заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе, обусловленной воздействием социально-психологических факторов;  $a_{r2j}, a_{u2j}, a_{s2j}$  – весовые коэффициенты, отражающие вклад каждого из рассмотренных факторов в риск заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе;  $k_{2j}$  – корректирующий восстановительно-квалификационный коэффициент заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе, который согласно [5] определяется как:

$$k_{2j} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D k_{kd2j} \cdot (1 - k_{d2j}),$$

где  $0 \leq k_{2j} \leq 1$ ;  $d = \overline{1, D}$ ,  $D$  – количество разновидностей проводимых мероприятий для профилактики заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе;  $k_{d2j}$  – коэффициент изменения заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата за счет проведения профилактических (лечебных, политических, экономических, и др.) мероприятий в  $j$ -м регионе;  $k_{kd2j}$  – коэффициент квалификации лиц, ответственных за проведение профилактических мероприятий в  $j$ -м регионе.

Риск заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе, обусловленной воздействием одного типа риска, определяется как:

$$r_{2j} = I_{2j} \cdot P_{2j},$$

где  $P_{2j}$  – вероятность воздействия фактора риска на возникновение заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе;  $I_{2j}$  – величина ожидаемого воздействия фактора риска на возникновение заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе. Эта величина зависит от прогнозируемого изменения рискообразующего фактора и оценивается по шкале, предложенной в [6] (табл. 1).

Тогда риск заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата в  $j$ -м регионе, обусловленной воздействием каждой группы рискообразующих факторов определяется как:

$$r_{s2j} = \sum_{r=1}^R I_{r2j} \cdot P_{r2j} \tag{2}$$

где  $v = \overline{1, V}$  – порядковый номер техногенного фактора, оказывающего влияние на заболеваемость болезнями глаза и придаточного аппарата;  $V$  – количество техногенных факторов, оказывающих влияние на заболеваемость болезнями глаза и придаточного аппарата, шт.;  $l = \overline{1, L}$  – порядковый номер инфекционного фактора, оказывающего влияние на заболеваемость болезнями глаза и придаточного аппарата;  $L$  – количество инфекционных факторов, оказывающих влияние на заболеваемость болезнями глаза и придаточного аппарата, шт.;  $r = \overline{1, R}$  – порядковый номер социально-психологического фактора, оказывающего влияние на заболеваемость болезнями глаза и придаточного аппарата;  $R$  – количество социально-психологических факторов, оказывающих влияние на заболеваемость болезнями системы кровообращения, шт.

Полученные результаты оценки вероятности и величины ожидаемого воздействия факторов риска на заболеваемость населения болезнями глаза и придаточного аппарата в анализируемых регионах представлены в табл. 2.

Коэффициенты квалификации лиц, ответственных за проведение профилактических мероприятий,  $k_{kd2j}$ , рассчитаны на основании информации о кадровом обеспечении по данным автоматизированной базы данных ГП «Реестр медицинских, фармацевтических и научно-педагогических работников системы МОЗ Украины». При определении коэффициентов изменения заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата за счет проведения профилактических (лечебных, политических, экономических, и др.) мероприятий в  $j$ -м регионе,  $k_{d2j}$ ,

Таблица 1

Величина воздействия фактора риска на возникновение заболеваемости

Прогнозируемое изменение рискообразующего фактора, %	Величина воздействия фактора ( $I_{2j}$ )			
	Количественное описание		Значимость проявления (потери)	Качественное описание
	$I_{2j}$ , баллы	$I_{2j}$ , доли единицы		
0-0,99	1	$0,00 < I_{2j} \leq 0,10$	Низкие	Фактор риска воздействует на заболеваемость не более чем в 10% случаев
1-4,99	2	$0,10 < I_{2j} \leq 0,40$	Граничные	Ожидаемое воздействие фактора на развитие заболеваемости в интервале от 10% до 40%
5-19,99	3	$0,40 < I_{2j} \leq 0,60$	Существенные	Ожидаемое воздействие фактора на развитие заболеваемости в интервале от 40% до 60%
20-49,99	4	$0,60 < I_{2j} \leq 0,90$	Критические	Ожидаемое воздействие фактора на развитие заболеваемости в интервале от 60% до 90%
50-100	5	$0,90 < I_{2j} \leq 1,00$	Катастрофические	Воздействие фактора приводит к развитию заболеваемости

использована информация из комплексных планов основных организационно-методических, лечебно-профилактических, санитарно-противоэпидемических мероприятий главных управлений здравоохранения облгосадминистраций страны. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Для выявления факторов непереносимых рисков, которые требуется уменьшить, на основании данных табл. 2. были построены карты рисков заболеваемости населения болезнями глаза и придаточного аппарата в каждом из анализируемых регионов Украины (рис. 1–4).

На картах (рис. 1–4) цифрами обозначены рискообразующие факторы, согласно принятой выше кодировке. По оси ординат располагается вероятность воздействия фактора риска на возникновение заболеваемости болезнями системы кровообращения в  $j$ -м регионе,  $P_{2j}$  (1 – слабо вероятный, 2 – маловероятен, 3 – вероятный, 4 – весьма вероятно, 5 – почти возможный). По оси абсцисс – величина влияния фактора риска,  $I_{2j}$  (1 – незначительный риск, 2 – предельный, 3 – существенный, 4 – критический, 5 – катастрофический).

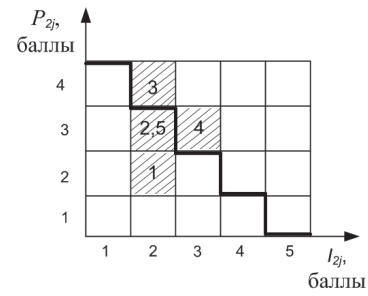


Рис. 1. Карта рисков заболеваемости населения для Центрально-Южного региона

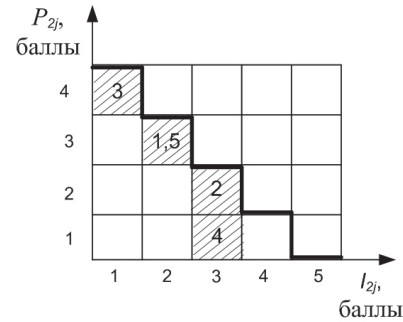


Рис. 2. Карта рисков заболеваемости населения для Западного региона

Таблица 2

Вероятность и величина ожидаемого воздействия факторов риска на заболеваемость населения болезнями глаза и придаточного аппарата в анализируемых регионах

Категория факторов риска	Весовые коэффициенты $a_{2j}$	№ фактора риска	№ региона	Вероятность риска заболеваемости, $P_{2j}$		Величина ожидаемого воздействия фактора риска, $I_{2j}$	
				$P_{2j}$ , доли единицы	$P_{2j}$ , баллы	$I_{2j}$ , доли единицы	$I_{2j}$ , баллы
Техногенные	0,25	1	1	0,33	2	0,39	2
			2	0,42	3	0,40	2
			3	0,25	2	0,42	3
			4	0,50	3	0,28	2
Инфекционные	0,6	2	1	0,67	3	0,31	2
			2	0,25	2	0,45	3
			3	0,67	4	0,40	2
			4	0,58	3	0,25	2
		3	1	0,75	4	0,30	2
			2	0,75	4	0,10	1
			3	0,75	4	0,50	3
			4	0,75	4	0,10	1
Социально-психологические	0,15	4	1	0,52	3	0,60	3
			2	0,10	1	0,47	3
			3	0,40	2	0,37	2
			4	0,75	4	0,40	2
		5	1	0,60	3	0,27	2
			2	0,47	3	0,40	2
			3	0,67	4	0,10	1
			4	0,80	4	0,17	2

Таблица 3

Корректирующий восстановительно-квалификационный коэффициент по регионам

№ региона	Коэффициент квалификации, $k_{kd2j}$	Коэффициент изменения заболеваемости, $k_{d2j}$	Корректирующий восстановительно-квалификационный коэффициент заболеваемости, $k_{2j}$
1	85,29	0,98	0,79
2	81,56	0,96	0,84
3	83,93	0,98	0,82
4	81,00	0,92	0,75

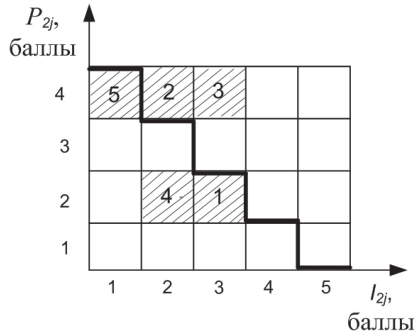


Рис. 3. Карта рисков заболеваемости населения для Восточного региона

На заключительном этапе по формуле 1 были определены риски заболеваемости населения болезнями глаза и придаточного аппарата в каждом из регионов. Полученные значения рисков занесены в табл. 4.

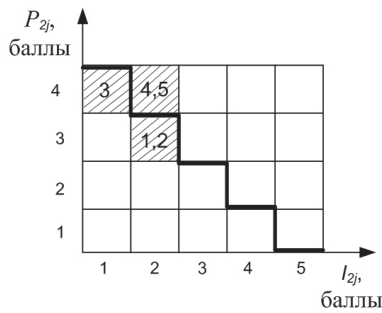


Рис. 4. Карта рисков заболеваемости населения для Центрально-Северного региона

Таблица 4

Риски заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата

№ региона	Риск, $R_{2j}$
1	0,23
2	0,13
3	0,34
4	0,12

**Выводы**

Таким образом, было установлено, что наиболее благополучным, с точки зрения риска заболеваемости болезнями глаза и придаточного аппарата, являются Центрально-Северный и Западный регионы. Наиболее высокие уровни заболеваемости наблюдаются в Центрально-Южном и Восточном регионах.

В результате анализа построенных карт риска была выявлена необходимость разработки комплекса профилактических мероприятий по уменьшению инфекционных факторов в Восточном регионе и Центрально-Южном, социально-психологических рискообразующих факторов в Центрально-Южном, и Центрально-Северных регионах.

Полученные результаты позволяют специалистам в здравоохранении не только системно представить риск заболеваемости, но и предоставляют возможность повысить качество оказания

медицинских услуг населению за счет выявления и снижения негативно влияющих на здоровье человека факторов в каждом регионе Украины.

**Список литературы:** 1. Максимова Т.М. Современные проблемы и перспективы оценки здоровья населения как основа реформирования здравоохранения // Пробл. Соц. гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2000. – №5. – С. 9-15. 2. Ковтун Н.В., Черемухина О.М. Статистическая оценка распространенности офтальмологических заболеваний среди взрослого сельского населения Украины: региональный аспект [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.econom.univ.kiev.ua/articles/statdemo/kovtun/statistical\\_estimation\\_of\\_the\\_ophthalmology\\_diseases\\_in\\_ukraine.pdf](http://www.econom.univ.kiev.ua/articles/statdemo/kovtun/statistical_estimation_of_the_ophthalmology_diseases_in_ukraine.pdf) 3. Коновалова Н.А., Курзаева Н.С. Экономическая эффективность профосмотров населения на глаукому // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2001. – № 1. – С. 126. 4. Щепетнева М.А. Экологические и иммунологические аспекты атогенеза, клиники, лечения и профилактики сосудистых и дистрофических поражений сетчатой оболочки: Автореф. дисс. д.м.н. – М., 1999 – 41 с. 5. Высоцкая Е.В. Метод определения риска заболеваемости населения в различных регионах Украины // Уральский научный вестник. – Уралск (Казахстан), 2014. – № 9 (88). – С. 84-91. 6. Артамонов А.А. Функции управления рисками в процессе реализации инвестиционных строительных проектов. – Режим доступа: <http://proriskman.narod.ru/files/dissertation.pdf>

Поступила в редколлегию 12.09.2014

УДК 519.25+617.7

**Визначення ризику захворюваності населення хворобами ока та придаткового апарату в різних регіонах України** / О.В. Висоцька, Ю.А. Дьомін, Г.М. Страшненко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 107–110.

Дана робота присвячена визначенню ризику захворюваності населення хворобами ока та придаткового апарату в різних регіонах України. З точки зору захворюваності населення хворобами ока найбільш благополучними є Центрально-Північний та Західний регіони. Побудовані карти ризику захворюваності населення для кожного регіону. В результаті аналізу карт виявлено необхідність розробки комплексу профілактичних заходів щодо зменшення інфекційних чинників в Східному та Центрально-Південному регіонах, соціально-психологічних факторів в Центрально-Південному та Центрально-Північному регіонах.

Табл. 4. Л. 4. Бібліогр.: 6 найм.

UDC 519.25+617.7

**Determination of the risk of morbidity for eye disease in different regions of Ukraine** / E.V. Vysotskaya, Y.A. Demin, A.N. Strashnenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 107–110.

In this paper we determined the risk of morbidity for eye disease in different regions of Ukraine. North Central and West regions is the most favourable in terms of morbidity diseases of the eye disease. The highest morbidity are observed in the Central- Southern and Eastern regions. Maps morbidity risk for each region are constructed. An analysis of maps, development of a set of preventive measures to reduce the infectious agents in East and Central-South regions, socio-psychological factors in Central and South Central regions of the North are very necessary.

Tab. 4. Fig. 4. Ref.: 6 items.



А.В. Михнова<sup>1</sup>, Д.А. Имшенецкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, mikhnova@kture.kharkov.ua

<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, imsheknure@kture.kharkov.ua

## МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕБНОГО ПЛАНА ПОДГОТОВКИ В ВУЗЕ

Предложен метод оценивания эффективности учебного плана, основанный на экспертном подходе к анализу соответствия выпускника ВУЗа сформированной компетентностной модели. Метод строится на основе множественного подхода. Обобщенный критерий учитывает показатели дублирования, избыточности, отсутствия требуемых содержательных модулей дисциплин в учебном плане. Вводится система штрафных баллов и весовых коэффициентов критичности ошибки наличия неактуального модуля в дисциплине плана.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН, МОДУЛЬ ДИСЦИПЛИНЫ ПЛАНА, КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ, ЭКСПЕРТНЫЙ АНАЛИЗ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ, МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ

### Введение

**Постановка проблемы.** Непрерывное образование является основой жизни современного человека, определяя условия его профессиональной мобильности, развития творческого и профессионального потенциала. В центре качества образования – качество его содержания и качество воспитания будущих специалистов [1].

Одной из основных проблем действующей системы образования в Украине является обеспечение соответствия уровня квалификации выпускаемого ВУЗом специалиста и уровня знаний, навыков и умений, необходимых представителям предприятий для решения их повседневных задач. Порядок организации и наполнения учебного процесса регламентируется действующими стандартами Министерства образования и науки Украины и во многом определяется внутренней политикой целевого ВУЗа (научным направлением деятельности выпускаемой кафедры, профессорско-преподавательским составом, состоянием научно-технической базы ВУЗа и т.п.). Действующие стандарты высшего образования такие как образовательно-квалификационная характеристика (ОКХ) и образовательно-профессиональная программа (ОПП), декларируют получение перечня базовых знаний, навыков и умений специалистом в рамках подготовки по заданному направлению или специальности. В соответствии с декларируемым перечнем знаний, навыков и умений определяется совокупность изучаемых дисциплин. ОПП определяет нормативное содержание учебного плана. Право свободного выбора дисциплин остается за ВУЗом, выпускающей кафедрой и студентом в размере 30% от общего объема изучаемых дисциплин. Таким образом, задача организации качественного учебного процесса в ВУЗе сводится к формированию списка дисциплин в соответствии с действующими стандартами высшего образования Украины и требуемого уровня компетентности

будущего специалиста со стороны работодателей. Документом, регламентирующим данный процесс и обеспечивающим его выполнение, является учебный план (УП).

УП разрабатывается для каждого направления и специальности на основе образовательно-профессиональной программы и структурно-логической схемы подготовки бакалавров, специалистов и магистров, базируясь на установленном графике учебного процесса в ВУЗе, а также указывает порядок изучения учебных дисциплин и форм итоговой аттестации.

Качество учебного плана – это совокупность количественных и качественных показателей, отражающих степень соответствия компетентности, получаемой в ходе обучения. Качество УП характеризует степень достижения множества целей и задач подготовки специалиста.

Актуальность исследования методики оценивания качества сформированного учебного плана в рамках задачи повышения качества образования в целом обусловлена следующими факторами:

- необходимостью организации стратегического планирования учебного процесса в условиях постоянно изменяющихся требований заинтересованных сторон (государства, работодателя, ВУЗа и студента);

- необходимостью приобретения актуальных (соответствующих современному состоянию развития науки и техники) знаний, навыков и умений будущим специалистом;

- необходимостью исключения влияния при формировании учебного плана субъективных факторов со стороны лиц, принимающих решение.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На данный момент существует множество разработанных и описанных технологий оценивания качества образования как сложного бизнес – процесса деятельности ВУЗа. Организация качественного процесса обучения студента позволяет повысить

уровень конкурентоспособности ВУЗа, обеспечить потребности в высококвалифицированных специалистах в различных сферах деятельности человека.

В работе [2] подробно описана модель учебного плана, построенного на основе требований стандартов нового поколения. Предложенная модель УП базируется на использовании компетентно-ориентированного подхода к организации процесса планирования учебного процесса в ВУЗе. В работе перечислены семь основных принципов, которые лежат в основе предлагаемой модели; описана процедура формирования учебного плана в соответствие с предложенной моделью.

В работе [3] уделено внимание изучению проблемы качества учебного процесса в ВУЗе для последующей оценки в виде интегрального показателя по множеству критериев. Качество образования можно представить в виде совокупности взаимосвязанных компонентов, среди которых выделить следующие:

- качество получаемых в процессе изучения определенной дисциплины (совокупности дисциплин) знаний, приобретаемых умений и навыков, а также способности студентов использовать полученные знания, заинтересованность и готовность к их применению;

- соответствие учебного процесса целям профессиональной подготовки, а содержание конкретной дисциплины – действующим стандартам, учебно-методическому комплексу;

- активность студентов на учебных занятиях;

- наличие и проявление мотивации к обучению;

- стремление к саморазвитию и самосовершенствованию;

- применение преподавателем в процессе обучения активных методов в рамках информационных технологий;

- использование современных достижений науки (педагогика, профильных наук), собственных научных разработок.

Особое внимание уделяется описанию внешних и внутренних факторов, оказывающих непосредственное влияние на качество образовательного процесса ВУЗа. Ключевым аспектом работы является формирование оценки качества образования в целевом ВУЗе в виде интегральной оценки по множеству критериев (локальных показателей):

- критерия соответствия материально-вещественных ресурсов образовательного учреждения требованиям организации учебного процесса с использованием прогрессивных технологий обучения специалистов с учетом специфики обучения;

- критерия соответствия качественного состава, учебно-методической и научной степени активности преподавательского состава потребностям

формирования на заданном уровне основных компетенций специалиста;

- критерия наличия возможности организации экспертизы при оценке деятельности конкретного преподавателя;

- критерия соответствия качественных характеристик подготовки студентов по дисциплинам учебного плана установленным значениям, формирование профессионально значимых компетенций и их соответствие требованиям профессиональной подготовки специалиста;

- критерия развития мотивации студентов и преподавателей к постоянному повышению качества обучения, стимулирования творческой самостоятельной деятельности преподавателей и студентов на учебных занятиях и при подготовке к ним;

- критериев оценивания и самооценивания деятельности преподавателей и студентов в процессе обучения.

## 1. Постановка задачи

В существующих работах авторами в подробном виде представлены теоретические и практические знания в области организации и оценивания качества учебного процесса ВУЗа. Однако следует отметить, что в работах недостаточно внимания уделено методике формирования количественной и качественной оценки содержания учебного плана, как документа, регламентирующего учебный процесс в ВУЗе. При этом важным моментом при оценивании качества сформированного учебного плана является ориентация содержания УП на требования целевых работодателей.

Таким образом, целью настоящей работы является разработка методики оценивания качества сформированного учебного плана с учетом формализованных требований работодателей к перечню знаний, навыков и умений будущего специалиста.

## 2. Основной материал и результаты

Представленное понятие качества учебного плана непосредственно связано с понятиями: компетентность, знания, навыки и умения.

Компетентность — это наличие знаний, навыков и умений, необходимых для эффективной деятельности в заданной предметной области.

Знание — это теоретически обобщенный общественно-исторический опыт, результат овладения человеком действительности, ее познания.

Навык — это действие, сформированное путем повторения и характеризуется высокой степенью постижения знаний.

Умение — это основанная на знаниях и навыках готовность человека успешно выполнять определенную деятельность.

Перечень требуемых компетенций будущего специалиста формируется представителями

целевых предприятий (работодателями). Одной из основных проблем является сложность формирования единого списка компетентностей для множества предприятий и множества вакантных должностей в силу наличия специфики деятельности каждой компании при реализации конкретных проектов. Это также касается сферы информационных технологий (ИТ). Так, например, быстрое развитие ИТ рынка, и как следствие изменение используемых методологий, технологий и языков проектирования/программирования влечет за собой изменение требований к перечню компетентностей специалиста со стороны компаний сферы ИТ, что также является проблемой при формировании учебного плана на долгосрочный период.

Одним из методов решения данной проблемы является проведение экспертного анализа и оценивания актуальных требований к перечню компетентностей выпускаемого специалиста. В состав группы экспертов могут входить представители средних и крупных компаний, работники учебно-методического отдела ВУЗа, преподаватели выпускающей кафедры и другие заинтересованные лица. После проведения экспертной оценки с использованием одного из известных методов (метод ассоциаций, метод парных (непарных) сравнений, метод векторных предпочтений, метод фокальных объектов и т.д.) может быть получен некоторый список актуальных компетентностей, которыми должен обладать будущий специалист. В терминах теории множеств перечень требуемых компетентностей можно определить в виде множества  $C$ .

$$C = (C_1, C_2, C_m \dots C_M),$$

где  $C_m$  – требуемая компетентность, определенная в ходе экспертного оценивания;  $M$  – количество выделенных группой экспертов базовых компетентностей специалиста;  $m$  – порядковый номер компетентности,  $m \in (1, M)$ .

Каждая из компетентностей множества  $C$  имеет соответствующий весовой коэффициент, значение которого отражает относительную важность наличия того или иного знания, навыка и умения у будущего специалиста. Конкретные значения весовых коэффициентов определяется также путем экспертного оценивания, и нормируются в интервале от 0 до 1. Совокупность весовых коэффициентов можно выразить в виде множества  $U$ .

$$U = (U_1, U_2, U_m \dots U_M),$$

где  $U_m$  – весовой коэффициент компетентности  $C_m$ , при этом  $\sum_{m=1}^M U_m = 1$ ;  $M$  – количество выделенных группой экспертов базовых компетентностей специалиста;  $m$  – порядковый номер компетентности,  $m \in (1, M)$ .

Учебный план состоит из нормативной и вариативной части. Нормативная часть УП декларирует

получение базового для специалиста перечня компетентностей в рамках направления/специальности подготовки согласно действующим стандартам образования. Вариативная часть УП обеспечивает получение студентом специфических знаний, умений и навыков ориентируясь на требования целевых предприятий. Тем не менее, нормативная часть УП также формируется с учётом современных требования рынка труда, а значит и множества требований различных предприятий. Таким образом, при формировании вариативной части УП необходимо учитывать содержание нормативной части УП с целью исключения дублирования изучаемого материала и организации эффективного учебного процесса в целом. Перечень компетентностей декларируемых нормативной частью УП можно представить в виде множества  $S$ .

$$S = (S_1, S_2, S_n \dots S_N),$$

где  $S_n$  – компетентность, декларируемая стандартами высшего образования;  $N$  – количество компетентностей будущего специалиста декларируемых стандартами образования;  $n$  – порядковый номер компетентности,  $n \in (1, N)$ .

Перечень требуемых компетентностей будущего специалиста, определяющий содержание вариативной части УП, можно представить в виде разности двух множеств  $C$  и  $S$ . Результирующее множество  $X$  содержит перечень компетентностей исключая дублирование дисциплины нормативной части УП и удовлетворяющие потребности целевых компаний.

$$C/S = X = (X_1, X_2, X_l \dots X_L),$$

где  $X_l$  – отсутствующая в нормативной части УП компетентность будущего специалиста;  $L$  – количество компетентностей будущего специалиста, определяющие содержание вариативной части УП, при этом  $L \leq M$ ;  $l$  – порядковый номер компетентности,  $l \in (1, L)$ .

Так как количество компетентностей после выполнения операции разности над множествами  $C/S$  может сократиться  $L \leq M$ , необходимо пронормировать значение весовых коэффициентов  $U_m$  с учетом конечного перечня компетентностей  $X$ .

$$U'_l = \frac{U_m}{\sum_{m=1}^L U_m},$$

где  $U'_l$  – пронормированный весовой коэффициент относительно старого значения  $U_m$ ;  $L$  – количество компетентностей будущего специалиста, определяющие содержание вариативной части УП, при этом  $L \leq M$ ;  $m$  – порядковый номер компетентности,  $m \in (1, L)$ .

Совокупность новых весовых коэффициентов можно выразить в виде множества  $U'$ .

$$U' = (U'_1, U'_2, U'_l \dots U'_L),$$

где  $U'_l$  – весовой коэффициент компетентности  $x_l$ , при этом  $\sum_{l=1}^L U'_l = 1$ ;  $L$  – количество выделенных группой экспертов базовых компетентностей специалиста;  $l$  – порядковый номер компетентности,  $l \in (1, L)$ .

Согласно принятой гибкой множественной модели [4] учебный план можно представить в виде совокупности взаимосвязанных дисциплин. В первом приближении содержание вариативной части УП можно представить в виде множества дисциплин  $D$ :

$$D = (d_1, d_2, d_v \dots d_V),$$

$d_i$  – дисциплина вариативной части УП;  $v$  – порядковый номер дисциплины,  $s \in (1, S)$ ;  $V$  – общее количество дисциплин вариативной части УП.

Дисциплина – это уникальный поименованный объект, содержание которого позволяет субъекту познаний овладеть соответствующим перечнем знаний, умений и навыков.

Строгое сопоставление компетентностей и дисциплин в явном виде не позволяет оценить качество сформированной вариативной части УП. При оценивании качества УП необходимо учитывать наличие дублирования изучаемого материала, изучение неактуальных содержательных модулей, отсутствие требуемых содержательных модулей в различных дисциплинах. Следовательно, дисциплину необходимо представлять в виде множества содержательных модулей:

$$d = (m_1, m_2, m_k \dots m_K),$$

где  $m_k$  – содержательный модуль дисциплины вариативной части УП;  $k$  – порядковый номер содержательного модуля,  $k \in (1, K)$ ;  $K$  – общее количество содержательных модулей дисциплин.

Взаимосвязь между компетентностями и содержательными модулями определяет группа экспертов на основании анализа содержания дисциплин и требуемого перечня компетентностей  $X$ . В состав группы экспертов входят ведущие преподаватели выпускающей кафедры. На основе полученных результатов формируется табличная функция  $F(x)$  зависимости компетентности от содержательного модуля, которую также можно представить в виде множества кортежей «компетентность – содержательный модуль»:

$$F(x) = (\{x_1, m_1\}, \{x_2, m_2\}, \{x_l, m_k\} \dots \{x_L, m_K\}),$$

где  $\{x_l, m_k\}$  – кортеж «компетентность – содержательный модуль»;  $L$  – количество выделенных группой экспертов уникальных компетентностей специалиста;  $K$  – общее количество содержательных модулей дисциплин;  $l$  – порядковый номер компетентности,  $l \in (1, L)$ ;  $h$  – порядковый номер содержательного модуля,  $h \in (1, H)$ .

Табличная функция  $F(x)$  может быть также представлена в виде матрицы смежности для обеспечения последующей обработки с помощью вычислительных средств. Пример матрицы смежности для вариативной части УП представлен на рис. 1.

При использовании табличной функции  $F(x)$  стоит принять допущение, что одной компетентности  $x_l$  соответствует один содержательный модуль  $m_k$ . Принятая аксиома позволяет нам сформировать ряд локальных критериев при оценивании оптимального содержания вариативной части УП.

	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$	$m_6$	$m_7$	$m_8$
$x_1$	1	0	0	1	0	0	0	1
$x_2$	0	1	0	0	0	0	0	0
$x_3$	0	1	0	0	0	0	0	1
$x_4$	0	0	0	0	1	1	0	0
$x_5$	1	1	0	0	0	0	0	0
$x_6$	1	1	0	0	0	0	1	0
$x_7$	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 1. Матрица смежности соответствия компетентностей и содержательных модулей

Формально задача оценивания качества сформированной вариативной части УП сводится к анализу содержания дисциплин и формировании интегральной оценки с целью определения текущего уровня подготовки специалиста и соответствия уровня его квалификации современным требованиям целевых компаний. Пример содержания вариативной части в виде матрицы смежности представлен на рис. 2.

	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$	$m_6$	$m_7$	$m_8$
$d_1$	1	0	0	1	0	0	0	1
$d_2$	0	1	0	0	0	0	0	0
$d_3$	0	1	0	0	0	0	0	1
$d_4$	0	0	0	0	1	0	0	0
$d_5$	1	1	0	0	0	0	0	0
$d_6$	1	1	0	0	0	0	1	0
$d_7$	0	0	1	0	0	0	0	0
$d_8$	0	0	1	0	0	0	0	0

Рис. 2. Матрица смежности соответствия дисциплин и содержательных модулей

При оценивании содержания сформированной вариативной части УП вводится система штрафных баллов. Данная система предполагает начисление штрафных баллов в случае отсутствия содержательных модулей требуемых для получения компетентности из множества  $X$ ; наличия дублирования содержательных модулей в разных

дисциплинах; изучение содержательных модулей направленных на получение других компетентностей не входящие в состав множества  $X$ .

Значения штрафных баллов нормируются и начисляются в кратном размере в случае многократного повторения ошибки формирования учебного плана. Каждому из локальных критериев назначается весовой коэффициент, отражающий критичность ошибки формирования учебного плана.

Значение весовых коэффициентов назначается группой экспертов, в состав которых входят работники выпускающей кафедры и представители учебно-методического отдела ВУЗа. В общем виде критерий качества сформированной вариативной части УП можно представить в следующем виде:

$$Q(x) = (u_{db} * \sum_{k=1}^K a_k * p_k) + (u_{ex} * \sum_{k=1}^K b_k * p_k) + (u_{np} * \sum_{l=1}^L e_l * u'_l),$$

где  $u_{db}$  – весовой коэффициент ошибки дублирования содержательных модулей в различных дисциплинах;  $u_{ex}$  – весовой коэффициент ошибки изучения не требуемых содержательных модулей;  $u_{np}$  – весовой коэффициент ошибки отсутствия требуемых содержательных модулей;  $u'_k$  – весовой коэффициент важности компетентности соответствующей содержательному модулю  $m_k$ ;  $a_k$  – булева переменная, принимающая значение «1» если в УП присутствует дублирование содержательного модуля  $m_k$  и «0» в противном случае;  $b_k$  – булева переменная, принимающая значение «1» если в УП присутствуют не требуемый содержательный модуль  $m_k$  и «0» в противном случае;  $e_k$  – булева переменная, принимающая значение «1» если в УП отсутствует требуемый содержательный модуль  $m_k$  и «0» в противном случае;  $p_k$  – показатель кратности ошибки для содержательного модуля  $m_i$ ;  $k$  – порядковый индекс ошибки,  $k \in (1, K)$ ;  $K$  – общее количество содержательных модулей.

Тогда под эталонным качественным планом принимается случай:

$$\lim_{x \rightarrow M} Q(x) = 0,$$

где  $Q(x)$  – функция качества сформированной вариативной части УП;  $M$  – общее количество требуемых компетентностей будущего специалиста со стороны целевых предприятий.

Анализ наихудшего варианта (низкого качества сформированной вариативной части УП) показывает, что функция  $Q(x)$  может принимать граничное значение:

$$\lim_{x \rightarrow L} Q(x) = 2 * K * V + L,$$

где  $Q(x)$  – функция качества сформированной вариативной части УП;  $K$  – общее количество содержательных модулей;  $S$  – общее количество дисциплин.

Таким образом, ранжируя значения функции в границах  $Q(x) \in [0, 2 * K * V + L]$  можно определить интервалы для оценивания качества УП в терминах нечеткой логики.

Методика оценивания качества вариативной части сформированного УП может быть применена в двух вариантах реализации:

1. Анализ вариативной части сформированного учебного плана. Расчет показателя  $Q(x)$  и сравнение с ранжированными значениями для последующего анализа уровня качества учебного плана в частности, и подготовки будущего специалиста в целом. Ранжирование значений также осуществляется группой экспертов, в которую входят представители учебно-методической отдела ВУЗа и преподаватели выпускающей кафедры в пределах области допустимых значений  $Q(x) \in (0, 2 * K * V + L)$ .

Например, при  $Q(x) \in [0, g_1)$  можно говорить о высоком уровне подготовки специалиста, следовательно, и образовательного процесса в целом. При  $Q(x) \in [g_1, g_2)$  следует сделать вывод об удовлетворительном качестве сформированного УП, однако следует уделить внимание содержанию вариативной части с целью повышения качества подготовки будущего специалиста. Подобным образом можно ранжировать значения  $Q(x)$  для обозначения качественного показателя качества учебного плана  $Q(x) \in [g_p, g_p)$ .

В худшем случае при  $Q(x) \in [g_p, 2 * K * V + L]$  следует говорить о неудовлетворительном уровне качества сформированного УП и следует пересмотреть содержание вариативной части УП с целью обеспечения перечня компетентностей специалиста в большем объеме.

2. Решение обратной задачи: поиск оптимального перечня дисциплин, включающий необходимые содержательные модули, которые обеспечивают получение студентом требуемого списка компетентностей.

Под оптимальным решением понимается совокупность упорядоченных дисциплин, обеспечивающие минимально возможное значение целевой функции  $Q(x)$  при выполнении исходных нормативных требований к УП. Алгоритм работы метода предполагает полный перебор матрицы смежности и вычисление целевого критерия  $Q(x)$ .

Стоит отметить также, что в данном случае процесс выполнения принятия решения возможен в области компромиссов, и требует отдельной формализации с использованием математического обеспечения теории принятия решения.

## Выводы

Предлагаемая методика оценивания эффективности учебного плана базируется на анализе содержания дисциплин и формировании интегральной

оценки с целью определения текущего уровня подготовки специалиста и соответствия уровня его квалификации современным требованиям целевых компаний.

**Список литературы:** 1. Высшее образование в Украине. Режим доступа: [http://society.lb.ua/education/2011/06/11/100814\\_v\\_ukraine\\_na\\_800\\_vuzov\\_bolshem\\_.html/](http://society.lb.ua/education/2011/06/11/100814_v_ukraine_na_800_vuzov_bolshem_.html/) – 11.07.2012 – заголовок с экрана. 2. Формализованные модели учебного плана. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/506173.html/> – 16.03.2010 – заголовок с экрана. 3. Системы автоматизации в ВУЗе. – Режим доступа: <https://greenhouse.lotus.com/plugins/plugincatalog.nsf/assetDetails.xsp?action=openDocument&documentId=01A813809B2AD1A8852576E8001E76F5/> – 16.03.2010 – заголовок с экрана. 4. Керносов М.А. Гибкая множественная модель учебного плана в подсистеме планирования и контроля учебного процесса ИАС ВУЗа / М.А.Керносов, А.В.Михнова, Д.А.Имшенецкий // Радиоелектроніка Інформатика Управління. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013 – № 1 (28). – С. 66-71.

*Поступила в редколлегию 12.06.2014*

УДК 004.02:519.81:65.012:378.14

**Метод оцінювання ефективності навчального плану підготовки у ВНЗі** / А.В. Михнова, Д.О. Имшенецкий // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 111–116.

В статті розроблено методику оцінювання ефективності навчального плану, який має враховувати інтегральну оцінку відповідності рівню сучасних компетентностей фахівців. Запропонована методика дає можливість формувати навчальний план, адаптований до вимог роботодавця.

Л. 2. Бібліогр.: 4 найм.

UDK 004.02:519.81:65.012:378.14

**Method for evaluation the effectiveness of the curriculum in the university training** / A.V. Mikhnova, D.A. Imshenetsky // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 111–116.

In the article the method of evaluating the effectiveness of the curriculum, which should take into account the integrated assessment of compliance to level of advanced expert's competences, is proposed. The method makes it possible to form a curriculum which adapted to the requirements of the employer.

Fig. 2. Ref.: 4 items.

УДК 519.63:532.5:004.942:681.518.5



А.П. Сафоник<sup>1</sup>, І.М. Таргоній<sup>2</sup>

Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна, safonik@ukr.net

Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна, tamplier.targoniy.93@ukr.net

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ МАГНІТНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Розв'язано модельну задачу типу „конвекція-масообмін” для процесу очищення водних середовищ у зернистому намагніченому фільтруючому матеріалі. Виконано математичний аналіз параметрів і моделі процесу магнітного осадження домішок. Розроблено систему автоматизації процесу постійного очищення води від магнітних домішок.

МАГНІТНЕ ОСАДЖЕННЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРУВАННЯ

### Вступ

Технологічні водні системи багатьох галузей промисловості, як відомо, забруднені різного роду домішками. Гостро ця проблема стоїть в тепловій і атомній енергетиці (ТЕЦ, ТЕС, АЕС), хімічній, металургійній, скляній, спиртовій, керамічній, авіаційній промисловостях. Основною причиною наявності домішок у водних технологічних системах є неперервна корозія технологічного та комунікаційного обладнання. В оборотних (стічних) водах металургійних виробництв концентрація диспергованої окалини сягає 100 мг/л, при нормі 10 мг/л. Така висока концентрація окалини призводить до швидкого зносу технологічного обладнання, погіршення якості продукції, що випускається. Для видалення феромагнітних домішок з технологічних водних систем запропоновано використовувати метод магнітного осадження домішок в намагніченому зернистому фільтруючому матеріалі. Перевагами даного методу є можливість очищення водного середовища з температурою до 500 °С, швидкістю фільтрування до 1000 м/год, можливість очищати хімічно агресивні середовища. Регенерація зернистих феромагнітних фільтруючих матеріалів не потребує хімічних реагентів, що робить метод магнітного очищення екологічно безпечним.

### 1. Аналіз досліджень і публікацій

Численними дослідженнями встановлено, що основна маса домішок є залізовмісними з феромагнітними властивостями [1, 2, 4, 7]. Відкладення домішок на парогенеруючих поверхнях котлів теплових станцій в кількості всього 200-300 г/м<sup>2</sup>, що відповідає товщині відкладень 0,3-0,5 мм, обумовлює додатковий перегрів труб на 50-120 °С, що в окремих випадках призводить до перепалів та розривів труб.

Відомі експериментальні дослідження з визначення впливу параметрів процесу магнітного очищення на коефіцієнт магнітного осадження,

концентрацію залізовмісних домішок, період фільтроциклу [1, 2, 7]. Актуальною задачею є математичний аналіз параметрів та моделювання процесу магнітного осадження домішок при очищенні як багатоконцентрованих, так і малокоцентрованих водних систем та автоматизація відповідного процесу очищення.

### 2. Постановка задачі

Розглянемо просторово-одновимірний процес очищення рідини шляхом фільтрування у шарі зернистого фільтруючого матеріалу товщиною  $L$  (що ототожнюється з відрізком  $[0, L]$  осі  $0x$ ). Припускаємо [3, 5], що частинки забруднення (домішки) можуть переходити з одного стану в інший (процеси захоплення-відриву) і, при цьому, має місце зворотній вплив відповідних концентрацій на характеристики розглянутого шару. Відповідний процес фільтрування з урахуванням зворотного впливу характеристик процесу (концентрації забруднення рідини й захоплених частинок) на характеристики середовища (коефіцієнти пористості, фільтрації, масообміну, напруженості магнітного поля) за аналогією з [2-5]) опишемо наступною модельною задачею:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\sigma(\rho)c(x,t))}{\partial t} + \frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t} + v \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t} = \beta(H, v, d)c(x,t) - \epsilon \alpha(\rho)\rho(x,t), \end{cases} \quad (1)$$

$$c|_{x=0} = c^*(t), \quad c|_{t=0} = 0, \quad \rho|_{x=0} = 0, \quad \rho|_{t=0} = 0, \quad (2)$$

$$v = \kappa(\rho) \cdot \text{grad } p, \quad (3)$$

де  $c(x,t)$  – концентрація домішок в рідкому середовищі, що фільтрується;  $\rho(x,t)$  – концентрація домішок, осаджених у зернистому фільтруючому матеріалі;  $\beta$  – коефіцієнт, що характеризує масові обсяги осадження домішкових частинок за одиницю часу

$(\beta(H, v, d) = \frac{\beta_0 H^{0.75}}{vd^2}$  [7], де  $\beta_0$  – вільний параметр,  $H$  – напруженість магнітного поля,  $v$  – швидкість

фільтрування,  $d$  – діаметр гранул фільтруючого матеріалу),  $\alpha(\rho, H)$  – коефіцієнт, що характеризує масові обсяги відірваних за той же час від гранул фільтруючого матеріалу домішкових частинок;

$$\alpha(\rho) = \alpha_0 + \varepsilon \alpha_* \rho(x, t), \quad (4)$$

$c^*(t)$  – концентрація домішкових частинок на вході фільтра,  $\sigma(\rho)$  – пористість фільтруючого матеріалу ( $\sigma_0$  – вихідна пористість фільтруючого матеріалу),

$$\sigma(\rho) = \sigma_0 - \varepsilon \sigma_* \rho(x, t), \quad (5)$$

$\kappa(\rho)$  – коефіцієнт фільтрування,  $\rho_0 = \rho(L, \tau_7)$ ,

$$\kappa(\rho) = \begin{cases} \kappa_0 - \varepsilon \gamma \rho(x, t), & \rho < \rho_0, \\ \kappa_0 - \varepsilon \gamma \rho(x, \tau_7), & \rho \geq \rho_0, \end{cases} \quad (6)$$

$\alpha_0, \alpha_*, \sigma_*, \kappa_0, \gamma, \varepsilon$  – жорсткі параметри (вони характеризують відповідні коефіцієнти)  $\alpha(\rho), \sigma(\rho), \kappa(\rho)$  – змінні параметри (знаходяться дослідним способом),  $\varepsilon$  – малий параметр,  $p$  – тиск. При цьому зазначимо, що на відміну від [3,5], в більш загальному випадку тиск  $p = p(x, t)$  раціонально було б визначити в результаті розв’язання рівняння

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \kappa(\rho) \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{\partial \sigma(\rho) p}{\partial t},$$

яке отримане на підставі записаного вище рівняння руху і рівняння стану:  $div v = \frac{\partial \sigma(\rho) p}{\partial t}$  при крайових

$p(0, t) = p^*(t)$ ,  $p(L, t) = p^*(t)$  ( $0 < t < \infty$ ) і початкових  $p(x, 0) = p^*(x)$  ( $0 < x < L$ ) умовах ( $p^*(t)$ ,  $p^*(x)$ ) – задані досить гладкі й погоджені в кутових точках області  $G = \{(x, t) : 0 < x < L, 0 < t < \infty\}$  функції. При цьому, у процесі розв’язання задачі, можемо визначити відповідне значення  $grad p$ , зокрема – різницю тисків  $\Delta P = p^*(t) - p_*(t)$  на вході й виході з фільтра.

### 3. Розв’язок задачі

Розв’язки системи (1) за умов (2) шукаємо у вигляді асимптотичних рядів [3, 4]:

$$c(x, t) = c_0(x, t) + \sum_{i=1}^n \varepsilon^i c_i(x, t) + R_c(x, t, \varepsilon),$$

$$\rho(x, t) = \rho_0(x, t) + \sum_{i=1}^n \varepsilon^i \rho_i(x, t) + R_\rho(x, t, \varepsilon), \quad (7)$$

де  $R_c, R_\rho$  – залишкові члени,  $c_i(x, t), \rho_i(x, t)$  ( $i = \overline{0, n}$ ) – члени регулярних частин асимптоти.

Аналогічно до [6], після підстановки (7) в (1) та застосування стандартної “процедури прирівнювання”, для знаходження функцій  $c_i$  і  $\rho_i$  ( $i = \overline{0, n}$ ) приходимо до таких задач:

$$\begin{cases} \sigma_0 \frac{\partial c_0}{\partial t} + v \frac{\partial c_0}{\partial x} + \frac{\partial \rho_0}{\partial t} = 0, & \frac{\partial \rho_0}{\partial t} = \frac{\beta_0 H^{0.75}}{v d^2} c_0, \\ c_0|_{x=0} = c^*(t), & c_0|_{t=0} = 0, \rho_0|_{x=0} = 0, \rho_0|_{t=0} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \sigma_* \rho_{i-1} \frac{\partial c_i}{\partial t} + v \frac{\partial c_i}{\partial x} + \sigma_* \frac{\partial \rho_{i-1}}{\partial t} c_i + \frac{\partial \rho_i}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial \rho_i}{\partial t} = \frac{\beta_0 H^{0.75}}{v d^2} c_i - g_i, \\ c_i|_{x=0} = 0, c_i|_{t=0} = 0, \rho_i|_{x=0} = 0, \rho_i|_{t=0} = 0, i = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (9)$$

де  $g_i(x, t) = \sum_{j=1}^i \rho_{j-1} \left( \alpha_0 + I(i, j) \sum_{j=2}^i (\alpha_* \rho_{i-2}) \right)$ .

Моделювання проводимо в програмному середовищі Matlab, зокрема М-функцію *pdepe*. Для роботи з даною функцією перетворимо системи (8), (9) у машинний код:

$$\begin{cases} \sigma_0 \frac{\partial c_0}{\partial t} + v \frac{\partial c_0}{\partial x} + \frac{\partial \rho_0}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial \rho_0}{\partial t} = \beta \cdot c_0. \end{cases} \Leftrightarrow c(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x}) \cdot \frac{\partial u}{\partial t} =$$

$$= x^{-m} \frac{\partial}{\partial x} (x^m f(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x})) + s(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x}),$$

Команди в Matlab:

```
function [c,f,s] = pdex2pde(x,t,u,DuDx)
S=200;
V=200;
B=6.1;
c = [S; 1];
f = [0; 0];
s = [-V*DuDx(1)-u(2); B*u(1)];
```

Початкові умови

$$\begin{cases} c_0(x, t_0) = 2, \\ \rho_0(x, t_0) = 0. \end{cases} \Leftrightarrow u(x, t_0) = u_0(x)$$

Команди в Matlab:

```
function u0 = pdex2ic(x)
u0 = [2; 0];
```

Граничні умови

$$\begin{cases} c_0(x_L, t) = 2, & \frac{\partial c_0(x_R, t)}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial \rho_0(x_L, t)}{\partial x} = 0, & \rho_0(x_R, t) = 0. \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow p(x, t, u) + q(x, t) \cdot f(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x}) = 0$$

Команди в Matlab:

```
function [pl,ql,pr,qr] = pdex2bc(xl,ul,xr,ur,t)
pl = [0; 0];
ql = [1; 1];
pr = [0; 0];
qr = [1; 1];
```

Для виклику функції *pdepe* маємо наступний код:

```
m = 0;
sol = pdepe(m,@pdex2pde,@pdex2ic,@pdex2bc,
x,t);
u1 = sol(:,1);
u2 = sol(:,2);
figure
```

```
surf(x,t,u1)
title('c0(x,t)')
xlabel('Distance x')
ylabel('Time t')
shading flat
figure
surf(x,t,u2)
title('p0(x,t)')
xlabel('Distance x')
ylabel('Time t')
shading flat
```

В результаті комп'ютерного моделювання (при наступних вхідних даних:  $c_*(t) = 2$  мг/л,  $L = 1$  м,  $v = 200$  м/год,  $\beta_0 = 0.9 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с,  $H = 80$  кА/м,  $d = 5$  мм, коефіцієнти  $\alpha_0 = 0.28 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>/с,  $\alpha_* = 0.65$ ,  $\epsilon = 0.01$ ,  $\sigma_0 = 0.5$ ,  $k_0 = 1$ ) отримали наступні результати (див. рис. 1–4).

Час захисної дії фільтра визначається в момент мінімального відхилення тиску (див. рис. 1) для розглянутого процесу він дорівнює 76 год.

З рис. 2 видно, що фільтр захоплює частинки протягом певного часу, а далі ефективність його дуже мала і концентрація часток на виході фільтра

з часом падає, що підтверджує ефективність даного фільтра як показано на рис. 3.

Згідно з рис. 4 час очистки фільтра значно перевищує час роботи фільтра, тому для ефективної автоматизації достатньо системи із 2 фільтрів.

Для автоматизації процесу магнітного очищення води розроблено функціональну схему автоматизації представлено на рис. 5, згідно якої керування системою відбувається переведенням потоку фільтруючої рідини між двома фільтрами. Під час фільтрування робочим фільтром інший «забруднений» автоматично проводить регенерацію.

Всі функції регулювання та контролю основних параметрів у проектованій системі автоматизації виконує програмований логічний контролер МІК-51 вітчизняного підприємства «Мікрол» з модулем розширення МР-07, який при даній конфігурації має чотири аналогові входи, три дискретних входи і чотири аналогові виходи, п'ять дискретних виходів, яких достатньо для керування даною системою.

Для регулювання концентрації домішок у рідкому середовищі використовується система, яка складається з 2 фільтрів, 4 датчиків тиску, програмованого логічного контролера МІК-51 з модулем розширення МР-07 та 8 регулюючих клапанів.

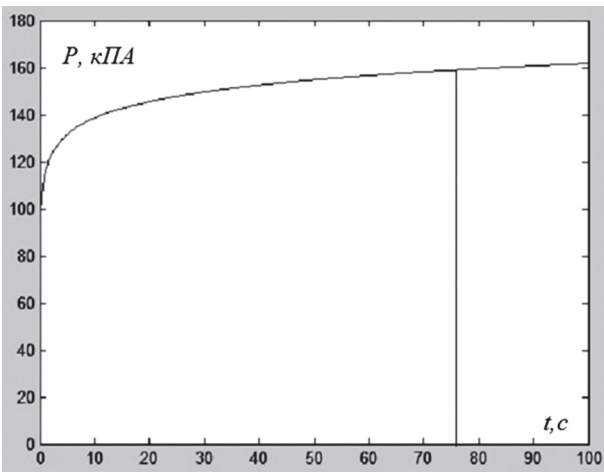


Рис. 1. Зміна різниці тисків

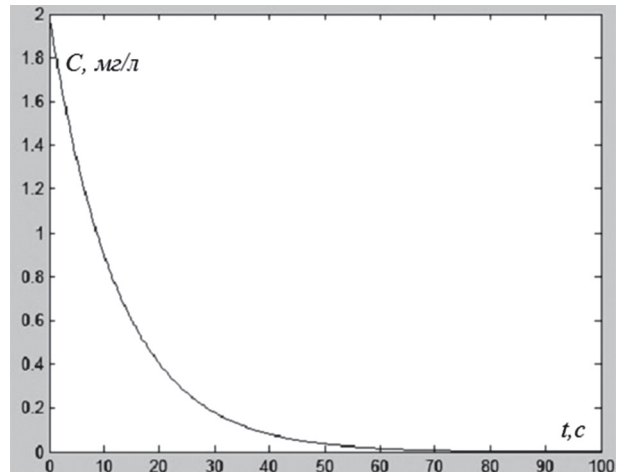


Рис. 3. Зміна концентрації частинок у розчині

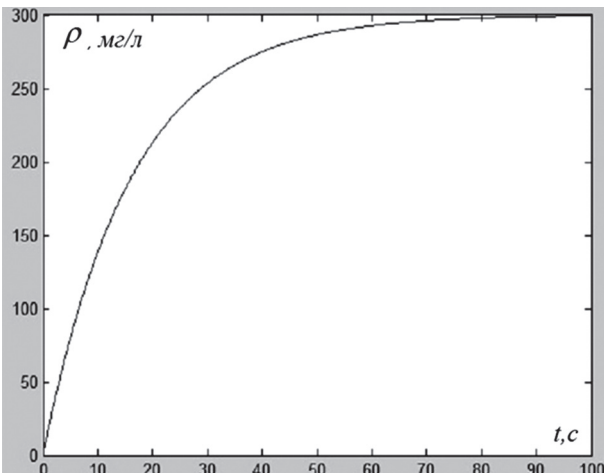


Рис. 2. Зміна концентрації частинок, що захопилися в фільтрі

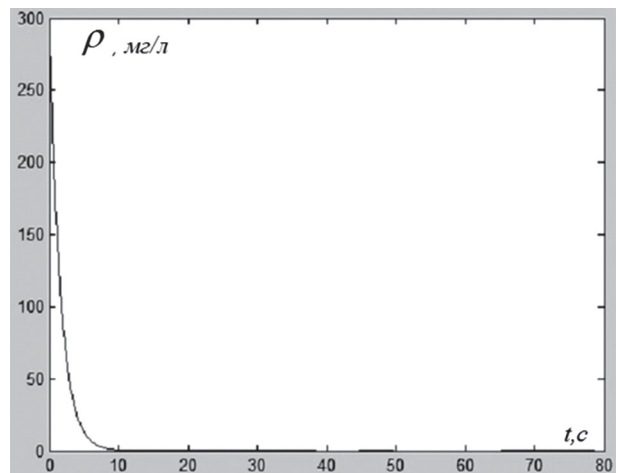


Рис. 4. Зміна концентрації частинок при очистці фільтра

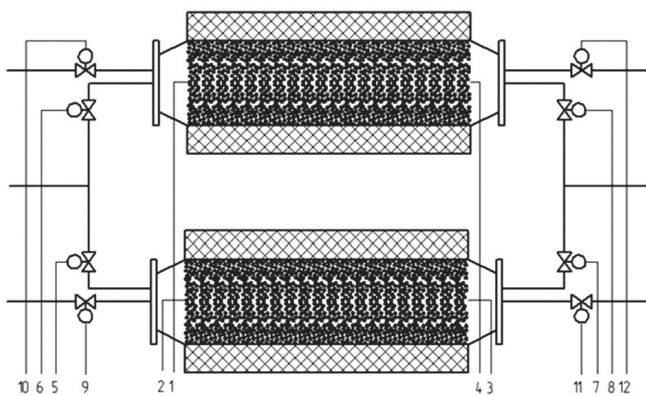


Рис. 5. Функціональна схема автоматизації

Програма керування працює наступним чином: сигнали з аналогових входів (AIN-1, AIN-2) надходять на суматор (SUMM-6) де від величини 1 аналогового входу віднімається значення 2 аналогового входу і ця різниця надходить на блок порівняння (CMP-7), де порівнюється з заданим значенням. Коли різниця величин 1 і 2 аналогового входів досягла заданого значення на виході блока порівняння з'являється логічна "1", яка надходить на RS-тригер (TRIG-9) встановлює його вихід в "1" і міняє стани дискретних виходів (DOT-10, DOT-11, DOT-12, DOT-13), що здійснюють припинення подачі води через 1 фільтр і переведення потоку рідини на 2 фільтр. Сигнал з виходу RS-тригера паралельно надходить на таймер (TIMER-14), який запускається, коли на вході логічна "1" і відразу на його виході з'являється логічний "0", який встановлює дискретні виходи (DOT-16, DOT-17) в "1", оскільки їхні входи є інвертовані, то здійснюється очистка фільтра 1. Після досягнення заданого часу (порядку 2 год.) даним на виході таймера (TIMER-14) з'являється логічна "1", яка міняє стани дискретних виходів (DOT-16, DOT-17), що припиняє очистку 1 фільтра.

Контролер згідно програми керує подачею води через один або інший фільтр, зокрема переключення відбувається наступним чином: сигнали з датчиків тиску 1,2 і 3,4 після попереднього перетворення надходять на контролер, де віднімаються між собою і порівнюються з заданим значенням, після чого якщо фільтр вже не затримує частинок (досягнуто відповідне значення різниці тисків), подається сигнал закриття на регулюючі клапани 6 і 8, а також паралельно сигнал на відкриття на регулюючі клапани 5 і 7 або навпаки. В результаті чого відбувається переведення потоку рідини з одного фільтра на інший. Для подальшого використання попереднього фільтра необхідно його очистити, тому після переведення потоку рідини подається сигнал на відкриття на регулюючі клапани 10 і 12, як наслідок фільтр очищається потоком рідини, аналогічно для очистки іншого фільтра після переведення потоку рідини подається сигнал на відкриття на регулюючі клапани 11 і 9. В системі

також наявне блокування подачі потоку рідини, яке відбувається тоді, коли тиск перед фільтром перевищує допустиме значення, що може відбуватися з різних причин: збільшення тиску рідини в трубопроводі, потрапляння предметів великого діаметру, які не проходять через фільтр, таким чином «забиваючи» його, що збільшує тиск в системі. Система блокування використовується тільки для датчиків тиску, що знаходяться перед фільтром, оскільки в них тиск природно є більший. Дана система працює наступним сигналі з аналогових входів (AIN-1, AIN-3) порівнюються з заданим значенням і якщо тиск знаходиться в допустимих межах, то система працює до тих пір поки тиск не досягне задане значення. Якщо ж тиск досяг заданого значення, то контролер надсилає сигнали на закриття для регулюючих клапанів 5,6 і сигнал на відкриття для 7,8, що припиняє подачу потоку рідини в фільтр і зливає залишок води з фільтра.

Аналогічним чином працює 2 частина програми: сигнали з аналогових входів (AIN-3, AIN-4) надходять на суматор (SUMM-5) де від величини 1 аналогового входу віднімається значення 2 аналогового входу і ця різниця надходить на блок порівняння (CMP-8), де порівнюється з заданим значенням. Коли різниця величин 3 і 4 аналогового входів досягла заданого значення, то на виході блока порівняння з'являється логічна "1", яка надходить на RS-тригер (TRIG-9) і встановлює його вихід в "0" і міняє стани дискретних виходів (DOT-10, DOT-11, DOT-12, DOT-13), що здійснюють припинення подачі води через 2 фільтр і переведення потоку рідини на 1 фільтр. Сигнал з виходу RS-тригера паралельно надходить на таймер (TIMER-15), який запускається, коли на вході є логічний "0" і відразу на його виході з'являється логічна "1", яка встановлює дискретні виходи (DOT-18, DOT-19) в "1", оскільки їхні входи є інвертовані, що здійснюють очистку 2 фільтра. Коли даний час досягає заданий, то на виході таймера (TIMER-15) з'являється логічна "1", яка міняє стани дискретних виходів (DOT-18, DOT-19), що припиняє очистку 2 фільтра. Для того щоб при кожному новому переведенні потоку таймер знову відраховував новий час, а не продовжував рахувати таймер сам себе скидає. Це реалізується наступним чином: на вхід dRST таймера під'єднується вихід dOUT. Для того щоб таймер почав новий відлік треба на вхід dRST подати логічну «1», яка на виході dOUT з'являється при досягненні часу, який відраховує таймер.

## Висновки

В результаті роботи отримано розв'язок модельної задачі процесу очищення водних середовищ у зернистому намагніченому фільтруючому матеріалі, проведено автоматизацію системи для постійної очистки води з врахуванням зміни параметрів потоку, яка керує двома фільтрами з постійним

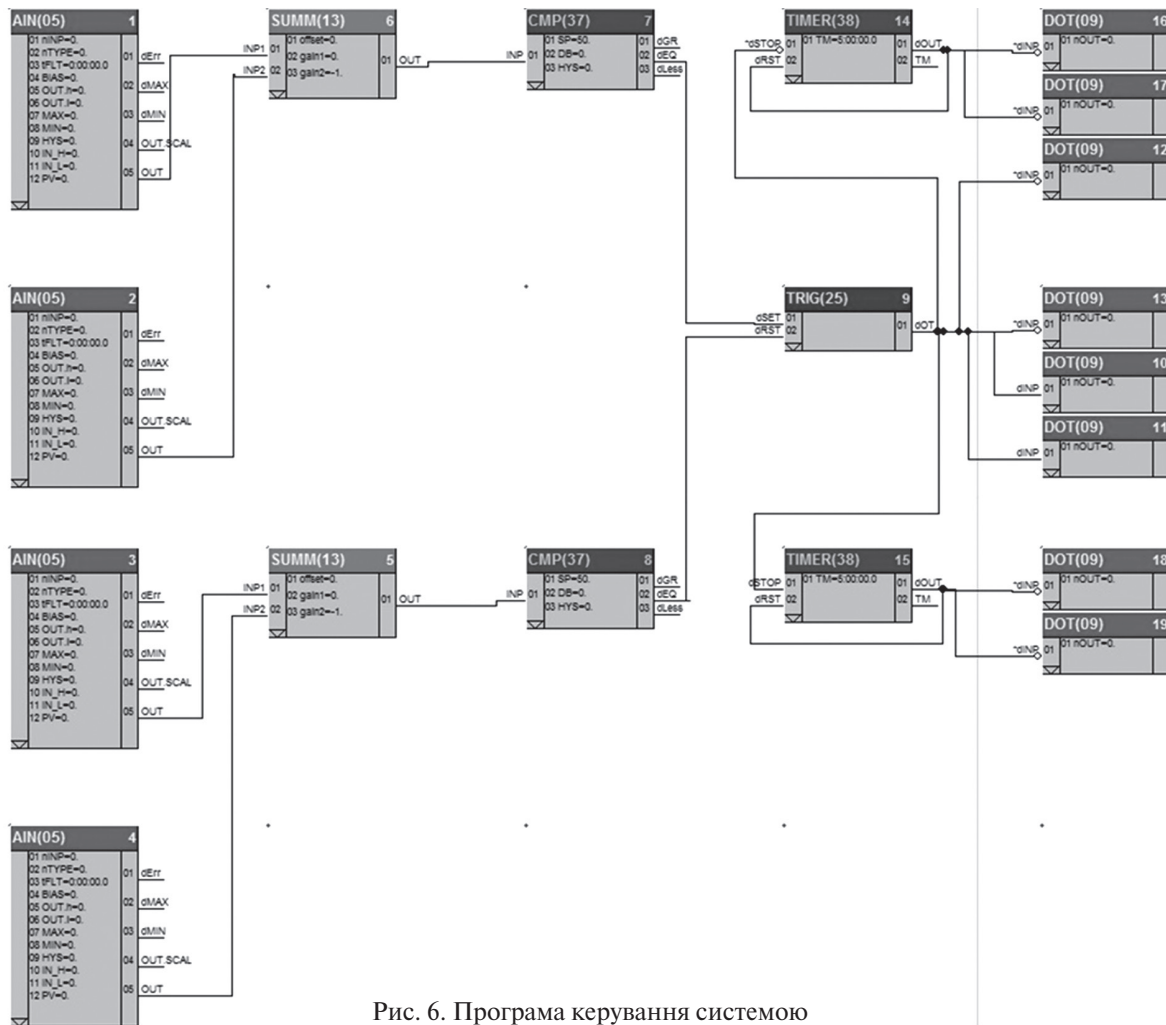


Рис. 6. Програма керування системою

переведенням потоку рідини і регенерацією попереднього фільтра, а також визначено часи ефективної очистки та регенерації фільтра.

**Список літературних джерел:** 1. *Гаращенко В.І.* Магнітосорбційні властивості гранулованих фільтруючих насадок / В.І. Гаращенко, І.Г. Скрипник, О.П. Лук'яничук, О.В. Гаращенко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування – 2008. – №3. – С.184–191. 2. *Бомба А.Я.* Математичне моделювання процесу магнітного очищення рідин від багатоконпонентного забруднення / Бомба А.Я., Сафоник А.П. // Вісник Харківського національного університету серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2012. – №1037. – Вип. 20 – С. 18–27. 3. *Бомба А.Я.* Нелінійне математичне моделювання процесу магнітного осадження домішок / А.Я. Бомба, В.І. Гаращенко, А.П. Сафоник, О.В. Гаращенко // Вісник ТНТУ ім. І. Пулюя. – 2009. – №3. – С.118–123. 4. *Бомба А.Я.* Математичне моделювання процесу магнітного очищення рідин від багатоконпонентного забруднення / Бомба А.Я., Сафоник А.П. // Проблеми машиностроєння. – Т. 15 – 2012. – №5-6. – С. 49–55. 5. *Бомба А.Я.* Нелінійні задачі типу фільтрація-конвекція-дифузія-масообмін за умов неповних даних / Бомба А. Я., Гаврилюк В.І., Сафоник А.П., Фурсачик О.А. // Монографія. – Рівне : НУВГП, 2011. – 276 с. 6. *Сандуляк А. В.* Магнітне обезжелезивання конденсата / А. В. Сандуляк, И. М. Федоткин. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

– 88 с. 7. *Сандуляк А. В.* Очистка жидкостей в магнитном поле / А. В. Сандуляк. – Львів: Вища школа, 1984. – 168 с.

*Надійшла до редколегії 20.06.2014*

UDC 519.63:532.5:004.942:681.518.5

**Компьютерное моделирование и автоматизация процесса магнитной очистки воды** / А. П. Сафоник, И. Н. Таргоний // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 117–121.

Решена модельная задача типа «конвекция-масообмен» для процесса очистки водной среды зернистым намагнитченным фильтрующим материалом. Выполнен математический анализ параметров и модели процесса магнитного осаждения примесей. Разработана система автоматизации процесса постоянной очистки воды от магнитных примесей.

Табл. 4. Ил. 8. Библиогр.: 5 назв.

UDC 519.63:532.5:004.942:681.518.5

**Computer modeling and automation of the process of magnetic cleaning** / A. Safonyk, I. Targoni / Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 117–121.

The article is devoted to analysis of existing methods of water transfer coefficient's calculation in non-saturated part of soil and to development of alternative methods on the base of neural networks, which are taught on experimental data. Neural networks of different architecture have being used. It was made a comparative analysis of calculations' results, carried out by different methods.

Tab. 4. Fig. 8. Ref.: 5 items.

УДК 665.9

З.В. Дудар<sup>1</sup>, В.І. Каук<sup>2</sup>, І.А. Ревенчук<sup>3</sup>, Т.Б. Шатовська<sup>4</sup><sup>1</sup>ХНУРЕ, м. Харків, Україна, zoya-dudar@yandex.ru<sup>2</sup>ХНУРЕ, м. Харків, Україна, victor.kauk@gmail.com<sup>3</sup>ХНУРЕ, м. Харків, Україна, 7021805@gmail.com<sup>4</sup>ХНУРЕ, м. Харків, Україна, shatovska@gmail.com

## УНІВЕРСАЛЬНА СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙНОЇ ТА ПІДПРИЄМНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ІТ – СТУДЕНТІВ

Представлено структурну модель організації інноваційної та підприємницької діяльності ІТ-студентів, яка дозволяє описати на загальному рівні усі можливі види взаємодії між усіма суб'єктами та об'єктами такої діяльності. Головною метою створення універсальної моделі є опис усіх можливих варіантів взаємодії між усіма об'єктами інноваційної та підприємницької діяльності.

ІТ-СТУДЕНТ, УНІВЕРСИТЕТ, ІНВЕСТИТОР, ІТ-КОМПАНІЯ, ДІЯЛЬНІСТЬ, МОДЕЛЬ

### Вступ

Універсальна структурна модель організації інноваційної та підприємницької діяльності ІТ-студентів дозволяє описати на загальному рівні усі можливі види взаємодії між усіма суб'єктами та об'єктами такої діяльності. Крім цього, даються загальні визначення процесів, що є базовими для усіх можливих структурних об'єктів. Надаються їх відзнаки при реалізації на різних об'єктах та різних рівнях: регіональному та національному. Головною метою створення універсальної моделі є опис усіх можливих варіантів взаємодії між усіма об'єктами інноваційної та підприємницької діяльності.

Метою цієї моделі є:

– визначення усіх можливих об'єктів інноваційної та підприємницької діяльності (університет, різні за змістом інноваційні структури, ІТ-компанії, державні, недержавні організації, інвестиційні структури);

– визначення базових процесів, які можуть бути у будь-якому об'єкті (це: навчання, підтримки, фінансування, захист інтелектуальної власності);

– визначення усіх можливих видів взаємодії між структурними об'єктами (наявність, відсутність, відмінність);

– зробити загальні висновки щодо факторів, які впливають на ефективність структурного рішення;

– показати можливість створення університетом різних за змістом власних інноваційних структур, чи можливість бути співзасновником або учасником зовнішніх інноваційних структур.

Універсальна модель може бути цікавою в першу чергу для адміністративних працівників університетів, інноваційних структур регіонального та державного рівнів, а також для викладачів, наукових дослідників. За допомогою цієї моделі можна зробити системні висновки щодо розуміння, як ефективно налагодити взаємодію між усіма можливими об'єктами інноваційної та підприємницької діяльності.

### 1. Сфера діяльності

Універсальна модель демонструє усі можливі процеси діяльності і таким чином охоплює усю можливу сферу діяльності. Узагальнення зроблено таким чином, що враховує можливість створення нових державних, регіональних інноваційних структур і навіть створення нових типів інноваційних структур.

Вона дає змогу:

1. Визначити, які саме результати будуть отримані.

Результатом створення універсальної моделі є систематизація понять, процесів та об'єктів інноваційної та підприємницької діяльності ІТ-студентів; повний перелік можливостей їх взаємодії на регіональному та державному рівнях.

2. Пояснити, що запропонована модель буде робити (що не робитиме, за необхідністю).

Універсальна модель дає основу для створення множини окремих моделей, у яких частково реалізовано об'єкти та процеси, що впливають на інноваційну та підприємницьку діяльність ІТ-студентів. Ця модель, як така, не може бути реалізована та використана як діюча.

3. Визначити відповідні переваги, цілі і завдання якомога точніше: У даному підрозділі буде визначено узагальнені переваги, цілі та завдання для загальних об'єктів:

#### 3.1. Для Університету

Загальні переваги:

– підвищення ефективності використання власних ресурсів;

– підвищення працевлаштування випускників та їх рівня конкурентоспроможності на ринку праці;

– підвищення рівня кваліфікації викладацького складу;

– підвищення кількості створених інноваційних продуктів та послуг;

– підвищення якості розроблених інноваційних продуктів та послуг;

– підвищення кількості залучених позабюджетних коштів;

– підвищення регіонального, національного та міжнародного рейтингів університету.

Загальні цілі:

– суттєво збільшити кількість створених інноваційних продуктів та послуг із залученням студентів, аспірантів, викладачів, дослідників;

– суттєво збільшити кількість створених за участю студентів нових підприємств;

– підвищити якість навчання за напрямками ІТ;

– підвищити якість інноваційних проектів;

– створити умови для саморозвитку інноваційно-підприємницького руху серед молоді;

– отримати додаткові позабюджетні кошти.

Загальні завдання:

– організувати інноваційну структуру університету, яка б максимально реалізовувала усі процеси;

– залучити до процесу навчання студентів, аспірантів, викладачів та дослідників університету, а також зовнішніх експертів;

– започаткувати заходи (семінари, тренінги, конкурси, конференції та інше), які б підвищували рівень знань у галузі інновацій та підприємництва;

– визначити відповідальних осіб у підрозділах, які будуть займатися інноваційною роботою зі студентами;

– створити експертну раду з питань інновацій в університеті;

– створити базу даних інноваційних проектів;

– створити технологічні майданчики для спілкування студентів та фахівців у різних галузях ІТ;

– розробити та затвердити повний комплект нормативно-правових документів, які будуть регулювати взаємовідносини із зовнішніми інноваційними структурами, ІТ-компаніями та іншими об'єктами, що залучаються до процесів інноваційної та підприємницької діяльності;

– створити систему обліку інформації щодо створення студентами нових підприємств.

### 3.2 Для ІТ-Компанії

Загальні переваги:

– створення більш якісних конкурентоспроможних інноваційних продуктів;

– отримання більш кваліфікованих працівників;

– отримання додаткових прибутків;

– підвищення впливу на розвиток ІТ в регіоні та країні.

Загальні цілі:

– підвищити конкурентоспроможність власної продукції;

– створити умови для постійного розвитку компанії за рахунок отримання кваліфікованих спеціалістів та розробок у перспективних напрямках ІТ;

– підвищити обсяг отриманих коштів за рахунок продажу власних продуктів та сервісів;

– зайняти відповідне місце у регіональній та національній екосистемі розвитку та впровадження ІТ.

Загальні завдання:

– визначити внутрішні ресурси, які можуть бути використані при інноваційній діяльності компанії;

– визначити пріоритетні напрямки розвитку при створенні нових продуктів та сервісів;

– визначити процеси та об'єкти інноваційної діяльності, у яких компанія може прийняти участь;

– визначити перелік компетенцій, які необхідні для випускника університету для подальшої роботи над інноваційними продуктами;

– підтримувати у робітників дух новаторства.

### 3.3 Для Інноваційної структури

Загальні переваги:

– збільшення кількості учасників інноваційної та підприємницької діяльності на всіх рівнях взаємодії;

– підвищення кількості та якості інноваційної продукції та сервісів;

– отримання додаткових прибутків;

– створення ефективної системи розвитку інноваційної та підприємницької діяльності;

– визнання на міжнародному рівні.

Загальні цілі:

– активізувати інноваційну та підприємницьку діяльність ІТ-студентів;

– спростити механізм створення нової інноваційної продукції та сервісів;

– отримати додаткові доходи;

– інтегрувати та поєднати різні підходи та об'єкти інноваційної та підприємницької діяльності;

– організувати інноваційні процеси в Україні у відповідності до міжнародних вимог та стандартів.

Загальні завдання:

– створити повний комплект нормативно-правових документів, які регламентують діяльність інформаційної структури (ІС);

– організувати взаємодію з усіма об'єктами моделі;

– планувати раціональне використання ресурсів;

– проводити заходи для популяризації та активізації інноваційної та підприємницької діяльності;

– проводити навчання;

– проводити експертизу;

– організувати усі види необхідної підтримки;

– здійснювати пошук джерел фінансування;

– залучати фінансування;

– здійснювати захист об'єктів інтелектуальної власності;

– проводити аналіз статистичних даних.

## 2. Огляд моделі

Для організації інноваційної та підприємницької діяльності у будь – якому об'єкті можна виділити наступні загальні процеси:

1) Процес «Навчання (Н)», який має три загальні складові:

- Н<sup>1</sup> – навчитися створювати нове;
- Н<sup>2</sup> – навчитися створювати власний бізнес;
- Н<sup>3</sup> – навчитися залучати кошти.

При Н<sup>1</sup> студент має навчитися підходам для створення принципово нових продуктів та сервісів, шукати та аналізувати інформацію щодо пріоритетних напрямків у ІТ та науці, вмінню висловлювати, описувати та презентувати власні ідеї, відрізняти хибні ствердження та пропозиції. Під час такого навчання студент має бути мотивований на творчу активність та бажання створення власного бізнесу: компанія, або особисто, або з групою однодумців.

При Н<sup>2</sup> студент має навчитися створювати різні види юридичних осіб для підприємницької діяльності як в Україні, так і за кордоном; розрізняти, у чому переваги різних юридичних осіб та обирати найбільш ефективну схему реєстрації юридичної особи.

При Н<sup>3</sup> студент має навчитися, як саме шукати джерела фінансування його інноваційного проекту, як треба представляти інформацію інвесторам, на що треба робити наголос при співбесідах та перемовинах з інвесторами, як саме слід вести себе з інвестором під час фінансування, як треба повертати інвестиції при різних видах інвестування.

Реалізація процесу Н може здійснюватися у різних формах, а саме:

- навчальні дисципліни у напрямках підготовки;
- постійно діючі курси (з/без надання державного свідоцтва);
- одноразові семінари;
- періодичні заходи (конференції, форуми та інше);
- дистанційне навчання.

Цей перелік не є вичерпним і може бути доповнений.

2) Процес «Підтримка (П)», який має три загальні складові:

- П<sup>1</sup> – організаційна;
- П<sup>2</sup> – економічна;
- П<sup>3</sup> – юридична.

При П<sup>1</sup> студент має отримати організаційну підтримку, яка може полягати у наступному:

- надання місця проведення для різноманітних заходів (навчання, обговорення, розробки та інше);
- організація зустрічей та різноманітних заходів;
- організація сумісної роботи студентів у групах;

– організація роботи студентів та усіх бажаючих прийняти в ній участь (аспірантів, викладачів, дослідників, інвесторів та інше);

- організація взаємодії з експертами (економічними та технологічними);
- організація взаємодії між усіма структурними об'єктами моделі;
- вирішення можливих конфліктів, які можуть виникнути під час сумісної роботи.

При П<sup>2</sup> студент має отримати економічну підтримку, яка може полягати у наступному:

- проведення необхідних розрахунків у бізнес – моделі;
- обрахування необхідних ресурсів на різних етапах реалізації інноваційного проекту;
- допомога у підготовці інноваційних продуктів та послуг для участі у конкурсах, виставках та інше;
- послуги бухгалтера для вирахування різних податків та сплат при організації окремого підприємства;
- прогноз фінансової привабливості інноваційного проекту;
- проведення економічної експертизи інноваційного проекту.

При П<sup>3</sup> студент має отримати юридичну підтримку, яка може полягати у наступному:

- юридичне консультування з питань створення різних форм власності;
- надавання типових нормативно-правових документів, які регулюють підприємницьку та інноваційну діяльність в Україні та за кордоном;
- юридична допомога у творенні власної юридичної особи.

3) Процес Фінансування (Ф), який має три загальні складові:

- Ф<sup>1</sup> – власне;
- Ф<sup>2</sup> – зовнішнє;
- Ф<sup>3</sup> – суспільне;

При Ф<sup>1</sup> студент на розвиток власного інноваційного проекту має отримати кошти інноваційної структури і не важливо, звідки ці кошти взяла ІС. Наприклад, процес власного фінансування може бути організований і в університеті. З позабюджетних коштів виділяється певна сума на фінансування інноваційних проектів.

При Ф<sup>2</sup> студент має отримати зовнішнє по відношенню до університету та ІС фінансування. Тобто це має бути джерело, яке не пов'язане з діяльністю студента: фізична особа – бізнес ангел, юридична особа – банк, венчурний фонд та інше.

При Ф<sup>3</sup> студент має отримати фінансування від спільноти (як правило це вільні пожертвування).

На різних етапах реалізації інноваційного проекту можуть бути використані різні форми фінансування.

4) Процес «Захист Інтелектуальної Власності (ЗІВ)», який має три загальні складові:

ЗІВ<sup>1</sup> – реєстрація;  
 ЗІВ<sup>2</sup> – впровадження;  
 ЗІВ<sup>3</sup> – мотивація.

При ЗІВ<sup>1</sup> студент має отримати необхідну допомогу щодо реєстрації об'єкту інтелектуальної власності (консультування, заповнення форм, створення опису, відправку на реєстрацію та інше).

При ЗІВ<sup>2</sup> студент має отримати допомогу щодо впровадження вже зареєстрованої інтелектуальної власності. Тобто мають бути реалізовані і пошук потенційних замовників, і організація процесу впровадження, і відслідковування дій конкурентів та інше.

При ЗІВ<sup>3</sup> студент має отримати заохочувальні та мотиваційні заходи. Наприклад, приймати участь у конкурсах, виставках, семінарах з обміну досвідом. За свою інноваційну діяльність студент має отримувати заохочення (премію та інше).

В універсальній моделі є наступні загальні об'єкти:

1. *Університет (У)* – навчальний заклад, який здійснює підготовку ІТ-студентів та має аспірантів, викладачів, дослідників та адміністрацію.

Університет має право створювати інноваційні структурні підрозділи як у своєму складі (інститути, центри, відділи), так і бути співзасновником окремої інноваційної структури (Технопарку, що майже неможливо, бо застаріла нормативна база; або Наукового Парку).

Якщо є необхідність, то університет може виступати ініціатором державного експерименту зі створення нових інноваційних структур (наприклад, новий тип закладу на основі державно приватного партнерства).

У моделі, коли університет є співзасновником інноваційної структури, вона зображується таким же самим кольором, що і університет.

Університет (У) може мати різні структурні підрозділи, які приймають участь в інноваційній та підприємницькій діяльності ІТ-студентів, аспірантів, викладачів.

Найбільш поширеними реалізаціями є:

У: ЗІВ<sup>1</sup>, ЗІВ<sup>2</sup> – відділ захисту інтелектуальної власності

У: Н<sup>2</sup>, П<sup>1</sup>, П<sup>2</sup>, П<sup>3</sup> – бізнес – інкубатор

У: Н<sup>1</sup>, П<sup>1</sup>, Ф<sup>2</sup> – технопарк

ІСу: П<sup>1</sup>, П<sup>2</sup>, П<sup>3</sup>, Ф<sup>1</sup>, Ф<sup>2</sup>, Ф<sup>3</sup> – науковий парк

2. *Інноваційна структура (ІС)* – окрема юридична особа, яка повністю або частково реалізує процеси, що пов'язані з інноваційною діяльністю.

Інноваційна структура може мати різні складові процесів. Найбільш поширеними є:

ІС: Н<sup>1</sup>, Н<sup>2</sup>, Н<sup>3</sup> – тренінговий центр

ІС: П<sup>1</sup>, П<sup>2</sup>, П<sup>3</sup>, Ф<sup>2</sup> – бізнес – інкубатор

ІС: Н<sup>1</sup>, Н<sup>2</sup>, Н<sup>3</sup>, П<sup>1</sup>, П<sup>2</sup>, П<sup>3</sup>, Ф<sup>2</sup> – ІТ парк

ІС: ЗІВ<sup>1</sup> – патентне бюро

ІС: П<sup>1</sup>, П<sup>2</sup>, П<sup>3</sup> – консалтинговий центр

ІС: П<sup>1</sup>, Ф<sup>1</sup>, Ф<sup>2</sup> – центр трансферу технологій

3. *ІТ-компанія (ІТК)* – окрема юридична особа, що створює інноваційну продукцію або приймає участь у будь-якому процесі, який пов'язаний з інноваційною діяльністю.

4. *Державний заклад (ДЗ)* – це державний орган, який регулює або впливає на інноваційні або підприємницькі процеси у регіоні або в державі у галузі ІТ.

Приклади:

Державний заклад регіонального рівня - департамент інноваційного розвитку промисловості та транспорту Харківської обласної державної адміністрації - <http://kharkivoda.gov.ua/ru/mainmenu/index/id/96>.

Державний заклад національного рівня - Міністерство освіти і науки України - <http://www.mon.gov.ua/>;

Державне агентство з питань науки, інновацій та інформатизації України - <http://dknii.gov.ua/>

5. *Недержавна організація (НО)* – організація, яка має статус громадської організації і впливає на інноваційні або підприємницькі процеси у регіоні або в державі у галузі ІТ.

Приклад:

НО регіонального рівня – «Агенція європейських інновацій» (м. Львів) - <http://www.aei.org.ua/>;

НО національного рівня - Асоціація «ІТ України» - <http://www.itukraine.org.ua/>; Європейська бізнес асоціація - <http://www.eba.com.ua/>.

6. *Інвестор (І)* – особа або організація, яка за видом своєї діяльності може здійснювати інвестування (вкладання коштів) у впровадження інноваційного продукту/ послуги.

Приклад:

І національного рівня – <http://eastlabs.co/>, <http://www.taventure.com/>, <http://dekartacapital.com/>, <http://aventurescapital.com/>.

За своїм статусом об'єкти можуть бути регіонального або національного рівнів. Крім того, вони можуть групуватися за регіональною ознакою і формувати кластери.

Відомими в Україні є відомими два таких клас-тери:

у Харкові <http://intellectronics.com.ua/clusterictstrategy> у Львові – <http://it-bpo.lviv.ua/>.

З часом об'єкти регіонального рівня можуть ставати об'єктами національного рівня.

## 2.1. Інфраструктурні послуги

*Інфраструктурні послуги мають бути описані для обраної моделі.*

У кожного з указаних об'єктів моделі обов'язковими інфраструктурними послугами є наступні:

– інформування усіх бажаючих щодо діяльності об'єкта;

– обробка необхідних вхідних даних для діяльності об'єкта;

- налагодження взаємодії з іншими об'єктами моделі;
- аналіз вихідних даних, отриманих за результатами діяльності об'єкта;
- часткове або повне надання процесів Н, П, Ф, ЗІВ.

## 2.2. Архітектура моделі

У табл. 1, наведено узагальнені показники моделі.

У даній універсальній моделі представлені усі можливі об'єкти з усіма можливими процесами.

Таблиця 1

### SWOT Аналіз УСМОІПД

SWOT	Позитивний вплив	Негативний вплив
Внутрішнє середовище	Сильні сторони	Слабкі сторони
Студент	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Створення власного бізнесу.</li> <li>2. Підвищення якості підготовки.</li> <li>3. Досвід роботи у команді.</li> <li>4. Досвід роботи над реальними проектами.</li> <li>5. Пільгові умови використання ресурсів.</li> <li>6. Відомість.</li> <li>7. Нові професійні зв'язки.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відсутність соціальної та фінансової мотивації.</li> <li>2. Слабкий рівень підготовки у підприємстві.</li> <li>3. Недостатність професійних знань у ІТ.</li> <li>4. Відсутність досвіду роботи у команді.</li> <li>5. Нерозуміння сучасних тенденцій в ІТ.</li> <li>6. Дуже агресивна політика ІТК щодо залучення на роботу.</li> <li>7. Постійне відволікання на навчання.</li> </ol>
У	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Додаткові позабюджетні кошти.</li> <li>2. Власні інноваційні продукти та послуги.</li> <li>3. Підвищення якості навчання студентів.</li> <li>4. Підвищення рівня викладачів та дослідників.</li> <li>5. Реальність наукових досліджень.</li> <li>6. Оптимальне використання ресурсів.</li> <li>7. Підвищення національного та міжнародного визнання.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відсутність соціальної та фінансової мотивації.</li> <li>2. Невідповідність викладацького складу та адміністративного персоналу сучасним вимогам.</li> <li>3. Обмежена фінансова гнучкість.</li> <li>4. Слабка технологічна база.</li> <li>5. Недостатня обізнаність щодо способів просування інноваційної продукції на ринок.</li> <li>6. Недовіра щодо захисту інтелектуальної власності.</li> <li>7. Нерозуміння та неготовність відповідати сучасним тенденціям розвитку ІТ.</li> </ol>
ІТК	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отримання додаткового прибутку.</li> <li>2. Кваліфікований персонал.</li> <li>3. Робота над сучасними проектами під замовлення.</li> <li>4. Участь у передових заходах ІТ-спільноти.</li> <li>5. Ресурсні можливості.</li> <li>6. Оптимальне використання власних ресурсів.</li> <li>7. Підвищення національного та міжнародного визнання.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Більшість проектів під замовлення.</li> <li>2. Відсутність власної інтелектуальної власності.</li> <li>3. Залежність від зовнішніх замовлень.</li> <li>4. Труднощі в стратегічному плануванні бізнесу.</li> <li>5. Відсутність інноваційного духу у робітників.</li> <li>6. Децентралізація керівництва.</li> <li>7. Обмеження у законодавстві щодо міжнародних ІТК.</li> </ol>
Зовнішнє середовище	Сильні сторони	Слабкі сторони
Студент	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отримання нових знань та вмінь щодо інноваційної та підприємницької діяльності.</li> <li>2. Отримання досвіду підприємницької діяльності.</li> <li>3. Отримання додаткових прибутків.</li> <li>4. Захист власної інтелектуальної власності.</li> <li>5. Отримання позик та пільг.</li> <li>6. Участь у заходах ІТ (конференціях, виставках, конкурсах).</li> <li>7. Конкурентоспроможність на ринку праці.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Погана інноваційна ідея.</li> <li>2. Незавершеність прототипу.</li> <li>3. Обмаль часу.</li> <li>4. Обмаль досвіду.</li> <li>5. Невміння роботи у групі.</li> <li>6. Нерозуміння юридичних засад підприємницької діяльності.</li> <li>7. Невірна стратегія залучення коштів.</li> <li>8. Розпад команди проекту.</li> </ol>
У	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Збільшення інноваційної продукції.</li> <li>2. Підвищення якості інновацій.</li> <li>3. Збільшення кількості залучених у інноваційну діяльність студентів, аспірантів, викладачів, дослідників.</li> <li>4. Отримання нових замовлень на дослідження та розробку.</li> <li>5. Отримання нових партнерських стосунків.</li> <li>6. Більш ефективне використання ресурсів.</li> <li>7. Спрощення шляху просування інноваційної продукції на міжнародний ринок.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відсутність можливості власного фінансування.</li> <li>2. Відсутність мотивації.</li> <li>3. Відтік професійних кадрів.</li> <li>4. Складна звітність.</li> <li>5. Консервативність освіти.</li> <li>6. Зменшення рівня знань школярів.</li> <li>7. Низька платоспроможність вітчизняних замовників.</li> </ol>
ІТК	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отримання нових джерел прибутків.</li> <li>2. Отримання більш кваліфікованих працівників.</li> <li>3. Отримання готових команд розробників.</li> <li>4. Отримання нових продуктів та сервісів.</li> <li>5. Вихід на нові ринки.</li> <li>6. Отримання нових замовлень.</li> <li>7. Більша відомість.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обмаль ресурсів.</li> <li>2. Обмаль часу.</li> <li>3. Залежність від законодавства.</li> <li>4. Корупція.</li> <li>5. Складнощі у взаємодії з У.</li> <li>6. Складнощі у взаємодії з ДЗ.</li> <li>7. Висока конкуренція.</li> </ol>

Об'єкти між собою можуть взаємодіяти або інтегрувати сходині процеси (наприклад, в У є Н1 і в ІС є Н1. Таблиця 1 – SWOT Аналіз УСМОІПД

Тоді, якщо ІС проводить навчання, то У може направити своїх студентів до ІС, заощаджуючи при цьому кошти на проведення аналогічних занять та навпаки), або доповнюючи один одного тими процесами, яких не вистачає (наприклад, в У є Н1 але немає Н2, а в ІС є Н1, Н2, Н3, тоді У після Н1 може направити на Н2 та Н3 своїх студентів до ІС).

### 3. Структура моделі та стандарти

Ця модель може бути використана як основа для створення конкретної моделі з урахуванням усіх видів взаємодії, переваг та недоліків, які системно представлено в універсальній моделі.

Модель, яка розроблена, має бути чітко названа та містити посилання на інші моделі. Короткий опис моделі може бути доданий тут для допомоги читачам, не знайомим з моделлю.

Це універсальна структурна модель організації інноваційної та підприємницької діяльності ІТ-студентів. Ця модель є основою для створення інших моделей. Описані у цій моделі об'єкти та процеси дають розуміння про організацію інноваційної та підприємницької діяльності в університеті, на регіональному та національному рівнях.

### Висновки

Універсальна модель не може бути впроваджена у повному обсязі у реальне життя, бо є структурні об'єкти, які можуть дублювати процеси на різних рівнях. З часом можуть з'являтися нові об'єкти, які потенційно можуть поєднувати в собі ознаки декількох об'єктів (наприклад, ІТ-компанія та інноваційна структура, або державна установа та інвестор).

Для універсальної моделі не може бути створено універсальної нормативно-правової бази, тому що

окремні об'єкти моделі мають різний юридичний статус, підпадають під різні нормативні акти та підпорядковуються по різному.

При написанні статті автори керувалися наказами міністерства освіти.

*Поступила до редколегії 10.09.2014*

УДК 665.9

**Универсальная структурная модель организации инновационной и предпринимательской деятельности ИТ-студентов / З. В. Дударь, В. И. Каук, И. А. Ревенчук, Т. Б. Шатовская // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 122–127.**

Универсальная модель дает общее представление о всех возможных сочетания структурных решений по взаимодействию университетов с инновационными структурами (регионального и национального уровней), с ИТ – компаниями и другими действующими объектами (государственными, негосударственными и общественными) инновационной и предпринимательской деятельности. В общем виде описаны возможные процессы и обоюдные взаимодействия между всеми объектами модели. Модель нельзя использовать в качестве действующей. Модель дает обобщающее понятие и единую систему именования для всех отдельных моделей.

Табл. 1.

UDK 665.9

**Universal structural model of organization of innovation and entrepreneurship IT-students / Z. Dudar, V. Kauk, I. Revenchuk, T. Shatovska // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 122–127.**

This model provides an overview of all possible combinations of structural solutions to the interaction of universities with innovative structures (regional and national), IT – companies and other current items (government, non-governmental and obschistvennymi) innovation and entrepreneurship. In general the processes are described and possible mutual interactions between all the objects of the model. The model can not be used as valid. The model provides a generalization of the concept and a single naming system for all of the individual models.

Tabl. 1.

УДК 004(4'22+054)

С.И. Чайников<sup>1</sup>, А.С. Солодовников<sup>2</sup><sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина<sup>2</sup>ХНМУ, г. Харьков, Украина

## К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрен алгоритм получения структуры, необходимой для организации отката вычислительных процессов по заданным контрольным точкам и на основе пользовательских требований. Рассмотрены преобразования граф-модели предметной области в целях определения мест контрольных точек и резервирования данных вычислительных процессов.

ГРАФ-МОДЕЛЬ, ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ, КОНДЕНСАЦИЯ ГРАФА, КОНТРОЛЬНАЯ ТОЧКА

### Введение

Современные программные системы обладают высокой степенью сложности, а к их функционированию предъявляются высокие требования, определяющие востребованность программного обеспечения и его качество. Одной из критичных характеристик программных систем является производительность.

Средства оптимизации и тестирования программных средств, позволяющие оценить и решить проблему качества программного обеспечения, должны применяться в течение процесса разработки программы, так как это дает лучшие результаты и качество продукта по сравнению с оптимизацией на последних этапах разработки [1]. Однако существуют и другие меры повышающие производительность программного средства. Например, при решении задач с использованием архитектуры параллельных вычислительных систем предлагаются модели разбиения задач на независимые подзадачи с учетом размещения данных в локальной памяти узлов вычислительной системы [2]. Также в целях сокращения времени доступа к истории вычислений, восстановления данных и отката действий вычислительных процессов в распределенных или параллельных программах оптимизируют время создания и объема контрольных точек восстановления [3]. Для обеспечения отказоустойчивого выполнения программ предлагаются два подхода [3]: реактивный и проактивный. Первый подход является наиболее распространенным и может быть использован в специальных средствах создания контрольных точек (например, MPI-ориентированных) [4]. Причем контрольная точка включает информацию о состоянии выполняющейся параллельной программы: содержимое памяти, информацию об используемых ресурсах операционной системы, граф информационных связей и транзитные сообщения. В крупномасштабных вычислительных системах вероятность потери результатов вычислений высока, но также следует указать на необходимость восстановления данных вычислительных процессов, и в этой связи оптимизации времени восстановления,

при обнаружении ошибок в вычислительных процессах и необходимости пересчета на новых исходных данных. Также при проектировании проблемно-ориентированных систем, особенно при использовании распределенной архитектуры, учитываются такие факторы, как архитектура, производительность компьютеров, скорость передачи каналов связи, разнородность подзадач по вычислительной сложности, оптимальное распределение заданий, интеграция вычислительных ресурсов компьютеров разных организаций [5]. Что указывает на актуальность проблемы оптимального отображения структуры программного средства на аппаратную часть и эффективного использования функций программных модулей, каналов передачи данных и процессорных элементов [6].

При проектировании программного обеспечения часто появляется возможность использовать различные программные объекты, которые ранее уже были использованы при решении сходных задач. К таким объектам относятся [7]:

- 1) повторно используемые приложения;
- 2) повторно используемые компоненты;
- 3) повторно используемые функции.

Для технологии повторного использования существует ряд недостатков, один из которых – недоступность исходного кода компонента, что может привести к увеличению расходов на сопровождение системы из-за несовместимости компонентов с изменениями программного кода. Также указывается, что большинство CASE средств, применяемых для разработки программ, не поддерживают технологию повторного использования. Поэтому выход заключается в применении программных генераторов. Такой принцип генератора заложен, например, в программном комплексе PGRAPH, который позволяет создавать программные системы, ориентированные на решение численных задач с применением параллелизма [8,9]. Генерация параллельной программы происходит на основе модели вычислительного процесса.

Также при реализации сборочного подхода к конструированию программы в CASE-средстве,

которое реализует данный метод, выделяются такие основные подсистемы как компоновщик и диспетчер [10]. При этом на вход компоновщика поступают сформированные неделимые фрагменты вычислений и алгоритм сборки, описывающий, какие фрагменты и в каком порядке собираются в единый программный код. В исполняемом коде сохраняется фрагментарная структура сборочной программы для обеспечения возможности распределять исполнение функций между процессорными элементами.

Теория графов является удобным инструментом для работы с подобными структурами, поэтому имеет смысл применять теорию для формализованного описания как самой предметной области так и взаимодействия подсистем программного средства, разрабатываемого для данной области.

Принцип генерации программы на основе граф-модели предметной области [5] является эффективным решением, поскольку позволяет адаптировать программное средство к требованиям предметной области. В этом случае возможно использование ранее разработанных библиотек и включение их в структуру программы. Поскольку для обеспечения качества программного обеспечения одним из требований к интерфейсу является предоставление возможности отмены действия [7], при генерации программы требуется включить в структуру продукта функционал, позволяющий реализовать данную задачу.

### 1. Постановка задачи

Пусть задан граф, позволяющий описать структуру программного средства:

$$G = (V, X), \quad (1)$$

где  $V$  – множество вершин  $v$ , соответствующих программным модулям, а  $X$  – множество дуг  $x_{ij} = (v_i, v_j)$  графа  $G$ , соединяющих вершины  $v_i$  и  $v_j$  между собой, для которых задано направление  $(i, j = 1, n)$ , где  $n$  – количество вершин графа  $G$ ). Дугам соответствуют информационные связи между программными модулями.

Над графом (1) проведена операция конденсации вершин, то есть приведения к ациклической форме, что позволяет задать на данном графе множество супер вершин  $V_s = \{v_i\}$ , включающих в себя циклы.

Граф (1) также приведен к ярусно-параллельной форме, позволяющей установить последовательное и параллельное исполнение программных модулей процессорными элементами.

Также задан следующий набор ограничений для каждого яруса графа, необходимый при отображении структуры программного средства на аппаратную архитектуру:

1) для каждого яруса для  $n$  программных модулей, размещенных на этом ярусе, могут быть

доступны  $m$  процессорных элементов, причем,  $m \leq n$ .

2) каждый процессорный элемент характеризуется набором квот  $Q = \{q_k\}$  где, например,  $q_1$  – это квота на процессорное время,  $q_2$  – квота на количество используемых ядер процессора,  $q_3$  – квота на объем памяти, занимаемый программой и так далее;

3) считается, что условия обмена данными между процессорными элементами одинаковы.

Для каждой вершины графа (1) задана спецификация программного модуля, которая описывает основные требования к нему. То есть для  $i$ -го программного модуля существует спецификация  $Sp_i = SPC, \forall i = 1, n$ , где  $SPC$  – множество спецификаций вида [16]:

$$Sp_i = \{D^{in}, D^{out}, T^{in}, T^{out}, R^{in}, R^{out}, F\}, \quad (2)$$

где  $D^{in}$  – множество входных массивов данных,  $D^{out}$  – множество выходных массивов данных,  $T^{in}$  – множество типов входных данных,  $T^{out}$  – множество типов выходных данных,  $R^{in}$  – множество правил ввода входных данных модуля,  $R^{out}$  – множество правил вывода выходных данных модуля,  $F$  – множество управляющих воздействий  $i$ -го модуля.

Пусть также задано множество  $Vd = \{v_k\}$ , где  $v_k$  – множество вершин отображающих функцию организации диалога с пользователем.

Требуется определить алгоритм отката результатов вычислительных процессов по заданным контрольным точкам, а также необходимость создания избыточных копий программных модулей.

### 2. Метод решения задачи

Так как для реализации сходных задач допустимо применение одного программного модуля, имеет смысл различать для него семантическое и синтаксическое имя. С этой целью должна быть задана таблица с соответствующими полями, позволяющая установить соответствия между этими именами для заданной вершины.

В результате анализа структуры программного средства также выделены вершины  $v_k \in Vd \setminus \{v_1, v_n\}$ , соответствующие модулям, которые обеспечивают диалог с пользователем. Вершины  $v_1, v_n$  являются, по сути, фиктивными вершинами, позволяющими объединить соответственно множество входов в программу в одну корневую вершину и множество выходов программы в один выход.

Пусть заданы вершины  $v_{14}, v_{17}, v_{18}$  (рис. 1, а), в которых пользователю необходимо осуществлять контроль над работой вычислительных процессов. Для таких вершин может быть сформировано множество подграфов  $G_k \subseteq G$  (рис. 1, б), для которых заданы матрицы смежности  $A_k = \|a_{ij}\|$ .

Для данного примера можно выделить такие подграфы  $G_1, G_2$  и  $G_3$ , для которых существуют следующие множества вершин:

$$G_1 : V_1 = \{v_2, v_3, v_4, v_7, v_8, v_{12}, v_{13}, v_{18}\};$$

$$G_2 : V_2 = \{v_4, v_5, v_8, v_9, v_{10}, v_{14}\};$$

$$G_3 : V_3 = \{v_5, v_{10}, v_{11}, v_{15}, v_{16}, v_{17}\}.$$

Исходя из этого, получаем:

$$V_1 \cap V_2 = \{v_4, v_8\};$$

$$V_1 \cap V_3 = \emptyset;$$

$$V_2 \cap V_3 = \{v_5, v_{10}\}.$$

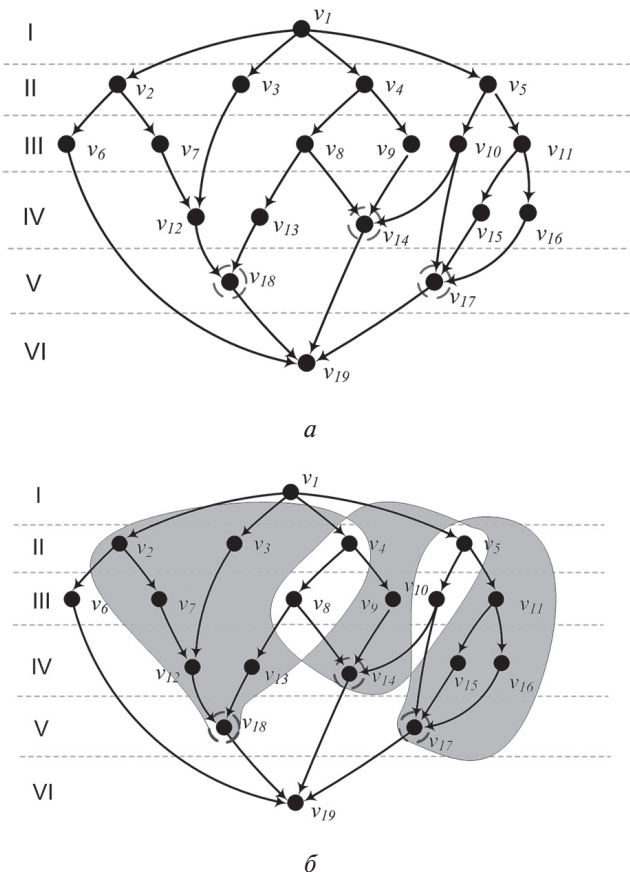


Рис. 1. Ориентированный граф, моделирующий структуру разрабатываемого программного средства:  
 а – ЯПФ графа с обозначенными вершинами, реализующими диалог;  
 б – ЯПФ графа с выделенными подграфами

Для вершин  $v_8, v_4$  и для  $v_5, v_{10}$  возможны три состояния:

- 1) программные модули используют один и тот же выходной набор данных, который затем обрабатывается последующими программными модулями;
- 2) программные модули используют разный выходной набор данных для последующих модулей;
- 3) программные модули позволяют разделять часть своего набора выходных данных между последующими программными модулями.

То есть:

$$\left[ \begin{array}{l} \bigcap_k S p_k(D^{in}) = \emptyset, \forall S p_k(D^{in}) \subset S p_i(D^{out}) \\ \bigcap_k S p_k(D^{in}) \subseteq S p_i(D^{out}), \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $k$  – является индексом вершин, для которых существует дуга  $x_{ik} = (v_i, v_k)$ .

Для того, чтобы узнать, являются ли вершины графа зависимыми от общей вершины, применяется следующая логика [7].

Пусть  $A = \|a_{ij}\|$  – матрица смежности графа (1), в котором исключены общая вершина входа и общая вершина выхода. Пусть дана матрица  $S = A^N$ , где  $N$  – это количество вершин графа. Элементы матрицы  $s_{ij} > 0$  в случае, если вершина  $v_i$  предшествует вершине  $v_j$ .

Получая для матрицы  $S = \|s_{ij}\|$  пересечение столбцов, можно выяснить для пары вершин  $i$  и  $j$ , зависят ли они от общей вершины. Для этого формируется следующая матрица:

$$P = \|p_{ij}\|, \text{ где } p_{ij} = \sum_{k=1}^m s_{ki} s_{kj}. \quad (4)$$

Используя матрицу (4), получают наборы вершин, у которых имеются только одни одинаковые предшествующие им вершины.

Далее получаем матрицу, позволяющую получить обратную характеристику:

$$Q = \|q_{ij}\|, \text{ где } q_{ij} = \sum_{k=1}^m s_{ik} s_{jk}. \quad (5)$$

На основании выражений (4) и (5) можно получить набор независимых и сильнозависимых вершин, то есть тех вершин  $v_i$ , для которых существуют общие вершины  $v_k$  при наличии дуги  $x_{ik} = (v_i, v_k)$  и одновременно с этим существуют общие вершины  $v_j$  при наличии дуги  $x_{ji} = (v_j, v_i)$ . Для получения такого набора вершин необходимо выполнить следующие операции:

$$\overline{P \cup Q} \quad (6)$$

для независимых вершин и

$$P \cap Q \quad (7)$$

для сильнозависимых вершин.

Данные операции позволяют оптимально распределить нагрузку на процессорные элементы с учетом сформированных требований для отображения графа структуры программы на аппаратную архитектуру.

С учетом (3), (6) и (7) удобно использовать модель передачи сообщений или модель общей памяти для организации вычислительных процессов [11]. При этом регулирование процессов осуществляется либо посредством отправки/приема сообщений, либо путем использования семафоров.

Следующей стадией является организация отката вычислительного процесса (backtracking). Для этого для каждого из подграфов  $G_k \subseteq G$  определяются транспонированные матрицы смежности  $A_k^T$ . И для них выполняется операция (6), позволяющая определить вершины графа, в которых, в соответствие с (3), должны создаваться множественные копии данных вычислительных процессов для исключения блокировок записей.

Указанные положения позволяют сформулировать алгоритм, состоящий из следующих шагов:

- 1) получение ациклического графа;
- 2) получение ярусно-параллельной формы графа;
- 3) формирование ограничительных условий на размещение вершин графа для каждого яруса с учетом особенностей аппаратного обеспечения;
- 4) определение программных модулей и соответствующих им вершин графа (1) ответственных за организацию диалога с пользователем;
- 5) формирование для каждого программного модуля спецификации (2);
- 6) получение множества вершин с учетом условия (3);
- 7) определение матриц (4) и (5), и получение множества вершин согласно действиям (6) и (7).

### Выводы

Сформированный граф структуры программной системы является основой для разворачивания программных компонент на аппаратном обеспечении и необходим для эффективного восстановления состояний вычислительных процессов в связи с необходимостью отмены действий посредством пользовательского интерфейса. Данный функционал включается в программный продукт при генерации программы. И позволяет повысить производительность программы за счет сокращения времени обработки запросов пользователей на восстановление данных указанных вычислительных процессов. Для обеспечения возможности отката вычислительного процесса предложен алгоритм приведения исходного граф-представления программного продукта к структуре, требуемой для выполнения поставленной задачи. Метод имеет практическое значение, прежде всего, при проектировании компьютерных систем, предназначенных для автоматизации вычислительных процессов крупномасштабных объектов, таких как проектные организации, производственные компании.

**Список литературы:** 1. Гербер Р. Оптимизация ПО. Сборник рецептов / Р. Гербер, А. Бик, К. Смит, К. Тиан. – СПб.: Питер –2010. – 352 с. 2. Стиренко С.Г. Модель организации вычислений в распределённой системе / С.Г. Стиренко, А.И. Зиненко, Д.В. Грибенко // Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: Век+. – 2012. – № 57. – С. 101-109. 3. Поляков А.Ю. Оптимизация времени создания и объема контрольных точек восстановления параллельных программ / А.Ю. Поляков, А.А. Данекина // Вестник СибГУ-

ТИ. – 2010. – № 2. – С. 87-100. 4. Elnozahy E.N. A survey of rollback-recovery protocols in message-passing systems [Text] / E.N. Elnozahy, L. Alvisi, Y.M. Wang, D.B. Johnson // ACM Computing Surveys. – 2002. – № 3 (34) – P. 375-408. 5. Чайников С.И. Принципы организации вычислений на базе граф-модели предметной области / С.И. Чайников, А.С. Солодовников // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2012. – № 2 (79). – С. 72-75. 6. Алекперов Р.К. Организация распределенных вычислений на базе GRID-технологии / Р.К. Алекперов // «Искусственный интеллект», № 1. – 2011. – С. 6-14. 7. Байцер Б. Архитектура вычислительных комплексов. Т.2: пер. с англ. / Б. Байцер. – М.: Мир, 1974. – 566 с. 8. Жидченко В.В. Комплекс программ моделирования параллельных синхронных вычислительных процессов / В.В. Жидченко // Методы и средства обработки информации: труды второй Всероссийской научной конференции. – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2005. – С. 465-471. 9. Коварцев А.Н. Программный комплекс моделирования параллельных вычислительных процессов PGRAPH 1.0 / А.Н. Коварцев, В.В. Жидченко // Инновации в науке и образовании. – 2006. – № 6. – С. 7. 10. Малышкин В.Э., Корнеев В.Д. Параллельное программирование мультимедийных компьютеров / В.Э. Малышкин, В.Д. Корнеев – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2006. – 452 с. 11. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб.: БВХ-Петербург. – 2002. – 608 с.

Поступила в редколлегию 17.09.2014

УДК 004(4'22+054)

**До питання організації контрольних точок відновлення даних обчислювальних процесів** / С. І. Чайніков, А. С. Солодовников // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 2 (83). – С. 128–131.

Пропонується алгоритм отримання структури, необхідної для організації відкату обчислювальних процесів по заданих контрольних точках і на основі вимог користувачів. Розглянуто принцип оптимізації копій даних обчислювальних процесів, необхідних для коректного відновлення для заданого моменту часу за множинними запитами користувачів.

Л. 1. Бібліогр.: 17 найм.

UDC 004(4'22+054)

**To the question of checkpoints organization for the data of computational processes** / S. I. Chaaynikov, A. S. Solodovnikov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 2 (83). – P. 128–131.

The authors propose an algorithm to obtain the structure that is necessary for organizing backtracking of computational processes data using checkpoints, and based on user requirements. The authors consider the principle of optimization of data copies for computational processes required for proper data recovery.

Fig. 1. Ref.: 17 items.

УДК 008.5

Д.К. Михнов<sup>1</sup>, И.В. Переход<sup>2</sup><sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, mikhnov@kture.kharkov.ua<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, iyc@kture.kharkov.ua

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ БИЗНЕС-МОДЕЛИ БЮДЖЕТНЫХ АВИАКОМПАНИЙ

Рассмотрены особенности построения бизнес-моделей авиакомпаний, в частности для типа бюджетных авиакомпаний. Определено, что наиболее применяемыми характеристиками для моделирования являются предложение ценности, цепочка ценности, сохранение ценности. Одним из ключевых факторов успеха модели являются упрощенные бизнес-процессы. Показано, что успешность концепции существенно зависит от большого набора параметров, на которые накладываются ограничения и правила. Рассмотрены показатели, негативно влияющие на развитие направления бюджетных авиакомпаний в Украине.

БЮДЖЕТНЫЕ АВИАКОМПАНИИ, БИЗНЕС-МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВТОРОСТЕПЕННЫЕ ИЗДЕЖКИ, СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ, МАРШРУТНАЯ СЕТЬ

### Введение

На сегодняшний день развитие авиаиндустрии набирает все большие обороты, в том числе и из-за увеличения потребности в информационных технологиях и продуктах, призванных как упростить работу сотрудников авиапредприятий, так и сделать обслуживание пассажиров более быстрым, качественным и менее затратным.

Среди авиапредприятий выделяют два основных вида авиакомпаний: бюджетные авиакомпании и традиционные авиакомпании.

Бюджетная авиакомпания (англ. low-cost carrier, low-cost airline, также англ. no-frills carrier, discount carrier, budget carrier) — авиакомпания, которая предлагает крайне низкую плату за рейс в обмен на отказ от большинства традиционных пассажирских услуг. Собственно, традиционная авиакомпания предлагает все услуги, которые уже входят в саму цену билета. Основное отличие бюджетной авиакомпании состоит в используемой «бизнес-модели» и «построении системы маршрутов», что исключает любые «сложные издержки» [1].

Изначально бюджетные авиакомпании специализировались на коротких маршрутах, однако, в настоящий момент, с точки зрения развития маршрутной сети, такие перевозчики работают в сегменте ближне/среднемагистральных линий и простых пассажиропотоков. Данная тенденция объясняется ужесточением конкуренции на существующих маршрутах и новыми авиационными соглашениями между странами.

Эффективное использование действующей бизнес-модели возможно на тех рынках, где коммерческие права юридически регулируются на принципах OPEN SKY (открытого неба) [2].

При принятии решения о создании бюджетной авиакомпании или создании такого сегмента внутри действующей необходимо найти ответы на целый ряд вопросов: какую концепцию моделирования бизнес-модели бюджетных авиалиний можно

считать базовой, какие недостатки она содержит, с какими трудностями сталкиваются предприятия, которые, приняв решение о создании бюджетных авиалиний, берут базовую бизнес-модель за основу, какого место в модели технологических операций наземного обслуживания рейсов, какие процессы могут быть оптимизированы по критерию времени для оправдания бизнес-модели бюджетных авиалиний.

Цель статьи — разработка концепции построения бизнес-модели бюджетных авиакомпаний на базе таких основных сущностей как «пассажир», «терминал», «регистрация», «пограничный контроль», «рейс».

### 1. Экономическое влияние на бизнес-моделирование

Экономическая нестабильность — это время для проверки стратегии. Именно в этот период можно увидеть, что сильная бизнес-модель оправдывает себя, всецело возвращая вложенные ресурсы. Существует немало возможностей перестроить бизнес-модель, но для этого аналитикам необходимо быстро ориентироваться в ситуации и приоритетах компании, чтобы активно действовать.

Ключевые факторы успеха (КФУ) — главные определители конкурентного успеха в отрасли.

Одним из таких факторов является наличие упрощенных бизнес-процессов.

Лучшие бизнес-модели основаны на сочетании следующих факторов:

- предложение ценности;
- цепочка ценности;
- сохранение ценности (рис. 1).

В данном контексте ценность рассматривается как характеристика, означающая определенную значимость в системе экономических отношений. Правила присвоения этой оценки могут быть разными. В частных случаях ценность может достигаться путем присвоения денежной оценки, называемой стоимостью.



Максимальная прибыль и рост → Денежный поток → Создание ценности

Рис. 1. Обобщенная схема сочетания факторов ценности в бизнес-моделировании

Главный принцип означает: суть предложения ценности в том, как создать наилучший продукт на рынке. Смысл цепочки ценности заключается в том, как создать ценность по наиболее низкой цене. В свою очередь суть сохранения ценности в том, как защитить прибыль от падения из-за конкурентов или поставщиков. В идеале ключевые факторы объединяются в виде саморазвивающейся системы. Одним из примеров такой системы является так называемый эффект сети, где ключевой фактор формирования ценности — база потребителей. Чем больше пользователей, тем более привлекательным система станет для новых пользователей, что еще больше увеличит базу ресурса. В то же время стоимость привлечения одного пользователя снижается, вследствие чего появляются свободные средства на приобретение ресурсов конкурентов и их пользовательской базы. В конечном итоге это обеспечивает рост прибыли и базы пользователей, а также блокирует вход на рынок конкурентов [3].

Пример реализации бизнес-модели бюджетной авиакомпании представлен на рис. 2.

Таким образом, бизнес-моделирование — это современный тренд в бизнесе, вытесняющий классическое стратегическое планирование. Оно позволяет компании за короткий срок сформировать более четкий и эффективный стратегический фокус и дает ей возможность быстро перестроиться.

## 2. Критерии выделения параметров для разработки концепции бюджетных авиакомпаний

Современные условия авиатранспортного рынка требуют от аэропортовых предприятий повышения качества предоставляемых перевозчикам и пользователям воздушного транспорта услуг при сокращении временных затрат на обслуживание и обеспечение требований по безопасности и регулярности перевозок. Одним из направлений практического решения этой проблемы является оптимизация технологических параметров аэропортовых комплексов.

Как известно, формировать оценку результативности авиакомпании может любая из групп субъектов, имеющая прямое отношение к объекту исследования, и, конечно, такие оценки для каждой из групп различны. Так как рассматриваемая предметная область бюджетных пассажирских авиаперевозок относится к сфере оказания услуг сервиса и напрямую зависит от клиентской базы авиакомпаний, то предприниматели — владельцы таких авиакомпаний решающую роль уделяют мнению пассажиров. Общую оценку авиакомпании с точки зрения пассажиров формируют следующие шесть ключевых составляющих. По силе влияния на итоговую оценку авиакомпании эти шесть составляющих располагаются следующим образом (по убыванию значимости):

– сервис на борту (особенно для пассажиров бизнес-класса);

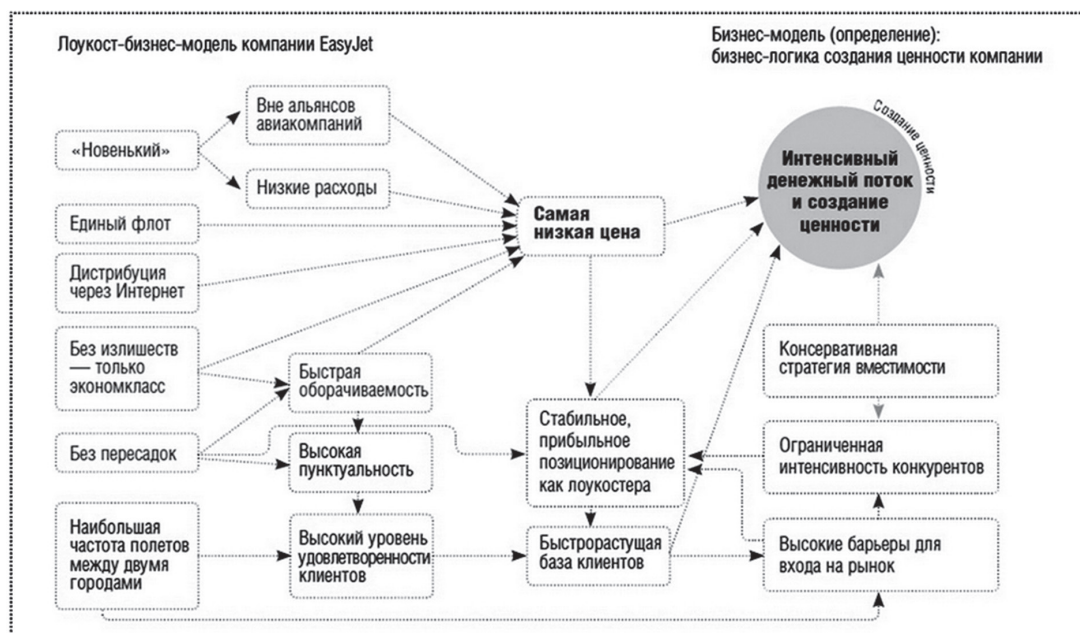


Рис. 2. Пример реализации бизнес-модели бюджетной авиакомпании

- сервис на земле;
- восприятие безопасности (надежности) авиакомпании;
- удобство расписания;
- пунктуальность в выполнении расписания;
- цена.

На рис. 3 представлено влияние оценок частных параметров продукта на общую оценку авиакомпании [4].

Возвращаясь к классификации авиакомпаний, среди бюджетных авиакомпаний выделяют два типа в зависимости от модели:

- классическая бизнес-модель авиакомпании;
- тарифная модель авиакомпании.

Классическая бизнес-модель авиакомпании Low Cost – это концентрация усилий на снижении расходов всеми возможными средствами: полеты во второстепенные аэропорты, полное отсутствие бесплатного сервиса в воздухе и на земле, уменьшенный шаг кресел в салоне самолета и т.п.

К таким авиакомпаниям применяется определение “no frills” (без излишеств) и для них характерно следующее:

- отказ от традиционных видов сервиса на борту: отсутствие питания, разделения салона по классам, более вместительная компоновка салона, что в конечном счете позволяет взять на борт большее количество пассажиров;
- оптимизация маршрутной сети: максимизация использования имеющегося воздушного флота и сокращение времени простоя – чем больше налет, тем меньше совокупные издержки.

Также достичь максимального использования имеющегося воздушного флота можно путем сокращения времени обслуживания воздушного средства (ВС) в аэропорту. Время, необходимое на полное обслуживание и загрузку (turn-around time), является одним из важнейших факторов для авиакомпаний. В любом европейском аэропорту действуют конкурирующие между собой компании по наземному обслуживанию. Бюджетным авиакомпаниям важно получить возможность сэкономить время и деньги на дополнительных услугах, для этого аэропорт должен иметь конкурентную внутреннюю среду (конкуренция между

хендлинговыми компаниями). Хендлинговые компании занимаются обслуживанием пассажиров – это регистрация на рейс, оформление и выдача багажа, доставка пассажиров до борта и с него, работа транспорта на территории летного поля, в том числе тягачей и трапов, и ряд других вопросов, связанных с обеспечением вылета и прилета регулярных рейсов. Стоимость подобных услуг обязательно включена в стоимость каждого авиабилета и составляет немалую ее часть. Либерализация (или отмена естественной монополии) может привести к общему снижению стоимости на 10% – 20%.

Согласно требованиям, каждый аэропорт с пассажирооборотом более 1 млн. человек в год обязан иметь не менее 2-х компаний по обслуживанию на Земле, а с оборотом более 5 млн. человек – не менее трех. Естественная монополия может пока лишь сохраниться в более мелких аэропортах, но это экономически оправдано.

Также у авиакомпании есть возможность сэкономить на сборах за коммерческое обслуживание самолета. Салон убирают стюардессы, что экономит 20 минут на вызове бригады с аппаратурой, кроме того, бюджетный перевозчик самостоятельно привозит питание с собой, так что на загрузке бортового питания экономится еще 20 минут. Таким образом, время стоянки самолета сокращается до 35 минут. Сокращение времени выгодно авиакомпании – это позволяет ускорить оборот самолетов – и аэропорту, у которого быстрее освобождаются мощности: стоянка и персонал. Кроме этого целесообразны:

- унификация воздушного флота авиакомпании. Данное условие позволяет снизить затраты на подготовку летного состава, закупку тренажеров, затраты на запасные части и обслуживание самолета. Бюджетные перевозчики принципиально используют новые ВС. В зависимости от возраста будет зависеть то, сколько времени ВС будет проводить на формах технического обслуживания;
- использование второстепенных аэропортов. Поскольку традиционный билет включает в себя стоимость аэропортовых сборов, то использование вторичных аэропортов позволяет сократить данную статью затрат;



Рис. 3. Влияние оценок частных параметров продукта на общую оценку авиакомпании

– онлайн продажа билетов, что позволяет сократить затраты на содержание собственных представительств и использование глобальных распределительных систем;

– жесткие требования к бесплатным нормам провоза багажа.

Агрессивная модель управления доходами авиакомпании (тарифная модель) предполагает отказ от ряда хендлинговых услуг вне базового аэропорта или выполнение их собственными силами, агрессивные методы топливного хеджирования [5].

### 3. Базовая бизнес-модель бюджетных авиалиний и ее недостатки

Типичная бизнес-модель авиакомпании включает в себя следующие нормированные параметры: А (авиапарк), В (бренд), С (цена), D (распространение), L (время регистрации на рейс), F (аэропорты, в которые открываются маршруты), J (система маршрутов), К (количество пассажирских классов), Т (длительность полёта), R (частота использования самолётов), S (время разворота в аэропорту), P(продукт), Z (дополнительная прибыль), V (места в самолёте), М (сервис на борту самолёта), R (главный фокус), N (целевая группа).

Базовая бизнес-модель авиакомпании имеет вид:

$$M = x_1 \cdot A + x_2 \cdot B + x_3 \cdot C + x_4 \cdot D + x_5 \cdot L + x_6 \cdot F + x_7 \cdot J + x_8 \cdot K + x_9 \cdot T + x_{10} \cdot R + x_{11} \cdot S + x_{12} \cdot P + x_{13} \cdot Z + x_{14} \cdot V + x_{15} \cdot M + x_{16} \cdot R + x_{17} \cdot N + E,$$

где  $x_1 - x_{17}$  весовые коэффициенты,  $E$  – случайная составляющая.

Это модель, в которую факторы входят в виде алгебраической суммы; мультипликативную модель в данном варианте не применяют, т.к. она отображает взаимозависимые связи между параметрами, в случае же, когда один из параметров равен нулю либо отсутствует, модель теряет смысл.

В табл. 1 приведен более детальный анализ параметров бизнес модели [1].

Не сложно заметить, что параметры явно можно разделить на 2 группы:

- качественные параметры;
- количественные параметры.

Отсюда вытекает вывод, что базовую модель нельзя считать оптимальной, т.к. она не учитывает факторные взаимозависимости, а значит, недостаточно адекватно отображает картину реального мира [6].

Слабым местом базовой бизнес-модели является не только проблема определения параметров, взаимозависимостей, но еще и их нормализация. Такая модель может лишь ограниченно отразить действительность не только из-за дефицита данных и несовершенства теорий, но прежде всего ввиду разнообразия явлений и связей в реальном

мире. Кроме того, отклонение планового и фактического результата при просчете модели обусловлено большим весом параметра  $E$  – случайной составляющей [7].

Построить аналитическую модель невозможно: в системе есть временной фактор, причинные связи, последствия, нелинейности, случайные переменные.

### 4. Предложения по улучшению бизнес-модели бюджетных авиалиний

Совершенствование рассмотренной выше бизнес-модели может быть связано с использованием аппарата имитационного моделирования.

Модель должна удовлетворять двум взаимосоключающим условиям – быть достаточно простой и адекватной реальным условиям эксплуатации. Упрощение описания исследуемой системы необходимо для получения возможности формирования зависимостей с последующей их реализацией в программных комплексах. С другой стороны, имитационная модель должна охватывать достаточное количество характеристик исследуемой системы, чтобы быть адекватной. В противном случае моделирование процесса функционирования системы наземного обслуживания воздушных средств (ВС) теряет смысл, поскольку результаты такого моделирования нельзя считать положительными [8].

Основная производственная деятельность аэропорта состоит в реализации технологических процессов обслуживания рейсов, включающих определенный набор операций, состав, длительность и трудоемкость которых зависит от параметров рейса, при этом в качестве единицы измерения модели может быть принят процесс обслуживания одного рейса. Имитационная модель технологических процессов наземного обслуживания рейса должна содержать:

- универсальный алгоритм осуществления процесса, содержащий описание последовательности и взаимосвязи формирующих его операций;
- вероятностные модели отдельных технологических операций, включающие статистические распределения ключевых параметров операций, таких как временная продолжительность, численность привлекаемого персонала, количество используемых технических средств и т.п.

Рациональные ограничения по уровню детализации требуют, чтобы создаваемая модель отражала лишь тот набор технологических операций, который принципиально важен при оптимизации процесса обслуживания перевозок. Для формирования такого набора операций следует:

- рассмотреть технологию обслуживания рейсов, выделив основные операции, в наибольшей степени влияющие на общую продолжительность обслуживания и используемые ресурсы.

Результатом этой процедуры должен явиться модельный технологический график, включающий операции критического пути, справедливый для подавляющего большинства типов ВС;

– провести анализ летно-технических и коммерческих характеристик, а также параметров технологических процессов наземного обслуживания различных типов ВС с целью обоснованного их группирования, позволяющего значительно снизить объем исходных данных, используемых моделью;

– построить модели технологических операций, входящих в модельный технологический график. Результатами этих моделей должны быть

продолжительности описываемых операций и потребности для их выполнения ресурсы [9].

Характеристики технологических процессов, такие как состав и продолжительность технологических операций, задействованные силы и средства зависят от многих факторов, главными из которых являются тип обслуживаемого ВС, категории рейса и перевозки, уровень механизации и автоматизации технического обслуживания. Наиболее полным составом выполняемых операций наземного обслуживания отличаются рейсы, относящиеся к категории обратных и, в несколько меньшей степени, транзитных. Дальнейший анализ ограничен этими двумя видами рейсов.

Таблица 1

Основные характеристики параметров бизнес-модели

Параметр	Описание параметра	Размерность	Бюджетная авиакомпания	Традиционная авиакомпания
A	Авиапарк	N(шт) – количество воздушных средств	Молодой авиапарк (новые самолеты потребляют меньше топлива и реже ломаются)	Авиапарк, в котором в исправности не менее чем 80% от списочного состава
B	Бренд	i (%) – привлекательность по мнению пассажиров	Один бренд: «низкая цена»	Обширный бренд: «цена и сервис»
C	Цена	N (грн) – средняя цена билета	Простое строение цены	Сложное строение цены
D	Распространение	N (шт/год) – количество запросов билетов за год	Интернет	– интернет; – прямой заказ; – туристические фирмы; – посредники
L	Регистрация на рейс	T (мин) – время, требуемое на регистрацию 1 пассажира	Без билета (распечатка из интернета)	Билет и без билета (распечатка из интернета)
F	Аэропорты, в которые открываются маршруты	N (шт) – количество принимающих аэропортов	Второстепенные	Основные («примарные»)
J	Система маршрутов	N (шт) – количество рейсов	От точки до точки («pont-to-point»)	Ступица и спицы («hub and spoke»)
K	Количество пассажирских классов	N (шт) – количество разных расценок на один рейс	Один	Больше чем один
T	Время полёта	T (мин) – время полета	Малое, среднее	Среднее, большое
R	Использование самолётов	N (раз/год) – частота налета на 1 воздушное средство	Интенсивное	Средняя интенсивность
S	Время разворота в аэропорту	T (мин) – время, требуемое на разворот 1 воздушного средства на земле	Максимум 25 минут	Медленно, больше 35 минут
P	Продукт	i (%) – привлекательность по мнению пассажиров	Один продукт	Большое количество интегрированных продуктов
Z	Дополнительная прибыль	N (грн) – средний доход от второстепенных услуг вне полетов	Реклама, продажи на борту	Фокус на основном продукте
V	Места в самолёте	N (шт) – количество пассажирских кресел	Без резерваций, мало места	Резервации, больше места
M	Сервис на борту самолёта	i (%) – привлекательность по мнению пассажиров	В среднем плохой	Надёжный качественный сервис
R	Главный фокус	i (%) – привлекательность по мнению руководства авиакомпании	Полёты	Обслуживание других самолётов, грузовые перевозки
N	Целевая группа	N (шт) – количество сегментов населения	Туристы	Туристы, бизнесмены.

Непосредственное использование в имитационной модели реальных технологических графиков обслуживания рейсов, разрабатываемых и применяемых в действующих аэропортах, невозможно в силу целого ряда причин, среди которых наиболее существенные – это, во-первых, разнообразие вариантов графиков, различающихся в зависимости от типа обслуживаемого ВС, категорий рейса и перевозки и т.п.; во-вторых, чрезмерная детализация отображаемого процесса обслуживания.

Тем не менее, имеющиеся графики могут быть использованы в качестве основы для построения многофакторного модельного технологического графика [10].

Операции, включаемые в этот график, должны удовлетворять трем требованиям:

- выполняться обязательно или в подавляющем большинстве случаев при обслуживании транзитных или обратных рейсов;
- находиться (или возможно находиться) на критическом пути процесса;
- иметь значительную, существенную для рассматриваемого уровня детализации модели продолжительность.

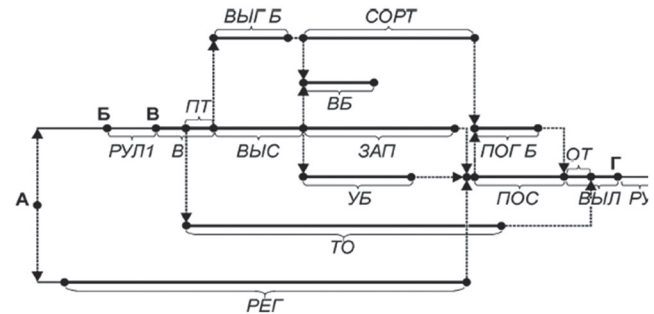
Модельный технологический график, включающий операции, обладающие вышеперечисленными свойствами, и справедливый для описания процесса обслуживания большинства типов ВС, приведен на рис. 4.

Несмотря на то, что параметры операций зависят от типа ВС и частных особенностей конкретного авиаперевозчика, значения их меняются в широких пределах, а в ряде случаев некоторые из операций вообще исключаются из технологического процесса, это не приводит к нарушению связей между операциями графика.

Даже при том, что пассажиры, багаж и операции воздушных судов отличаются, в единой системе все они влияют друг на друга. Цель любой системы аэропорта – эффективно соединить процессы по

критерию минимизации времени. Ниже на рис. 5 приводится описание взаимодействия пассажиров, багажа и воздушных судов в системе аэропорта [11].

Пассажиры начинают прибывать в аэропорт за два часа до времени вылета. Распределение прибытия может быть определено путем подсчета количества пассажиров, прибывающих каждые 10 минут в течение 2-х часов в период регистрации до времени вылета, что показано на рис. 6.



События:

- А – поступление сообщения о движении ВС; Б – посадка ВС; В – прибытие ВС на место стоянки (МС); Г – отправление ВС с МС; Д – вылет ВС.

Операции (или временные интервалы):

- РЕГ – регистрация билетов и оформление багажа вылетающих пассажиров; РУЛ 1 – движение ВС на МС; В – встреча ВС на МС; ПТ – установка трапа; ВЫС – высадка и доставка в аэровокзал пассажиров; ВЫГ Б – выгрузка багажа и транспортировка его в багажные помещения аэровокзала; ВБ – выдача багажа прилетевшим пассажирам; ЗАП – заправка ВС топливом; УБ – уборка салона; ТО – работы по ТО; ПОС – доставка вылетающих пассажиров к ВС и посадка в ВС; СОРТ – сортировка и комплектация по рейсам багажа вылетающих пассажиров; ПОГ Б – транспортировка к ВС и погрузка багажа вылетающих пассажиров; ВЫЛ – работы по выпуску ВС со стоянки; ОТ – уборка трапа; РУЛ 2 – движение ВС с МС.

Рис. 4. Модельный технологический график подготовки ВС

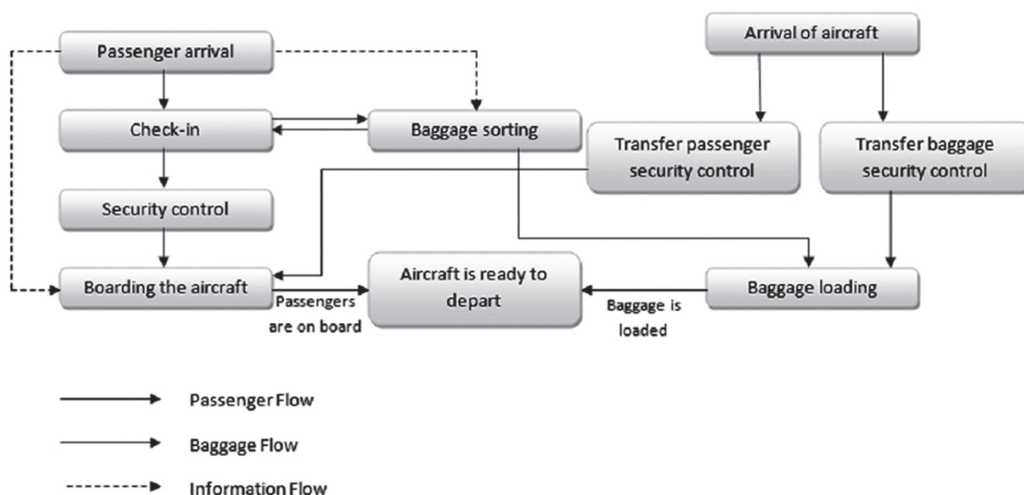


Рис. 5. Диаграмма взаимодействия пассажиров, багажа и воздушных судов в системе аэропорта

Time before departure (minutes)	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Number of passengers	5	6	8	8	10	20	26	25	20	18	4	0	0

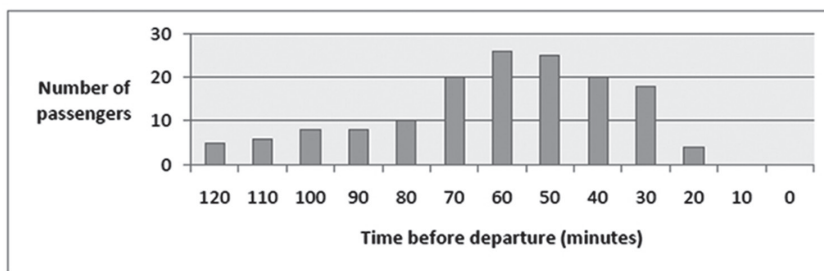


Рис. 6. Диаграмма зависимости числа пассажиров от времени до вылета в момент регистрации

Количество пассажиров, ожидающих посадки на рейс в течение полного операционного дня показано на рис. 7.

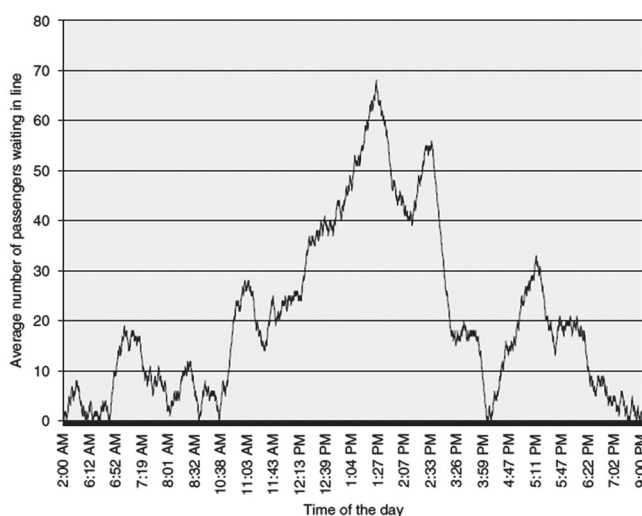


Рис. 7. Количество пассажиров, ожидающих посадки на рейс в течение полного операционного дня

Даже при минимальной аналитике результатов ясно, насколько сильно важна регуляция времени

### Выводы

Наряду с анализом базовой бизнес-модели бюджетных авиалиний при планировании их открытия целесообразно дополнительно проводить имитационное моделирование технологических процессов наземного обслуживания рейса, что позволит, с одной стороны, уточнить готовность аэропорта к обслуживанию таких линий, а с другой — получить более точные данные для базовой модели.

**Список литературы:** 1. Разница между low-cost авиакомпаний и традиционной авиакомпанией. — <http://aviationarticles.wordpress.com/2012/04/30/разница-между-low-cost-авиакомпаний-и-традиц>. 2. Особенности

развития авиакомпаний с бюджетной бизнес-моделью. — <http://www.moluch.ru/archive/41/4873/> 3. Точилка для бизнес-модели. — <http://www.strategy.com.ua/Articles/Content?Id=1095>. 4. Концепция бизнес-модели low-cost (авиакомпаний). — <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=700772>. 5. Low Cost (Бюджетные авиакомпании). — <http://tourweek.ru/guide/transport/7124/>. 6. Management of Aviation Quality and Service — Civil Aviation. — <http://www.iata.org/training/Pages/index.aspx/>. 7. Why Quality Aviation. — <http://www.qualityaviation.com.pk/why-quality-aviation.php/>. 8. Safety and quality for the aviation world. — <http://www.aviation-quality-services.com/13.0.html/>. 9. Силенов М. А. Построение системы критериев оценки качества авиационной техники / М. А. Силенов // Экономические науки. — 2010. — № 6 (67). — С. 76–79. 10. Концепция развития гражданской авиационной деятельности в Украине. — [http://siac.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=933&Itemid=57/](http://siac.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=933&Itemid=57/). 11. Новосельцев В.И. Теоретические основы системного анализа. — М.: Майор, 2006. — С. 321-324.

Поступила в редколлегию 26.09.2014

УДК 008.5

**Концепція побудови бізнес-моделі бюджетних авіакомпаній** / Д.К.Міхнов, І.В.Переход // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 2 (83). — С. 132–138.

В статті розглядається концепція побудови бізнес-моделі бюджетних авіакомпаній. Стверджується, що імітаційне моделювання технологічних процесів наземного обслуговування рейсу дозволить отримати більш точні дані для базової моделі.

Л. 7. Бібліогр.: 11 найм.

UDK 008.5

**The concept of a business model constructing of low cost aviakompaniy** / D.K. Mikhnov, I.V. Perekhod // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 2 (83). — P. 132–138.

In the article the concept of a business model constructing of low cost airlines, is proposed. It is asserted that simulation of airport service processes will provide more accurate data for the base model.

Fig. 7. Ref.: 11 items.

---

**ОБ АВТОРАХ**

---

<b>Бритик Владимир Иванович</b>	88	канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Буцукина Инна Борисовна</b>	96	доцент кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Вечирская Ирина Дмитриевна</b>	30, 53	канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Высоцкая Елена Владимировна</b>	107	канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Гончаров Игорь Эдуардович</b>	53	магистр факультета прикладной математики и менеджмента Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Губаренко Евгений Витальевич</b>	66	канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Данилевич Сергей Борисович</b>	19	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информационных технологий и математики Харьковского гуманитарного университета «Народная украинская академия»
<b>Демин Юрий Альбертович</b>	107	д-р мед. наук, заведующий кафедрой офтальмологии Харьковской медицинской академии последипломного образования
<b>Дударь Зоя Владимировна</b>	122	канд. техн. наук, профессор кафедры программной инженерии, заведующая кафедрой программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Ерохин Андрей Леонидович</b>	61	д-р техн. наук, профессор кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Жилина Елена Юрьевна</b>	88	аспирант кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Иевлев Евгений Сергеевич</b>	79	аспирант кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Иевлева Светлана Николаевна</b>	79	канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной математики Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Имшенецкий Дмитрий Александрович</b>	111	магистр кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Каук Виктор Иванович</b>	122	кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Коваль Федор Федорович</b>	83	д-р физ.-мат. наук, научный сотрудник кафедры прикладной и высшей математики Украинской инженерно-педагогической академии

<b>Кораблев Николай Михайлович</b>	100	д-р техн. наук, профессор кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Лазаренко Ольга Владимировна</b>	15	канд. техн. наук, доцент, заведующая лабораторией когнитивной лингвистики Харьковского гуманитарного университета «Народная украинская академия»
<b>Литвин Олег Николаевич</b>	74	доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой высшей и прикладной математики Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков
<b>Литвин Олег Олегович</b>	83	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей и прикладной математики Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков
<b>Лобанова Людмила Семёновна</b>	74	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей и прикладной математики Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков
<b>Мирошниченко Галина Анатольевна</b>	74	ассистент кафедры систем управления технологическими процессами и объектами Украинской инженерно-педагогической академии
<b>Михаль Олег Филиппович</b>	34	д-р техн. наук, профессор кафедры электронно-вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Михнов Дмитрий Кондратьевич</b>	132	канд.техн.наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Михнова Алина Владимировна</b>	111	канд.техн.наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Наталуха Юрий Владимирович</b>	46	канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Нечипоренко Алина Сергеевна</b>	61	канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Переход Ирина Викторовна</b>	132	студент кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Петров Эдуард Георгиевич</b>	66	д-р техн. наук, профессор кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Процай Наталья Тимофеевна</b>	30	канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
<b>Ревенчук Илона Анатольевна</b>	122	канд. техн. наук, доцент кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Сафоник Андрей Петрович</b>	117	канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации, электротехнических и компьютерно-интегрированных технологий Национального университета водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

<b>Солодовников Андрей Сергеевич</b>	128	ассистент кафедры биологической и медицинской физики и медицинской информатики Харьковского национального медицинского университета
<b>Семенец Валерий Васильевич</b>	46	д-р техн. наук, профессор кафедры метрологии и измерительной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Страшненко Анна Николаевна</b>	107	канд. техн. наук, младший научный сотрудник кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Стрижак Александр Евгеньевич</b>	24	канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, г. Киев
<b>Тарануха Ольга Алексеевна</b>	46	канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии Харьковского национального медицинского университета
<b>Таргоний Иван Николаевич</b>	117	студент специальности автоматизированное управление технологическими процессами Национального университета водного хозяйства и природопользования, г. Ровно
<b>Токарев Владимир Владимирович</b>	46	канд. техн. наук, доцент кафедры электронно-вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Фомичев Александр Александрович</b>	100	ассистент кафедры электронно-вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Чайников Сергей Иванович</b>	128	канд. техн. наук, профессор кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Чалый Сергей Федорович</b>	96	д-р техн. наук, профессор кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Черная Елена Сергеевна</b>	83	научный сотрудник кафедры прикладной и высшей математики Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков
<b>Четвериков Григорий Григорьевич</b>	3	д-р техн. наук, профессор кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Шатовская Татьяна Борисовна</b>	122	канд. техн. наук, доцент кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Шепилов Сергей Игоревич</b>	53	магистр факультета прикладной математики и менеджмента Харьковского национального университета радиоэлектроники

## ПРАВИЛА оформлення рукописів для авторів науково-технічного журналу «БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ»

Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту» приймає до друку написані спеціально для нього оригінальні рукописи, які раніше ніде не друкувались. Структура рукопису повинна бути такою: індекс УДК, заголовок, відомості про авторів, анотація, ключові слова, вступ, основний текст статті, висновки, список використаної літератури.

Відповідно до Постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 (Бюлетень ВАК, №1, 2003, с. 2) стаття повинна мати такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми в даній області; формулювання цілей та завдань дослідження; виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Статті мають бути виконані в редакторі Microsoft Word. Формат сторінки – А4 (210x297 мм), поля: верхнє – 25 мм, нижнє – 20 мм, ліве, праве – 17 мм. Кількість колонок – 2, з інтервалом між ними 5 мм, основний шрифт Times New Roman, кегль основного тексту – 10 пунктів, міжрядковий інтервал – множник (1,1), абзацний відступ – 6 мм. Обсяг рукопису – від 4 до 12 сторінок (мови: російська, українська, англійська).

УДК друкується з першого рядка, без відступів, вирівнювання по лівому краю.

*Назва статті* друкується прописними літерами; шрифт прямий, напівжирний, кегль 12. *Назви розділів* нумерують арабськими цифрами, виділяють жирним шрифтом. Відступи для назви статті, ініціалів та прізвищ авторів, відомостей про авторів, назв розділів, вступу та висновків, списку літератури: зверху – 6 пт, знизу – 3 пт.

*Анотацію* (мовою статті, абзац 4-10 рядків, кегль 9) розміщують на початку статті, в ній має бути розміщена інформація про результати описаних досліджень.

*Ключові слова* (4-10 слів з тексту статті, які з точки зору інформаційного пошуку несуть змістовне навантаження) наводять мовою рукопису, через кому в називному відмінку, кегль 9.

*Рисунки та таблиці* (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумерують арабськими цифрами наскрізно нумерацією за наявності більше ніж одного об'єкта. Невеликі схеми, що складаються з 3-4 елементів виконують, використовуючи вставку об'єкта Рисунок Microsoft Word. Більш складні виконують у графічних редакторах у вигляді чорно-білих графічних файлів форматів .tiff, .jpg, .wmf, .cdr із розділенням 300 dpi. Рисунки мають міститися у текстовому файлі й обов'язково

подаватися окремим файлом з відповідною назвою (наприклад, Рис.1.cdr).

Усі елементи рисунка, включаючи написи, повинні бути згруповані. Усі написи в рисунках і таблицях мають бути виконані шрифтом Times New Roman, кегль у рисунках – 10, у таблицях – 9.

Рисунок повинен мати центрований підпис (поза малюнком), шрифт 9, відступи зверху і знизу по 6 пт. Ширина рисунка має відповідати ширині колонки (або ширині сторінки).

*Формули, символи, змінні*, повинні бути набрані в редакторі формул MathType або Microsoft Equation. Формули розміщують посередині рядка й нумерують за наявності посилань на них у рукописі. Шрифт – Times New Roman. Висота змінної – 10 пунктів, великих і малих індексів – 8 пт, основний математичний символ – 12 (10) пт. Змінні, позначені латинськими літерами, набирають курсивом, грецькі літери, скорочення російських слів і цифри – прямим написанням. Змінні, які є в тексті, також набирають у редакторі формул.

*Список літератури* вміщує опубліковані джерела, на які є посилання в тексті, укладені у квадратні дужки, друкують без абзацного відступу, кегль 9 пт, відступ зверху – 6 пт.

Після списку літератури з відступом зверху 6 пт зазначають дату подання статті до редколегії. Число та місяць задають двозначними числами через крапку. Розмір шрифта – 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

*Реферати* (Times New Roman, кегль – 9 пунктів, 3-4 речення) подають російською та англійською мовами. Реферат не повинен дублювати текст анотації.

Разом із рукописом (на аркушах білого паперу формату А4 щільністю 80-90 г/м<sup>2</sup>, надрукованим на лазерному принтері, у 2-х примірниках) необхідно подати такі документи:

1. Заяву, яку повинні підписати всі автори.
2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друці.
3. Рецензію, підписану доктором наук.
4. Відомості про авторів.
5. Електронний варіант рукопису, реферату та відомостей про авторів.
6. Оплату за публікацію.

Необхідно також зазначити один з наступних тематичних розділів, якому відповідає рукопис:

1. Теоретичні основи інформатики та кібернетики. Теорія інтелекту
2. Математичне моделювання. Системний аналіз. Прийняття рішень
3. Інтелектуальна обробка інформації. Розпізнавання образів
4. Інформаційні технології та програмно-технічні комплекси
5. Структурна, прикладна та математична лінгвістика
6. Дискусійні повідомлення

## INSTRUCTIONS for authors of manuscripts of the scientific journal «BIONICS OF INTELLIGENCE»

---

The scientific journal “Bionics of intelligence” accepts for publication original manuscripts which have not been published earlier. The manuscript structure should be as follows: Universal Decimal Classification (UDC) title, authors’ initials and surname (in alphabetical order), abstract, key words, introduction, main text, conclusions, references.

According to the Editorial board resolution, based on the Presidium Convention of Ukraine’s Supreme Attestation Committee of 15.01.2003 №7-05/1 (Bulletin of Supreme Attestation Committee, №1, 2003, p. 2) manuscripts must have the following required elements: introduction (general statement of a problem and its relation to important scientific and practical tasks; analysis of recent research, publications and highlighting of unsolved parts of the general problem in the given field); formulating aims and tasks of research; presentations of the main research material with full substantiation of scientific results obtained; conclusions and perspectives of further research in the given field.

Manuscripts should be submitted in Microsoft Word. Page format - A4 (210x297mm), margins: top – 25mm, bottom – 20mm; left, right – 17mm. Double column format with 5mm spacing, font – Times New Roman, font size – 10 points, line spacing – multiplier (1,1), indentation – 6mm. The manuscript should be from 4 to 12 pages (languages: Russian, Ukrainian, English).

The UDC is published from the first line, without indentation, the alignment is by a left edge. The title is in capital letters; the type is medium bold-faced Roman; type size 12. The names of sections are of extra bold type and numbered in Arabic figures. There are indentions for the names of manuscripts, initials and surnames of authors, information about authors, the names of sections, introduction and conclusions, references: top – 6 pt; bottom – 3 pt.

An abstract (in the language of a manuscript, an indentation is made up of 4-10 lines; type 9) is in the beginning of an article and contains information about the results of described studies.

Key words (4-10 words from the text of an article, which from the point of view of information search bear sense in the language of a manuscript, by way of a comma in nominative case, type 9).

Figures and tables (black-and-white, sharp and of good quality) should be in a text after a first reference in the form of embedded item and numbered separately by Arabic numerals in case of more than one item. All legends of figures and tables, including inscriptions, must be grouped. All inscriptions in figures and tables must be in Times New Roman, font size in figures – 10, in tables – 9. A table title is to the right above the table

(font size – 9). The figure should contain a centered figure legend (outside a figure), font size 9, in the centre, top and bottom indentions – 6pt. The figure width must agree with the column width (or page width).

Equations, symbols, variables should be submitted in Math Type (Equation). Equations are centered and numbered in case of references in the text. The font – Times New Roman. The size of variable – 10 points, superscript and subscript characters – 8 pt, a main math. symbol – 12 (10) pt. Variables, designated by Latin letters, should be italicized; Greek letters, abbreviations of Russian words and figures should be set in Roman type. Variables which are in the text are also submitted in Math Type (Equation).

References, submitted to the state standards, include published sources that are referred to in the main text in square brackets, without an indentions, 9pt., top indentation – 6 pt.

The date of receiving an article by the Editorial board is designated after the references with top indentions – 6 pt. Date and month should be given in numbers by way of a full stop. The font size – 9 pt, italic type, alignment should be done on the right edge.

Abstracts should be submitted in two languages: Ukrainian and Russian (Times New Roman, 9 pt, 3-4 sentences). The text of a resume must not duplicate an abstract.

The following documents must be submitted together with a manuscript:

1. An application of the following form signed by all the authors:

”You are kindly requested to accept the paper (authors’ full names and the name of an paper should be indicated) in ..... pages (the number of pages should be indicated) for publication in the scientific journal “Bionics of intelligence”. We guarantee the payment.

Information about the authors (surname, first name and patronimic of each authors, place of work, degree, academic status, contact telephone, mailing and electronic addresses should be indicated).

Signatures of authors”.

2. The text of a manuscript on A4 format white color sheets of 80-90gr/m2 density typed on a laser printer.

3. A certificate of expertise about a possibility of having the materials published in the press.

4. A review signed by a doctor of sciences.

5. Information about the authors.

6. An electronic variant of a manuscript, an abstract and information about the authors (on a 3.5” diskette or by electronic mail).

7. A receipt of payment for publication.

*Наукове видання*

**БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ**  
**інформація, мова, інтелект**

Науково-технічний журнал

№ 2 (83)

2014

Головний редактор — *Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко*

Зам. головного редактора — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний редактор — *І. Д. Вечірська*

Коректор — *Л. М. Денісова*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою  
Харківського національного університету радіоелектроніки  
(протокол № 00 від 00.12.2014 р.)

**Адреса редакції:**

Україна, 61166, Харків-166, просп. Леніна, 14,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, к. 127  
тел. 702-14-77, факс 702-10-13,  
e-mail: ira\_se@list.ru

---

Підписано до друку 18.12.2014. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Друк ризографічний.  
Папір офсетний. Гарнітура Newton. Умов. друк. арк. 16,7. Обл.-вид. арк. 16.  
Тираж 100 прим. Зам. № .

Надруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ  
61166, Харків-166, просп. Леніна, 14