

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

**ВІСНИК**  
**Східноукраїнського**  
**національного університету**  
**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 5 (212)**  
**2014**

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

# ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

**№ 5 (212) 2014**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ

ВИХІД З ДРУКУ - ВІСІМНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК

Засновник

Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано

в Міністерстві юстиції України

Свідоцтво про державну реєстрацію

серія КВ № 15607-4079ПР

від 18.08.2009 р.

# VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAHL EAST  
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

**№ 5 (212) 2014**

THE SCIENTIFIC JOURNAL

WAS FOUNDED IN 1996

IT IS ISSUED EIGHTEEN TIMES A YEAR

Founder

Volodymyr Dahl East Ukrainian National  
University

Registered by the Ministry

of Justice of Ukraine

Registration Certificate

KB № 15607-4079ПР

dated 18.08.2009

Журнал включено до Переліків наукових видань ВАК України (Бюл. ВАК №3 2010 р.), (Бюл. ВАК №5 2010 р.), (Бюл. ВАК №3 2010 р.), (Бюл. ВАК №11 2010 р.), (Бюл. ВАК №7 2011 р.) в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з **технічних, економічних, історичних, хімічних та фізико-математичних наук** відповідно.

ISSN 1998-7927

## Головна редакційна колегія:

Голубенко О.Л., член-кор. Національної академії педагогічних наук, докт. техн. наук (головний редактор),  
Осєнін Ю.І., докт. техн. наук (заступник головного редактора),  
Смирній М.Ф., докт. техн. наук (заступник головного редактора),  
*Ber R., dr hab,*  
*Idjer M., dr hab,*  
*Krasowski E., dr hab,*  
*Будіков Л.Я., докт. техн. наук,*  
*Гутсько Ю.І., докт. техн. наук,*  
*Дейнека І.Г., докт. техн. наук,*  
*Куликов Ю.А., докт. техн. наук,*  
*Нечасев Г.І., докт. техн. наук,*  
*Носко П.Л., докт. техн. наук,*  
*Рач В.А., докт. техн. наук,*  
*Соколов В.І., докт. техн. наук,*  
*Ульшин В.О., докт. техн. наук,*  
*Чернецька-Білецька Н.Б., докт. техн. наук,*  
*Chapka M., dr hab,*  
*Рамазанов С.К., докт. техн. наук, докт. екон. наук,*  
*Бузько І.Р., докт. екон. наук,*  
*Козachenko Г.В., докт. екон. наук,*  
*Максимов В.В., докт. екон. наук,*  
*Третяк В.В., докт. екон. наук,*

Данич В.М., докт. екон. наук,  
Заблоцька І.В., докт. екон. наук,  
Свірідова Н.Д., докт. екон. наук,  
Чернявська Є.І. докт. екон. наук,  
Арлінський Ю.М., докт. фіз.-мат. наук,  
Голубничий П.І., докт. фіз.-мат. наук,  
Філоненко А.Д., докт. фіз.-мат. наук,  
Горшков В.Н., докт. фіз.-мат. наук,  
Nowakowski A., dr. hab.,  
Галстян Г.А., докт. хім. наук,  
Глікін М.А., докт. техн. наук,  
Захаров І.І., докт. хім. наук,  
Кондратов С.О., докт. хім. наук,  
Кудюков Ю.П., докт. хім. наук,  
Суворін О.В., докт. техн. наук,  
Новаков В.П., докт. хім. наук,  
Голосман Е. З., докт. хім. наук.,  
*Chernyavskij G., dr. hab.,*  
*Gadushova Z., dr hab.,*  
*Довжук І.В., докт. іст. наук,*  
*Михайлюк В.П., докт. іст. наук,*  
*Сергєнко Ю.Г., докт. іст. наук,*  
*Євдокимов М.О., докт. іст. наук,*  
*Санжаров С.М., докт. іст. наук,*  
*Фомін А.І., докт. іст. наук,*  
*Єліна О.Ю., докт. іст. наук,*

**Відповідальний за випуск:** Марченко Д.М.

Рекомендовано до друку Вченого ради Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 9 від 30. 05. 2014 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2014

© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2014

## ЗМІСТ

### ТЕХНІЧНІ НАУКИ

**Беседа А.А.**

ІССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ОБТЕКАНИИ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА ПОТОКОМ В СЕМЯТУКОПРОВОДЕ .....	7
--	---

**Вітренко В. О., Чесноков О. В., Чорна В. І.**

ПАРАМЕТРИ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ІНСТРУМЕНТУ З ОБОЛОНКОЮ ПРИ РОТАЦІЙНОМУ ВИТЯГАННІ ОБОЛОНКОВИХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ НАВМИСНОГО СТОНШУВАННЯ .....	10
--	----

**Дмитриева О.А.**

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА РЕШАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	15
---	----

**Жукова В.М.**

ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ КОНТИНГЕНТУ ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ТА ШКІЛЬНОГО ВІКУ .....	22
---	----

**Іванов Д.Е.**

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ, ОСНОВАННОЙ НА ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМАХ .....	27
--	----

**Киреев И.Ю., Могильный Г.А., Швыров В.В., Абраменко Р.С.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ .....	33
---	----

**Козуб Ю. Г., Козуб Г. А.**

РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНЫХ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ .....	41
---	----

**Козуб В. Ю., Могильний Г. А., Шкандібін Ю. О.**

АЛГОРІТМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЧИСЕЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОШАРОВОГО СКАНУВАННЯ .....	48
--	----

**Костенко К. О.**

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОШУКУ ПРИХОВАНИХ ПЕРІОДИЧНОСТЕЙ В СИГНАЛАХ .....	53
---	----

**Крамаренко Т. А.**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ В НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ .....	59
---	----

**Малахов К.С., Семенков В.В.**

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРИИ ОНТОЛОГИЙ .....	63
---	----

**Мельников А. Ю., Кравченко К. В., Петренко А. А.**

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ІНТЕЛІГЕНЦІЙНОГО АНАЛІЗА ДАННИХ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦІОННОГО ОБУЧЕННЯ .....	77
---	----

**Мирошниченко И. В.**

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШЕРОХОВАТОСТИ .....	83
--	----

**Молчанова В.С.**

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОНИЖЕНИЯ ШУМА В ИЗОБРАЖЕНИЯХ СКАНИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ .....	89
---	----

**Палагин А. В., Петренко Н. Г., Тихонов Ю. Л., Могильный Г. А.,**
**Величко В. Ю., Семенков В. В., Онопченко С. В.**

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ОБРАЗОВАНИИ .....	94
--	----

<b>Сквирский В. Д.</b>	
ЗАДАЧА КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧЕРНОВОЙ ОБРАБОТКОЙ НА ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКАХ.....	107
<b>Скобцов В.Ю.</b>	
КРАТНАЯ СТРАТЕГИЯ НАБЛЮДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ НАБЛЮДЕНИЯ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТОВ .....	112
<b>Смагина О. О.</b>	
АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ РОЗРАХУНКОМ НАУКОВОГО ТА НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО РЕЙТИНГУ ВИКЛАДАЧІВ КАФЕДРИ УНІВЕРСИТЕТУ .....	119
<b>Ткаченко Р. Н., Зубков В. Е.</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ КРУПНОЗЕРНИСТИХ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	124
<b>Фурса О.А., Швачка А.И., Гаврилюк Ю.В.</b>	
КОМПОНЕНТНИЙ СКЛАД ГУМ ТА МЕТОД ЙОГО КОНТРОЛЮ .....	127
<b>Хмельовой С. В., Землянская С. Ю., Титова А. Ю.</b>	
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ С ИЗВЕСТНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ .....	130
<b>Эль-Хатиб С.А., Скобцов Ю.А.</b>	
КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА СЕГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ МУРАВЬИНЫХ КОЛОНІЙ.....	137
<b>Могильний Г. А., Донченко В. Ю.</b>	
РОЗРОБКА МОДУЛЮ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО ТА ФІЗИЧНОГО СТАНУ, ЯК ЕЛЕМЕНТ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я МОЛОДІ.....	148
<b>Яковенко В.В., Кушнір Н.В.</b>	
МАГНИТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НЕМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	153

## ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

<b>Жучок Т. М.</b>	
ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ В ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ .....	156
<b>Іє О.М., Корячкіна О.В., Онопченко С.В.</b>	
ОСОБЛИВОСТІ ДЕМОГРАФІЧНОГО СТАРІННЯ В УКРАЇНІ.....	161
<b>Іє О. М., Онопченко С. В.</b>	
ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ІГОР В ЕКОНОМІЦІ .....	164
<b>Райко Г. О., Ігнатенко Г.А.</b>	
МЕТОДОЛОГІЯ СТРУКТУРНО-КЛАСИФІКАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ТЕРІТОРІЙ.....	171

## CONTENTS

### TECHNICAL SCIENCES

<b>Beseda A.A.</b>	
STUDY OF RESISTANCE IN COVERSNG OF SEED INTO THE SEED TUCO PIPE .....	7
<b>Vitrenko V. A. Chesnokov A. V., Chernaja V. I.</b>	
PARAMETERS OF THE POWER TOOL INTERACTION WITH THE SHELL AT SPINNING SHELL PARTS WITHOUT DELIBERATE THINNING .....	10
<b>Dmitrieva O. A.</b>	
ENHANCED SUBSYSTEM OF SOLVERS FOR THE DISTRIBUTED PARALLEL SIMULATION ENVIRONMENT .....	15
<b>Zhukova V.M.</b>	
DESIGN AND DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM ACCOUNTING CONTINGENT OF CHILDREN PRESCHOOL AND SCHOOL AGE.....	22
<b>Ivanov D.E.</b>	
CONSTRUCTION OF THE DIAGNOSTIC SYSTEM OF DIGITAL DEVICES BASED ON EVOLUTIONARY ALGORITHMS.....	27
<b>Kiryeyev I.U, Mogilny G.A., Shvyrov V.V., Abramenko R.S.</b>	
MODELING LINES WITH GIVEN CHANGES GEODESIC DEVIATION .....	33
<b>Kozub Y. G., Kozub G. A.</b>	
CALCULATION OF MULTILAYER RUBBER-METALL SHOCK- ABSORBERS IN NON-LINEAR POSITION .....	41
<b>Kozub V. Y., Mogilnyiy G. A., Shkandybin Y. O.</b>	
ALGORITHMS OF VISUALIZATION OF NUMERAL RESULTS WITH THE USE OF LAYER SCAN-OUT.....	48
<b>Kostenko K. O.</b>	
COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR SEARCHING HIDDEN PERIODICITIES IN SIGNALS .....	53
<b>Kramarenko T. A.</b>	
AUTOMATION OF TREATMENT OF DATA OF STATISTICAL ANALYSIS IN RESEARCHES.....	59
<b>Malahov K., Semenkov V.</b>	
ANALYSIS OF THE COMPLEX SOFTWARE SYSTEMS FOR ONTOLOGICAL ENGINEERING PURPOSE.....	63
<b>Melnikov A. Y., Kravchenko K. V., Petrenko A. A.</b>	
THE DEVELOPMENT OF DATA MINING MODULE AT DISTANCE LEARNING SYSTEM .....	77
<b>Miroshnichenko I. V.</b>	
PROBABILISTIC CHARACTERISTICS STATIC MATHEMATICAL MODEL OF ROUGHNESS .....	83
<b>Molchanova V. S.</b>	
THE EFFECTIVE METHOD OF NOISE REDUCTION IMAGES OF THE SCANNED ENGINEERING DRAWINGS .....	89

---

<b>Palagin A., Petrenko N., Tikhonov Y., Mogilny G., Velichko V., Semenkov V., Onopchenko S.</b>	THE QUESTION OF ONTOLOGICAL APPROACH TO EDUCATION .....	94
<b>Skvirskiy V.</b>	THE TASK OF QUASIOPTIMAL CONTROL FOR ROUGHING OF THE HEAVY LATHES.....	107
<b>Skovtsov V.Yu.</b>	MULPTIPLE OBSERVATION TIME STRATEGY AND DEFINING CLOCKS SET IN THE TEST GENERATION PROBLEM .....	112
<b>Smagina O. O.</b>	INFORMATION SUPPORT SYSTEM ANALYSIS OF CONTROL AND MANAGEMENT CALCULATION OF SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL RATING OF UNIVERSITY CHAIR LECTURERS .....	119
<b>Tkachenko R. N., Zubkov V. E.</b>	THE INVESTIGATION OF SEPARATE PROCESS OF LARGE GRAINED FRIABLE AGRICULTURAL PRODUCT.....	124
<b>Fursa O., Shvachka A., Gavriluk Y.</b>	COMPONENT RUBBER COMPOSITION AND METHOD OF ITS CONTROL .....	127
<b>Hmelevoy S., Zemlyanskaya S., Titova A.</b>	DETECTION OF IMAGES OF OBJECTS WITH KNOWN GEOMETRY .....	130
<b>El-Khatib S., Skobtsov Y.</b>	COMPUTER SYSTEM OF MEDICAL IMAGE SEGMENTATION USING ANT COLONY OPTIMIZATION .....	137
<b>Mogilnii G. A., Donchenko V. U.</b>	DEVELOPMENT MODULE AUTOMATION SYSTEM DIAGNOSTIC EVALUATION PSYCHOEMOTIONAL AND PHYSICAL CONDITION, AS PART AUTOMATED SYSTEM DIAGNOSTICS OF YOUTH HEALTH.....	148
<b>Yakovenko V.V., Kushnir N.V.</b>	MAGNETIC METHODS OF MEASURING THE THICKNESS OF NON-MAGNETIC COATINGS.....	153

## ECONOMIC SCIENCES

<b>Zhuchok T. M.</b>	PROBLEMS OF AN IMPLEMENTATION OF INNOVATIONS IN ACTIVITIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF UKRAINE .....	156
<b>Ie O.N., Koryachkina O.V., Onopchenko S.V.</b>	FEATURES OF DEMOGRAPHIC AGEING IN UKRAINE.....	161
<b>Ie O. N., Onopchenko S. V.</b>	THE USE OF GAME THEORY IN ECONOMICS .....	164
<b>Rajko G., Ignatenko G.</b>	THE METHODOLOGY OF STRUCTURAL AND CLASSIFICATION ANALYSIS IN THE REGION COMPETITIVE CAPACITY MANAGEMENT .....	171

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 631.361

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ОБТЕКАНИИ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА ПОТОКОМ В СЕМЯТУКОПРОВОДЕ

**Беседа А.А.**

### STUDY OF RESISTANCE IN COVERSNG OF SEED INTO THE SEED TUCO PIPE

**Beseda A.A.**

*Робота посвящена исследованию движения посевного материала в системе (высевающий аппарат – семятукопровод – направитель – лаповый сошник – распределительное устройство), теоретически описано влияние сопротивления при обтекании посевного материала (озимая пшеница) с учетом формы его удобообтекаемого тела потоком в семятукопроводе, при условии пневмомеханической подачи.*

**Ключевые слова:** лобовое сопротивление, обтекаемое тело, сила, семяпровод, посевной материал, форма тела, пневмотранспортирование.

**Введение.** Исследовать сопротивления при обтекании посевного материала потоком в семятукопроводе посевых машин.

Одним из факторов, которые влияют на поток посевного материала при движении в семятукопроводе и его конструктивных элементах распределения – сила сопротивления при обтекании посевного материала потоком.

Аналогичные проблемы относительно земледельческой механики решались академиком П.М. Заикой [1], профессором И.В. Морозовым [2] и др.

Рядом авторов исследовалось влияние направляющих элементов на посевной материал в сошниках, на качество высева сельскохозяйственных культур [3-4], но при этом они рассматривают посевной материал как круглое тело или материальную точку, не учитывая структурную форму профиля зерна.

Исследовать сопротивления при обтекании посевного материала потоком в семятукопроводе посевых машин.

**Изложение основного материала исследования.** При движение посевного материала в системе: высевающий аппарат – зернотукопровод – направитель – лаповый сошник – распределительное устройство. В условиях пневмомеханической подачи учитываются

следующие варьируемые величины: скорость воздушного потока формирует давление подающегося в семятукопровод; форма и размеры направителя и распределителя, длина участков семятукопровода и радиусы закругления семятукопровода; углы поворотов зернотукопровода, расход посевного материала (зерна) в единицу времени, а также сопротивление материала.

На начальном этапе моделирования процесса распределения посевного материала принимаем, зерновые культуры (озимая пшеница), имеющая средние размеры: длина  $d_x=6,3$  мм, ширина  $d_y=2,8$  мм, толщина  $d_z=2,6$  мм и массу  $m=0,045$  г.

Пр этом посевной материал двигается в воздушном потоке (рис.1.) под действием силы тяжести, периодически испытывая соударения со стенками семятукопровода, распределителя и свода стрельчатой лапы.

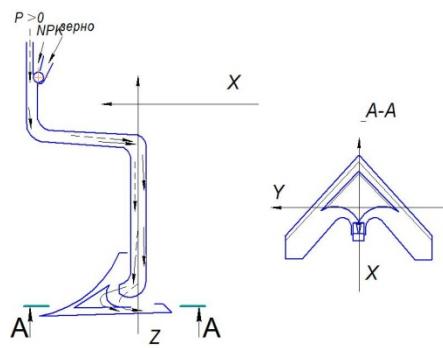


Рис. 1. Схема движения посевного материала в семятукопроводе

Нами было сделано допущение, что посевной материал необходимо рассматривать как достаточно упругое тело с формой поверхности в виде эллипсоиды вращения, учитывающее, однако, высокие прочностные свойства до момента появления первичных трещин [4].

Сопротивление участков семятукопровода и его конструктивных элементов, в которых помещены тела, обтекаемые потоком, складываются из сопротивления собственного участка  $\zeta_{\text{уч}}$  (для прямого участка это сопротивление трения) и сопротивления тела  $\zeta$ :

$$\zeta \equiv \frac{\Delta \rho}{\rho \cdot w_0^2 / 2} = \zeta_{\text{уч}} + \zeta. \quad (1)$$

Мощность, требуемая на преодоление сил сопротивления тела, обтекаемого потока в семятукоповоде и конструктивных элементов, выражается через силу лобового сопротивления  $P_x$  этого тела

$$\Delta N = P_x \cdot w_{\text{мест}}. \quad (2)$$

Указанная мощность может быть выражена через коэффициент местного гидравлического сопротивления участка трубы, в котором помещено тело:

$$\Delta N = \rho \cdot w_0^2 / 2 \cdot w_0 \cdot F.$$

Сила лобового сопротивления

$$P_x = c_x \cdot S_m \cdot \rho \cdot w_0^2 / 2, \quad (3)$$

где

$$w_{\text{мест}} = w / (1 - \tau \cdot S_m \cdot F_0); \quad (4)$$

$c_x$  – коэффициент лобового сопротивления тела, зависящий от формы тела, числа Рейнольдса  $R_e' = w_0 \cdot d_m / V$  и других параметров;  $S_m$ ,  $d_m$  – соответственно миделева площадь ( $\text{м}^2$ ) и диаметр или наибольшая сторона (м) миделева сечения тела;  $w_{\text{мест}}$  – местная скорость потока (в живом сечении  $(F_0 - S_m)$ ), т.е. скорость в сечении трубы,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $w$  – скорость в данной точке сечения перед телом,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $\tau$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы тела и сужение поперечного сечения трубы; для тел обтекаемой формы  $\tau \leq 1,0$ ; для других тел  $\tau \geq 1,0 \cdot (3)$  [3].

Совместное решение уравнений (1-3) выявляет связь между коэффициентом местного сопротивления  $\zeta$  и коэффициентом лобового сопротивления  $c_x$  тела:

$$\zeta = c_x \cdot S_m / F_0 \cdot (w_{\text{мест}} / w_0)^3. \quad (5)$$

## Результаты исследований.

Важным фактором, влияющим на коэффициент лобового сопротивления тела, является форма его профиля. Чем более обтекаемую форму имеет тело, тем меньше отрыв потока и вихреобразование, а, следовательно, меньше его лобовое сопротивление. Поэтому там, где это только возможно, следует использовать тела обтекаемой формы. Удобообтекаемая форма профиля тела характеризуется плавно закругленной передней частью и более длинной клинообразной задней частью (рис. 2).

К телам удобообтекаемых форм относятся и эллиптические цилиндры, а также круговые цилиндры, снабженные задними обтекателями. Для таких тел коэффициент лобового сопротивления получается выше, чем для тел, профилированных по данным таблицы 10-2 [3]. Однако ввиду большей простоты построения такие тела часто применяются на практике.

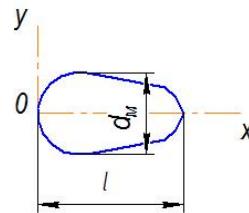


Рис. 2. Профиль удобообтекаемого тела

**Выводы.** Рассмотренные связи и зависимости сопротивления при обтекании в потоке позволяют представить общую схему движения полёта посевного материала в системе семятукопровод – направитель – распределитель – лаповый сошник – почва, при условии пневмомеханической их подачи, после столкновения (друг с другом, со стенками семятукопровода и конструктивными элементами лапового сошника).

В общем случае скорость течения в трубе распределена неравномерно по сечению; поэтому сопротивление тела зависит и от места расположения его в сечении.

## Література

1. Заика П. М. Избранные задачи земледельческой механики / Заика П. М.. – Киев : издательство УСХА, 1992.
2. Морозов І.В. До обґрунтования параметрів спрямовуючих елементів для насіння в робочих органах сівалок / І.В. Морозов, В.Г. Власенко, М.Г. Доценко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 75, «Механізація сільськогосподарського виробництва», Том 1 Харків., – 2008 р. – С. 83–89
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.
4. Беседа А.А. Повышение эффективности технологического процесса подпочвенно–разбросного

посева зернових культур распределительно–задельвающими устройствами: дис. канд. техн. наук : 05.05.11; Затв. 26.09.2012. – Луганск 2012.–161 с.

#### References

1. Zaika P.M. Izbrannyye zadachi zemledelcheskoy mekhaniki. – Kiyev : izdatelstvo USKhA, 1992.
2. Morozov I.V. Do obrunnuvannya parametiv spryamovuyuchikh yelementiv dlya nasinnya v robochikh organakh sivalok / I.V. Morozov, V.G. Vlasenko, M.G. Dotsenko // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. Vipusk 75, «Mekhanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva», Tom 1 Kharkiv., – 2008 р. – С. 83–89
3. Idelchik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam / Pod red. M.O. Shteynberga. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroyeniye, 1992. – 672 s.: il.
4. Beseda A.A. Povysheniye effektivnosti tekhnologicheskogo protsessa podpochvenno–razbrosnogo poseva zernovykh kultur raspredelitelno–zadelyvayushchimi ustroystvami: dis. kand. tekhn. nauk : 05.05.11; Zatv. 26.09.2012. – Lugansk 2012.–161 s.

**Беседа О.О. Дослідження опору при обтіканні посівного матеріалу потоком у сем'ятукопроводі**

Робота присвячена дослідженню руху посівного матеріалу в системі (висиваючий апарат – сем'ятукопровід – напрямлювач – лаповий сошник – розподільний пристрій), теоретично описано вплив опору при обтіканні посівного матеріалу (озима пшениця) з урахуванням форми його удобообікасемого тіла потоком в сем'ятукопроводі, за умови пневомеханічної подачі.

**Ключові слова:** лобовий опір, обтікаєме тіло, сила, сем'япровід, посівний матеріал, форма тіла, пневмотранспортування.

#### Beseda A.A. Study of resistance in covering of seed into the seed tuco pipe

*Work is devoted to resistance at a covering of seed with regard to the shape of his thind streamlined covering in seed tuco pipe mechanical air supply. The paper studies the movement of seed system (sowing apparatus – seed tuco pipe – guide – tine opener – grain crops) theory describes the impact resistance at a covering of seed (winter wheat) with regard to the shape of its seeds streamlined covering in seed tuco pipe provided pneumatic mechanics conveying. In general, the flow velocity in the tube is not evenly distributed over the cross section; so the resistance of the thing depends on its location in the cross section.*

**Key words:** streamlined thing, strength, seed tube, seed, object shape, pneumatic conveying, frontal resistance.

**Беседа Олександр Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Луганськ

**Beseda Alexander**, Ph.D., Associate Professor of Technology and Professional Education Lugansk Taras Shevchenko National University, Lugansk

Рецензент: **Данич В.М.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 17.04.14

УДК 621.983.44.01

## ПАРАМЕТРИ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ІНСТРУМЕНТУ З ОБОЛОНКОЮ ПРИ РОТАЦІЙНОМУ ВИТЯГАННІ ОБОЛОНКОВИХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ НАВМИСНОГО СТОНШУВАННЯ

Вітренко В. О., Чесноков О. В., Чорна В. І.

### PARAMETERS OF THE POWER TOOL INTERACTION WITH THE SHELL AT SPINNING SHELL PARTS WITHOUT DELIBERATE THINNING

Vitrenko V. A. Chesnokov A. V., Chernaja V. I.

*Розглянуто неосесиметричний напруженний стан оболонки від локально прикладеного деформуючого зусилля при ротаційній витяжці. Виділено центр деформації і визначені напруги вздовж граней елементарної ділянки, виділеного на поверхні оболонки меридіональними і широтними перетинами. Отримано залежності для визначення напруженого стану металу в осередку деформації. Визначено умови рівноваги на кордоні осередку деформації. Для ідеально-пластичного матеріалу оболонки визначені силові параметри ротаційної витяжки.*

**Ключові слова:** ротаційний витяг, оболонкові деталі, деформації, напруження, сила.

Деталі типу тонкостінні тіла обертання поширені у промисловості. Випускати такі деталі складної форми та дрібносерійно штампуванням економічно невигідно. Тому застосовують більш гнучкий технологічний процес ротаційну витяжку (РВ), що дозволяє у стислий термін виготовити деталі складної форми з високою точністю.

РВ надто складний процес, достовірно описати його та явища, що відбуваються у системі заготовка-інструмент-обладнання поки що неможливо [1]. Дослідження процесів РВ переважно велись для вирішення конкретних технологічних завдань і у подальшому систематизувались у виді емпіричних залежностей. Способи та процеси РВ різних матеріалів розглянуто у монографії М.І. Могильного [2], що є найбільш цитованою при розгляді РВ.

РВ на відміну від штампування характеризується локальним застосуванням навантаження, що переміщається по гвинтовій лінії. У кожен момент часу має місце деформація лише обмеженого об'єму металу (центра деформації), хоча швидкість обертання заготовки порівняно висока. Локальне натискання деформуючого навантаження на заготовку не дозволяє для аналізу напруженено-

деформованого стану центра застосовувати як осесиметричну задачу, що розглядається при формоутворенні аналогічних оболонок штампуванням.

Унаслідок зосередження деформуючих зусиль на невеликій ділянці оболонки і складності явищ, теоретичні дослідження напруження і деформацій, а також розробка науково-обґрунтованого методу визначення силових і кінематичних параметрів цього процесу утруднені.

У роботах В.М. Моїсеєва [3] і П.Ф. Григор'єва [4] розглянуто схему прикладання деформуючого зусилля до заготовки в процесі формоутворення з урахуванням лише зони контакту заготовки і ролика. Зусилля ротаційної витяжки визначали на підставі методу балансу робіт, застосування якого стало можливим після визначення геометричних параметрів центра деформації і визначення роботи деформацій. Таким чином, теоретичні дослідження зводилися до розв'язку неосесиметричної задачі в площині обертання оболонки, що деформувалася.

Вказані дослідження дозволили наблизено визначити деформації в площині обертання деталі і знайти зв'язок між напруженням і деформацією. Розроблена методика аналітичного визначення деформуючих зусиль у функціях основних технологічних чинників в першому наближенні.

У реальному процесі при деформації, оболонки утворюється центр деформації що складається з двох ділянок: вільного вигину (позаконтактною деформацією) і контактного (деформація на поверхні, що контактує з давильним роликом).

Враховуючи реальну схему деформації оболонки, у роботі [1] визначено основні геометричні розміри центра контактної зони деформації при РВ конічної оболонки одним роликом та радіус кривизни позаконтактної зони центра деформації в перетині головного меридіана на підставі аналізу епюр від елементарних сил,

спричинених широтним та меридіональним напруженням. Визначено площу контактної зони при деформації ідеально-пластичної оболонки та деформації при РВ, нехтуючи пружною деформацією. Отримані результати створюють передумови для уточненого визначення напруженодеформованого стану металу у зоні деформації і більш точного визначення технологічних параметрів РВ.

Визначення напруженого стану металу в центрі деформації є важливим завданням, вирішення якого дозволяє точніше управліти процесом формоутворення оболонки в процесі витискування. Особливого значення ці параметри набувають при безопорному способі РВ, коли процес проводиться на граничних значеннях стійкості металу оболонки.

Мета роботи полягає у визначенні залежностей силової взаємодії інструменту з оболонкою при ротаційному витяганні без навмисного стонування в процесі формоутворення оболонки під впливом локального натиску давильного ролика для створення передумов уточненого визначення напруженодеформованого стану металу у зоні деформації та зусиль деформації.

При РВ має місце локальний додаток деформуючого зусилля до оболонки. Внаслідок неосесиметричного характеру навантажень оболонки у ній виникає дотичне напруження уздовж граней елементарної ділянки, виділеної на поверхні оболонки меридіональними і широтними перетинами.

При відносно малої товщини заготовки (відношення товщини заготовки  $S$  до радіусу деформації  $R_\rho$  менш 0,2 при  $R_\rho = \text{const}$ ) на деякій ділянці схему напруженого стану приблизно можна вважати плоскою.

При РВ контактне дотичне напруження на поверхні, спричинене силами тертя, дуже незначне, що дозволяє в більшості випадків вести процес без змашування. Таким чином, при складанні рівнянь рівноваги можна нехтувати елементарними поверхневими силами  $\mu\tau_k$  і не підрозділяти центр деформації на контактну і позаконтактну зони.

Характер дотичного напруження в елементі поверхні, виділеному в центрі двома нескінченно близькими меридіональними перетинами, кут між якими дорівнює  $d\theta$ , і двома широтними перетинами, один з яких перпендикулярний осі обертання, а інший є конічним перетином, нахиленим до першого під кутом  $d\theta$ . Цей елемент представлений на рис. 1. Грані елемента, на які діє нормальні і дотичне напруження, приймемо перпендикулярними до серединної поверхні елемента і, таким чином, без врахування зміни товщина уздовж елемента може бути прийнята постійною і рівною  $S$ .

З рис. 1 витікає, що елементарна ділянка утворена перетином чотиригранної піраміди з вершиною на осі обертання оболонки. Всі чотири

грані піраміди мають кут біля вершини, що дорівнює  $d\theta$ , найбільш коротке ребро завдовжки  $\rho$ , перпендикулярне до осі обертання. Площа грані  $oad$  також перпендикулярна осі. Визначимо сторони елемента:

$$\begin{aligned} ad &= \rho d\theta \frac{\cos \frac{\partial \theta}{2}}{\cos(\mu + \partial \theta)} \approx \frac{\rho d\theta}{\cos \mu}, \quad ab \approx \frac{\rho d\theta}{\cos v}, \\ cb &= \frac{\rho d\theta}{\cos \mu \cdot \cos \xi}, \quad cd = \frac{\rho d\theta}{\cos \mu \cdot \cos v}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\xi$  - кут нахилу виділеної площині до осі обертання.

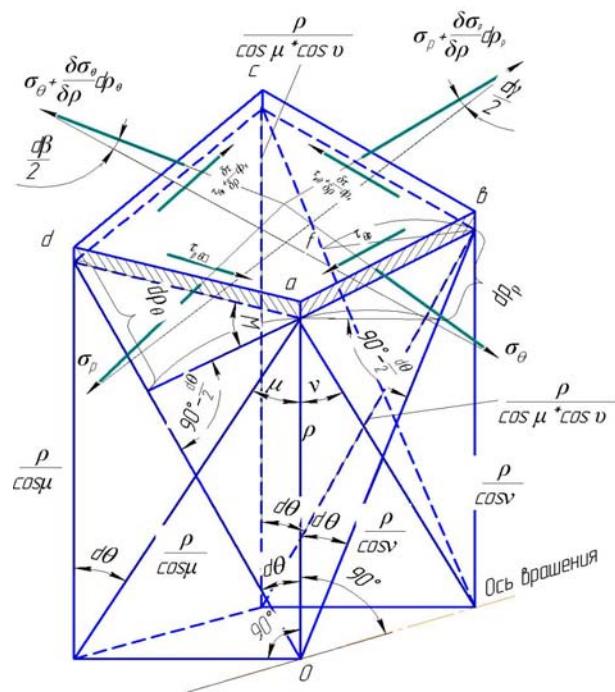


Рис. 1. До визначення напруження в центрі деформації

Складемо рівняння рівноваги елемента оболонки, проекуючи всі сили на головну широту, яке у окремому випадку, коли  $\mu = 0$ , що має місце на головному меридіані і на межі осередку деформації, буде таким:

$$\tau_{\rho\theta}(1 - \cos \xi) - \tau_{\theta\rho}(1 - \cos \xi) + \frac{\partial \tau}{\partial \rho} d\rho_\rho = 0 \quad (2)$$

оскільки  $\tau_{\rho\theta} = \tau_{\theta\rho}$ ,  $d\tau = 0$ .

Задача зводиться до осесиметричної, розглянутої в літературі, присвяченій витяжці у штампах [5]. Можна вважати, що дотичне напруження з'являється в оболонці при  $\mu \geq 0$ . Оскільки найбільшого значення кут  $\mu$  набуває в точці С (рис. 1) і поступово убуває до нуля вліво і вправо від неї. Якщо врахувати, що кут  $\mu$  в реальному процесі не перевищує 50, то слід

очікувати, що максимальне значення дотичного напруження невелике і в подальших висновках ним можна нехтувати.

Повторне виведення рівняння рівноваги без участі в ньому дотичного напруження дозволяє визначити кут  $\gamma$ :

$$d\gamma = \frac{\cos \mu}{\cos \xi} \times \frac{d\rho_\theta}{\rho}; \quad (3)$$

Складемо рівняння рівноваги, проекуючи всі сили від нормальних напружень на широту з врахуванням формули (3). Після скорочення та з урахуванням того, що  $\sigma_\rho = \sigma_\theta + \sigma_s$ , після інтегрування отримаємо рівняння:

$$\frac{\sigma_\theta(1-\cos \mu)}{(\sigma_\theta + \sigma_s)(\cos \xi + 1)} + \frac{\ln \left| (\sigma_\theta + \sigma_s)(\cos \xi + 1) \frac{\cos \mu}{2 \cos \xi} \right|}{(\cos \xi + 1) \frac{\cos \mu}{2 \cos \xi}} = \ln \rho + C \quad (4)$$

Зупинимося детальніше на виведенні умови рівноваги на межі центра деформації. З рівняння (2) випливає, що при  $\mu = 0$  дотичне напруження відсутнє. Умова  $\mu = 0$ , як було сказано вище, має місце на межі центра деформації. В цьому випадку напруження  $\sigma_\rho$  і  $\sigma_\theta$  можна вважати головним напруженням, тобто  $\sigma_\rho = \sigma_1$  і  $\sigma_\theta = \sigma_3$ . Виберемо нахилені площини так, щоб напруження  $\sigma_y$  було спрямоване по дотичній до межі осередку а  $\sigma_x$  нормальню до неї. Вісь дії напруження  $\sigma_x$  перетнеться з головним меридіаном під кутом  $\alpha$ . Приймемо напруження  $\sigma_x$  вздовж всієї лівої межі в будь-якій її точці таким, що дорівнює нулю. Оскільки перехід елементів заготовки з частини заготовки, що не деформується, з радіусом  $\rho_0$  у центрі деформації на межі супроводжується зменшенням радіуса кривизни серединної поверхні, то як граничну умову можна було б прийняти умову, по якій при  $\rho = \rho_0$  (на межі центра деформації) величина  $\sigma_x$  має дорівнювати  $\Delta\sigma_x$ , тобто приросту напруження  $\sigma_x$ , що спричиняється згином елементів заготовки. Проте зміна кривизни серединної поверхні при вимірюванні її вздовж дії  $\sigma_x$  незначна (має менше значення, визначеного за формулою (8.52) [5] і тому ним можна нехтувати).

При визначені деформуючого зусилля, коли всі широтні перетини, що проходять через контактну зону центра, перетинають ліву межу у точках, де  $\alpha$  мало відрізняється від  $\pi/2$ , умову на межі для всіх цих перетинів можна приймати  $\sigma_\rho = \sigma_s$ ;  $\sigma_\theta = 0$ . Це гранична умова і використана

при знаходженні у формулі значення довільної постійної С:

$$C = \frac{\ln \left[ \sigma_3 (\cos \xi' + 1) \frac{1}{2 \cos \xi'} \right]}{(\cos \xi' + 1) \frac{1}{2 \cos \xi'}} - \ln R'''. \quad (5)$$

Всі широтні перетини, що проходять усередині цієї зони, перетинають ліву межу в точках, де дотичні до межі приблизно можна вважати паралельними головному меридіану, тобто  $\alpha \approx 0$ . Аналогічно визначимо такі напруження:

$$\sigma_\theta = \frac{\left( \frac{\rho}{R'''} \right)^{\frac{\cos \xi + 1}{2 \cos \xi}} \times \left[ \sigma_s (\cos \xi' + 1) \frac{1}{2 \cos \xi'} \right]^{\frac{\cos \xi' \times \cos \xi + 1}{2 \cos \xi \cos \xi' + 1}}}{(\cos \xi + 1) \frac{1}{2 \cos \xi}} - \sigma_s + \frac{\sigma_s \cdot S}{2} \left( \frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_{pol}} \right) \quad (6)$$

$$\sigma_\rho = \frac{\left( \frac{\rho}{R'''} \right)^{\frac{\cos \xi + 1}{2 \cos \xi}} \times \left[ \sigma_s (\cos \xi' + 1) \frac{1}{2 \cos \xi'} \right]^{\frac{\cos \xi' \times \cos \xi + 1}{2 \cos \xi \cos \xi' + 1}}}{(\cos \xi + 1) \frac{1}{2 \cos \xi}} + \frac{\sigma_s \cdot S}{2} \left( \frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_{pol}} \right) \quad (7)$$

Оскільки контактним тертям ролика по оболонці нехтуємо, приріст напруження від сил тертя також мале і не враховується. Таким чином, формули (6) і (7) можна вважати допустимими при визначені напруження на головному меридіані на ділянці контактної зони центра деформації.

Визначимо контактні напруження у осередку деформації. Кривизна оболонки в контактній зоні, вимірювана у напрямі широтних перетинів, визначається кривизною ролика  $R_{pol}^{-1}$ . При складанні рівняння рівноваги вважатимемо, що радіус ролика в широтному перетині не змінюється. Приймемо, що величина  $R'_{pol}$  враховує половину товщини оболонки, тобто  $R'_{pol} = R_{pol} + S/2$ .

Вважаємо також, що площа ролика перпендикулярна до серединної поверхні елемента, якщо останній розглядаємо як плоску площину.

Складемо рівняння рівноваги елемента, в якому після скорочень і нескладних перетворень знайдемо відоме рівняння Лапласа для випадку РВ. Застосувавши умову пластичності, отримаємо:

$$\sigma_k = - \left[ \sigma_\rho \left( \frac{1}{\rho_{cp}} + \frac{1}{R_{pol}} \right) - \frac{\sigma_s}{R_{pol}} \right] S. \quad (8)$$

Наведені формулі для визначення меридіонального, широтного і контактного напруження при визначенні площини контактної зони центра деформації за роботою [1] дозволяють знайти величину деформуючого зусилля. Величину деформуючого зусилля при РВ оболонки з матеріалу, що не зміцнюється, можна визначити за формулою:

$$P = F \cdot \sigma_{\kappa_{cp}} \quad (9)$$

У формулі (9) наведено середнє для всієї контактної площини значення контактного напруження. Воно може бути вираховане як середнє арифметичне значення контактних напружень на головному меридіані і на головній широті. Середнє меридіональне контактне напруження  $\sigma_{\kappa_{cp}}^M$  можна визначити, якщо підставити напруження  $\sigma_{\rho_c}$ , тобто меридіональне напруження в  $\sigma_{\kappa_{cp}}$  точці з координатою, яка, як було сказано вище, ділить ширину контактної зони навпіл. В цьому випадку:

$$\sigma_{\kappa_{cp}}^M = - \left[ \sigma_{\rho_c} \left( \frac{1}{\rho_{cp}} + \frac{1}{R_{pol}} \right) - \frac{\sigma_s}{R_{pol}} \right] \cdot S. \quad (10)$$

Оскільки перепад діаметрів  $2R''$  і  $2r_c$  у реальному процесі незначний, можна прийняти, що зміни меридіонального напруження  $\vartheta_\rho^M$  уздовж широти в контактній зоні малі і, не вираховуючи значення  $\vartheta_\rho^w$  на лівій межі контактної зони центра деформації, можна прийняти, що:

$$\sigma_{\kappa_{cp}} \cong \sigma_{\kappa_{cp}}^M. \quad (11)$$

Напруження  $\sigma_{\rho_c}$  в (10) можна визначити з формули (7). Проте приrostи напруження від згину по широті  $\sum \Delta \sigma_\theta$  слід прийняти за формулою:

$$\sum \Delta \sigma_\theta = \frac{\sigma_s \cdot S}{4} \left( \frac{1}{\rho_{cp}} + \frac{1}{R_{pol}} \right), \quad (12)$$

оскільки в межах контактної зони ще не відбувається повторне розпрямлення елементів оболонки з радіуса  $R_{pol}$  до  $R \approx \infty$  і потім до  $R = r_c$ . З урахуванням наведеного формула (7) запишеться так:

$$\sigma_{\rho_c} = \frac{\left( \frac{r_c}{R''} \right)^{\frac{\cos \xi + 1}{2 \cos \xi}} \left[ \sigma_s (\cos \xi' + 1) \frac{1}{2 \cos \xi} \right]^{\frac{\cos \xi' \times \cos \xi + 1}{\cos \xi \times \cos \xi' + 1}}}{(\cos \xi + 1) \frac{1}{2 \cos \xi}} + \frac{\sigma_s \cdot s}{4} \left( \frac{1}{r_c} + \frac{1}{R_{pol}} \right) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \xi &= \varphi_1 + \frac{\delta \rho}{2} = \frac{\xi + \varphi_1}{2}; \\ \xi' &= \frac{\xi + \varphi_1}{2} + \gamma = \frac{\xi + \varphi_1}{2} \arcsin \left[ \sin \frac{\xi + \varphi_1}{2} + \frac{S_{pez}}{\rho_{cp}} \cos \varphi_1 \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Використання формул (13) і (14) показує, що в діапазоні подач, застосованих в РВ без особливої шкоди для точності можна приймати  $\sigma_{\rho_c} \cong \sigma_s$ . Це вітікає з факту, що при  $\xi \rightarrow \xi'$  і  $r_c \rightarrow R''$  перший доданок в правій частині формули (13) прагне до значення  $\sigma_s$ . З додаванням до нього параметра  $\sum \Delta \sigma_\theta$  величина  $\sigma_{\rho_c}$  стає приблизно рівною  $\sigma_s$ . Тому для практичних розрахунків можна у формуулі (8) прийняти  $\sigma_\theta = 0$ , а середнє контактне напруження

$$\sigma_{\kappa_{cp}} = - \frac{\sigma_s \cdot S}{\rho_{cp}}. \quad (15)$$

Зусилля деформації, результатуючий вектор якої пройде з центра кола радіуса  $\rho_{cp}$  через тачку з координатою  $r_c$ , визначимо за формулою (9). Причому напруження  $\sigma_{\kappa_{cp}}$  можна приймати за формулою (15). Проекція зусилля Р на вісь обертання Rx визначиться за формулою:

$$P_x = P \cdot \sin \frac{\xi + \varphi_1}{2}; \quad (16)$$

а на напрям, перпендикулярний осі обертання –

$$P_y = P \cdot \cos \frac{\xi + \varphi_1}{2}; \quad (17)$$

При суворому визначенні напряму вектора зусилля Р слід враховувати той факт, що кут між площинами головного меридіана і цим вектором не дорівнює нулю, а дорівнює  $\frac{\delta_\theta}{2}$ .

Центр тиску дещо зміщений в ліву контактну зону, тобто існує не така, що дорівнює нулю проекція сили Р на вертикальну площину. Проекція ця  $P_z$ , як показано в численних роботах, на порядок менше за свою величиною від двох інших складових, отже в розрахунках її можна не брати до уваги.

#### Висновки.

1. Визначення напруженого стану металу в центрі деформації, виконано на підставі аналізу граней елементарної ділянки, виділеної на поверхні оболонки меридіональними і широтними перетинами, утвореними перетином чотиригранної піраміди з вершиною на осі обертання оболонки.

2. Наведені формули для визначення меридіонального, широтного і контактного напруження при відомій площині контактної зони центра деформації дозволяють знайти величину деформуючого зусилля.

3. Визначено зусилля деформації конічної оболонки з матеріалу, що не зміцнюється, на вісь обертання і перпендикулярну осі обертання. Створені передумови для уточненого керування процесом формоутворення.

### Література

- Чесноков О. В. Визначення геометрії осередку деформації при ротаційній витяжці оболонкових деталей без навмисного стоншування / О. В. Чесноков, В. І. Чорна, О. М. Набокін // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2012. – № 6 (93). – С. 13 – 17.
- Могильний Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Могильный Н. И. – М.: Машиностроение, 1983. – 190 с.
- Моисеев В. М. Исследование процесса многопереходной ротационной вытяжки из конических заготовок. Дис. канд. техн. наук. - Ворошиловград, 1979. - 188 с.
- Григорьев П.Ф. Исследование процесса теплой ротационной вытяжки оболочек из нержавеющих сталей аустенитного класса. - Дис. канд. техн. наук. – Ворошиловград, 1980. - 222 с.
- Сторожев М. В. Теория обработки материалов давлением: учебник для вузов / Сторожев М. В., Попов Е. А. – М.: Машиностроение. 1977, – 423 с.

### References

- Chesnokov O.V. Viznachennja geometrii oseredku deformacij pri rotacijsnij vytjazhci obolonkovih detalej bez navmisnogo stonshuvannja / O.V. Chesnokov, V.I. Chorna, O.M. Nabokin // Aviacijno-kosmichna tekhnika i tehnologija. – 2012. – № 6 (93). – S. 13–17.
- Mogil'nyj N.I. Rotacionnaja vytjazhka obolochkovykh detalej na stankah. - M.: Mashinostroenie, 1983. - 190 s.
- Moiseev V.M. Issledovanie processa mno-goperehodnoj rotacionnoj vytjazhki iz konicheskikh zagotovok. Dis. kand.tehn. nauk. - Voroshilovgrad, 1979. - 188 s.
- Grigor'ev P.F. Issledovanie processa tep-loj rotacionnoj vytjazhki obolochek iz nerzhaveju-shhih stalej austenitnogo klassa. - Dis. kand. tehn. nauk. - Voroshilovgrad, 1980. - 222 s.
- Storozhev M.V., Popov E.A. Teoriya obrabotki materialov davleniem. Uchebnik dlja vuzov. – M.: Mashinostroenie. 1977, - 423 s.

**Витренко В. А., Чесноков А. В., Черная В. И.**

**Параметры силового взаимодействия инструмента с оболочкой при ротационной вытяжке оболочковых деталей без преднамеренного утонения**

*Рассмотрено не осесимметричное напряженное состояние оболочки от локально приложенного деформирующего усилия при ротационной вытяжке. Выделен центр деформации и определены напряжения вдоль граней элементарного участка, выделенного на поверхности оболочки меридиональными и широтными сечениями. Получены зависимости для определения напряженного состояния металла в очаге деформации. Определены условия равновесия на границе очага деформации. Для идеально-пластичного материала оболочки определены силовые параметры ротационной вытяжки.*

**Ключевые слова:** ротационная вытяжка, оболочковые детали, деформации, напряжения, сила.

**Vitrenko V. A. Chesnokov A. V., Chernaja V. I.**  
**Parameters of the power tool interaction with the shell at spinning shell parts without deliberate thinning**

*Non-axis-symmetrical tension state of the shell as to locally applied deforming effort at rotary extractor has been investigated. The centre of deformation has been singled out and tensions along edges of elementary part of the selected area on the shell by meridional and latitudinal crosspieces have been defined. Dependences for definition of metal tension state in environmental deformation have been obtained. Conditions of balance at the verge of deformation environment have been defined. Power parameters for rotary extractor at ideally plastic material have been defined.*

**Key words:** rotary extractor, shell parts, deformation, tension, power.

**Вітренко Володимир Олексійович** – д. т. н., проф., завідувач кафедри технології машинобудування та інженерного консалтингу, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Луганськ, Україна, e-mail: tm@snu.edu.ua.

**Чесноков Олексій Вікторович** – д. т. н., проф., завідувач кафедри технології виробництва і професійної освіти, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Луганськ, Україна, e-mail: kafipd@luguniv.edu.ua.

**Чорна Валентина Ігорівна** – аспірант кафедри технології машинобудування та інженерного консалтингу, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Луганськ, Україна, e-mail: tm@snu.edu.ua.

Рецензент: **Данич В.М.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 24.03.14

УДК 004.272.2:519.63

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА РЕШАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СРЕДЫ

Дмитриева О.А.

### ENHANCED SUBSYSTEM OF SOLVERS FOR THE DISTRIBUTED PARALLEL SIMULATION ENVIRONMENT

Dmitrieva O. A.

*С целью расширения возможностей распределенной параллельной моделирующей среды в подсистему параллельных решателей введены методы формирования численного решения и управления шагом интегрирования, основанные на коллоцировании со старшими производными, явной и неявной экстраполяции, вложенностями. Обоснована необходимость использования параллельных численных методов, обеспечивающих возможность вариации шага интегрирования, для разрешения смешанных систем алгебро – дифференциальных уравнений, составляющих математическую модель шахтной вентиляционной сети.*

**Ключевые слова:** решатели, моделирующая среда, управление шагом, коллоцирование, вложенность.

**Введение.** Функционирование распределенной параллельной моделирующей среды (РПМС) обеспечивается взаимодействием аппаратных, программных и информационных средств и направлено на повышение производительности реализации сложных мультидисциплинарных приложений. Структурно РПМС представляется в виде множества подсистем (рис. 1), выполняющих закрепленный набор функций и обеспечивающих возможность поддержки этапов генерирования, адаптации и исследования моделей сложных динамических систем большой размерности [1]. При этом можно выделить как универсальные подсистемы, которые обеспечивают программную и аппаратную поддержку моделирования (IT-поддержка, ведение диалога с пользователем, хранение и обмен данными, балансировка нагрузки, визуализация результатов), так и специфические подсистемы, наличие которых объясняется проблемной направленностью моделирующих сред. Так, несмотря на огромное разнообразие сложных динамических объектов, описываемых системами дифференциальных уравнений, как обыкновенных, так и частных производных, их топологические характеристики задаются достаточно узким классом средств, к которым можно отнести начальные

графы, графы вторичной топологии [2-3], технологические и структурные схемы, а также их комбинации [4-5]. Для кодировки первичных топологий и обработки данных и аппроксимации полученных вторичных топологий в РПМС предусмотрена подсистема топологического анализа, по результатам работы которой блок генерации уравнений формирует векторно-матричный вид системы, доступный для численной реализации. Еще одной специфической составляющей РПМС является подсистема виртуальных параллельных симуляционных моделей, которая в зависимости от выбранного варианта распараллеливания предоставляет средства для интерактивного отображения иерархии.

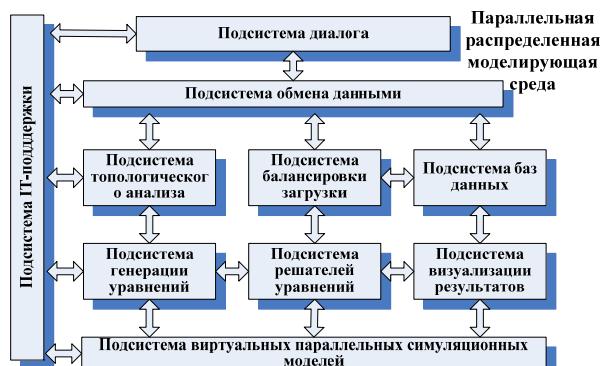


Рис.1. Структурная схема параллельной распределенной моделирующей среды

Целью данной работы является расширение возможностей подсистемы параллельных решателей за счет разработки и внедрения в нее новых численных методов моделирования динамических систем, учитывающих архитектурные особенности.

**Разработка усовершенствованной подсистемы параллельных решателей.** Выбор параллельного алгоритма для численной реализации

зависит от типа решаемой задачи, поскольку исходная система может описывать объект с распределенными или сосредоточенными параметрами. Метод решения определяется формальным способом представления исходного объекта (канонический, разностный, смешанный вид системы уравнений), хорошей или плохой обусловленностью, наличием начальных и/или граничных условий, жестких компонент, наличием варианта, размерностью, имеющимися вычислительными ресурсами и т.д. Для моделирования динамических объектов, описываемых жесткими, плохообусловленными, быстроосцилирующими и т.п. системами в подсистеме решателей используются алгоритмы, предусматривающие возможность управления шагом интегрирования. Вариация размера шага может обеспечиваться для отдельной расчетной точки вложенными или экстраполяционными методами, оптимальный порядок которых определяется исходя из концепции минимизации вычислительной работы на шаге. Также в подсистеме предусмотрено продвижение с оптимальным шагом сразу на несколько точек, количество которых определяется размерностью блока при использовании для решения блочных коллокационных методов со старшими производными.

Если исходная система носит линейный характер относительно вектора неизвестных, то ее решение может осуществляться на основе построенных операторов перехода, что позволяет свести процедуру получения решения на шаге для однородных систем к выполнению параллельных матрично-векторных операций, при этом в подсистеме решателей различаются автономный и неавтономный варианты. В последнем случае строятся блоки операторных переходов, размерность которых совпадает с количеством стадий метода. Также реализованы подходы, позволяющие избегать последовательных участков работы при вычислении неоднородной правой части, основанные на предварительном вычислении правых частей или интерполировании с помощью сплайнов. Структурная схема подсистемы параллельных решателей уравнений представлена на рис. 2.

Препроцессорная подготовка заключается в формировании конечно-разностного вида системы уравнений, определении начальных значений, если для расчета будут использоваться многошаговые методы, получении расчетных коэффициентов для выбранного метода.

Тестирование разработанных методов с целью выявления их рабочих характеристик и областей применимости в работе осуществлялось путем численной реализации как традиционных тестовых задач, так и математических моделей, которые описывают поведение динамических объектов: воздушных потоков в шахтных вентиляционных

сетях. Все рассмотренные модели характеризуются большой размерностью, которая может варьироваться, и наличием жестких компонент. Эффективность разработанных методов оценивается, как и в [6], с помощью сопоставления двух характеристик: погрешности и времени вычисления. Если для тестовой задачи точное решение известно, оценка проводилась по глобальной погрешности, в противном случае оценивалась норма погрешности.



Рис. 2. Структурная схема подсистемы решателей для РПМС

### Параллельное моделирование динамики воздушных потоков без учета распределенности параметров.

При моделировании аэрогазодинамических процессов в шахтных вентиляционных сетях возникает необходимость в эффективных параллельных вычислениях, описываемых системами обыкновенных дифференциальных уравнений большой размерности [1]. Для решения таких задач разработаны генераторы уравнений, параллельные модели сетевых объектов, предложены варианты ситуационного качественного моделирования [4], однако численное решение всех систем дифференциальных уравнений, построенных модифицированных моделей, возвращается к методам, изначально ориентированным на вычислительные системы с последовательной обработкой, что резко снижает показатели параллелизма в связи с замедлением времени счета. Эффективность моделирования таких динамических систем может быть значительно повышена за счет использования численных методов, разработанных для реализации в параллельных вычислительных системах [5], а также за счет автоматического изменения шага интегрирования. При моделировании нестационарных аэрогазодинамических процессов в шахтных вентиляционных сетях за основу принимался

подход, приведенный в [7]. Этот подход базируется на утверждении, что можно осуществить эквивалентный переход от описания выработки и схемы проветривания выемочных участков как объекта с распределенными параметрами к формальной модели объекта с сосредоточенными параметрами.

Структура шахтной вентиляционной сети представляется в виде объекта, формальное описание которого может быть выполнено с помощью графа с  $m_1$  ветвями и  $m_2$  узлами. При этом сетевой объект шахтной вентиляционной сети считается сложной динамической системой, так как обладает большой размерностью ( $m_1 > 100$ ,  $m_2 > 50$ ), нелинейностью статических характеристик ветвей и расположенных в них регулирующих органов, распределенностью таких параметров, как расходы воздуха и концентрации метана, многосвязностью взаимного влияния динамических процессов, иерархичностью уровней управления процессами [7].

**Генерация модели движения воздуха в ШВС на основе разрешения контурных уравнений относительно вектора производных.** Основой для построения модели динамики воздушных потоков является структурная схема вентиляционной системы, отражающая аэродинамические связи между ее элементами. Шахтная вентиляционная система включает объекты проветривания, воздухоподающие и воздухоотводящие выработки, вентиляционные сооружения и источники тяги. Объектами проветривания являются очистные и подготовительные забои, а также горные выработки, в которых правилами безопасности регламентируются величины расходов воздуха и концентрации вредных примесей. Запись уравнений применительно к конкретной шахтной вентиляционной сети, заданной в виде графа осуществляется по следующей методике, приведенной в [7]:

1. Производится кодировка узлов и ветвей сети. Формируется матрица инциденций  $A$ .

2. Строится дерево сети, определяются ветви – базы независимых контуров.

3. Формируются независимые контуры и матрица контуров  $S$ .

4. Отмечаются фрагменты схемы вентиляционных соединений.

5. Формируется  $m_1$  уравнений движения и  $m_1$  уравнений неразрывности для всех ветвей сети. Для схем проветривания участков записываются уравнения фильтрации через выработанные пространства.

6. Для каждого узла сети записываются уравнения неразрывности как граничные условия для уравнений соответствующих ветвей.

Уравнения динамики воздушных потоков для выработки представляют собой уравнения вида

$$K_i \frac{dQ_i}{dt} + R_i Q_i |Q_i| + \tilde{R}_i(t) Q_i^2 = H_i, \quad (1)$$

где  $K_i$  - коэффициент, характеризующий инерционность воздушного потока выработки длиной  $L_i$ , площадью поперечного сечения  $S_i$ :

$$K_i = \frac{\rho_B L_i}{S_i},$$

$Q_i$  – величина расхода воздуха в  $i$  выработке,

$R_i$  – аэродинамическое сопротивление выработки,

$\tilde{R}_i$  – аэродинамическое сопротивление регулирующего органа, установленного в  $i$  выработке,

$H_i$  – депрессия выработки.

Вводится вектор расходов воздуха в форме

$$\mathbf{Q} = (X_1, X_2, \dots, X_{m_2-1}, Y_1, Y_2, \dots, Y_{m_1-m_2+1})^T, \quad (2)$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_{m_2-1}$  – расходы в ветвях дерева,  $Y_1, Y_2, \dots, Y_{m_1-m_2+1}$  – расходы в ветвях – базах контуров. В соответствии с порядком следования элементов в векторе расходов воздуха перестраиваются матрицы инциденций  $A$  и контуров  $S$  путем перестановки их столбцов с выделением подматриц  $A_X, A_Y, S_X, S_Y$ . После таких преобразований система модельных уравнений может быть записана как

$$\begin{cases} A_x X + A_y Y = 0 \\ S_x K_x \frac{dX}{dt} + S_y K_y \frac{dY}{dt} + (SRZ)_{XY} + (S\tilde{R}Z)_{XY} = (SH)_{XY}, \end{cases}$$

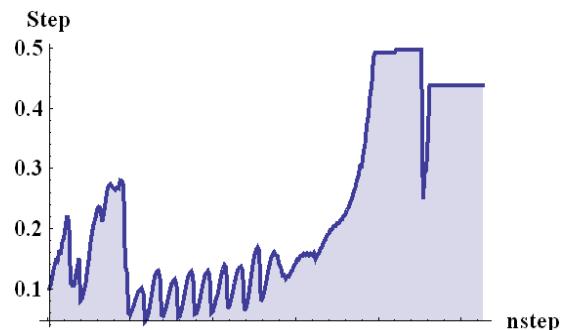
где  $A_X, A_Y, S_X, S_Y$  – подматрицы матриц инциденций и контуров, порядок следования столбцов в которых совпадает с порядком следования элементов в векторе  $\mathbf{Q}$ ,

$Z$  – вектор столбец с элементами  $z_i = Q_i |Q_i|$ .

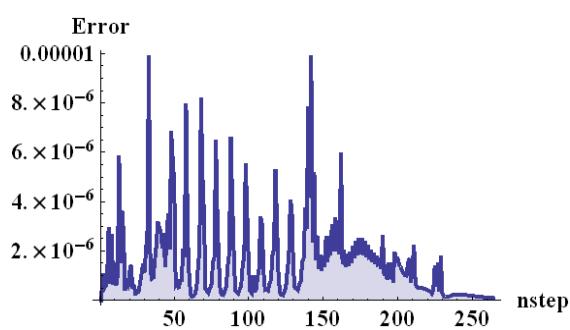
Таким образом, математическая модель шахтной вентиляционной сети представляет собой систему, содержащую  $m_2 - 1$  узловых алгебраических уравнений и  $\gamma = m_1 - m_2 + 1$  контурных дифференциальных уравнений. Эта модель отличается значительной размерностью, нелинейностью и невозможностью разрешения аналитическими методами.

Поскольку размерность системы велика и, как правило, превышает количество доступных вычислительных узлов  $r$ , то за каждым процессорным элементом предлагается закрепить группу уравнений системы так, чтобы обеспечить

равномерную загрузку. На первой линейке осуществляется формирование значений вектора расходов воздуха  $Q_{n+1}$  для дифференциальной части смешанной системы алгебро-дифференциальных уравнений, на второй линейке формируется вложенный вектор  $\tilde{Q}_{n+1}$  для тех же значений неизвестных.



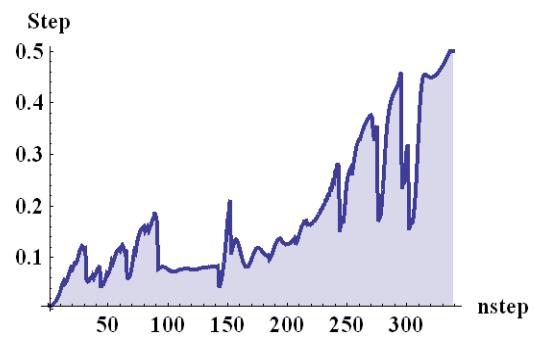
а



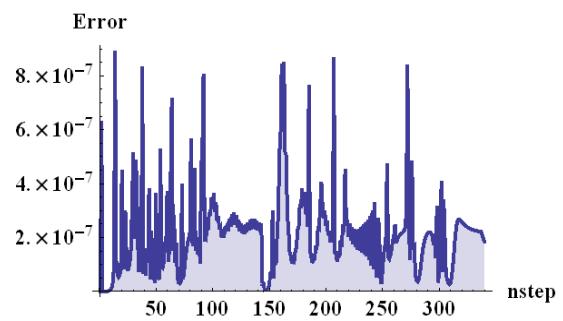
б

Рис. 3. Управление шагом и ошибка вычислений при моделировании движения воздуха с точностью  $10^{-5}$ :  
а – изменение шага, б – ошибка интегрирования

Параллельно полученные два типа решений для одного и того же значения времени позволяют сформировать норму вектора расхождений и оценить точность полученного результата. Если заданные требования по точности не выполняются, от шага необходимо отказаться и повторить расчеты с уменьшенным значением. Если требуемая точность достигнута, формируется новая длина шага  $\tau_{n+1}$ , и начинается параллельное формирование решения алгебраической части смешанной системы. Для этого задействуется решетка процессорных элементов, размерность которой совпадает с размерностью линейной системы уравнений. Это требование не является обязательным, и в случае, если размерность системы превышает доступные ресурсы, необходимо распределение системы на группы.

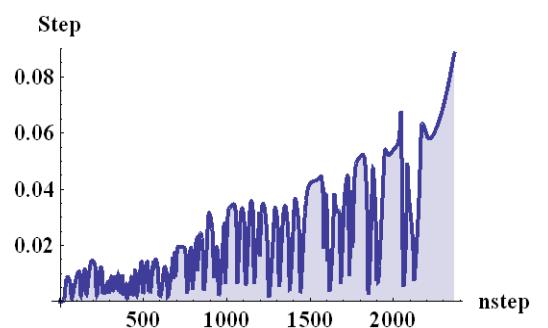


а

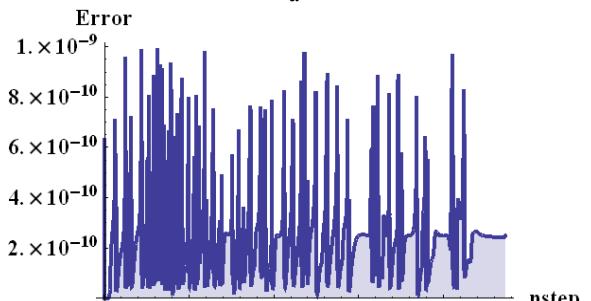


б

Рис. 4. Управление шагом и ошибка вычислений при моделировании движения воздуха с точностью  $10^{-6}$ :  
а – изменение шага, б – ошибка интегрирования



а



б

Рис. 5. Управление шагом и ошибка вычислений при моделировании движения воздуха с точностью  $10^{-9}$ :  
а – изменение шага, б – ошибка интегрирования

На рис. 3-5 показаны результаты управления шагом интегрирования с обеспечением заданной точности моделирования.

**Параллельное моделирование управления проветриванием шахтной вентиляционной сети.** Задача управления проветриванием состоит в ограничении концентрации метана при наличии возмущений на безопасном уровне. При этом различают режимы управления в нормальных условиях, когда концентрация метана не превышает допустимый уровень, и аварийный режим, когда концентрация выше безопасного уровня [7]. В первом случае регулирование по газовому фактору должно быть оптимальным по критерию минимума мощности и обеспечивать выполнение ограничений по концентрации на допустимом уровне. В случае аварийного режима управление должно осуществлять снижение концентрации метана до безопасного уровня за минимальное время. Задача оптимального по быстродействию управления проветриванием участка при ограничении концентрации на безопасном уровне описывается системой дифференциальных уравнений вида

$$\frac{mV_m}{Q_{ut}} \frac{dM}{dt} = -M + M_0 \left( 1 - \frac{Q_{ut} - Q_{ut}^0}{Q_{ut}^k - Q_{ut}^0} \right) (\sigma Q_{ut} - Q_{ut}^k),$$

$$\sigma(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq 0, \\ 1, & \text{если } x > 0, \end{cases}$$

где  $V_m$  - объем зоны повышенной концентрации метана в выработанном пространстве,

$Q_{ut}$  - общий расход утечек на участке,

$M$  - суммарная взвешенная в выработанном пространстве масса.

Зависимость  $M$  от  $Q_{ut}$  можно представить в следующем виде

$$M = \begin{cases} M_0 \left( 1 - \frac{Q_{ut} - Q_{ut}^0}{Q_{ut}^k - Q_{ut}^0} \right), & \text{если } Q_{ut} < Q_{ut}^k, \\ 0, & \text{если } Q_{ut} \geq Q_{ut}^k, \end{cases}$$

где  $Q_{ut}^0, M_0$  - дебет утечек воздуха в выработанное пространство и суммарная взвешенная масса метана, соответствующие нормальному режиму проветривания участка,

$Q_{ut}^k$  - дебет утечек воздуха, при котором суммарная взвешенная масса метана в выработанном пространстве становится равной нулю.

Процессы диффузии и массопереноса также описываются дифференциальными уравнениями с учетом пористости выбранной зоны выработанного пространства, объема, занятого потоком метановоздушной смеси в выработанном пространстве, объемами бутовых полос и

вентиляционного штрека в зоне улавливаемых утечек, дебита и средней концентрации метана в выработанном пространстве и в исходящей струе участка. Полученная система дифференциальных уравнений позволяет описать газодинамические процессы в схеме проветривания участка как объекте управления с ограничениями на скорость воздуха на участке и в лаве, а также на концентрацию метана в лаве и в исходящей струе участка. Тогда для сетевого объекта, заданного матрицами инциденций и контуров, можно сформулировать задачу управления проветриванием либо с критерием оптимальности по энергозатратам, либо, если речь идет об аварийном режиме, с минимальным временем перевода в заданное конечное состояние.

Определение аналитической формы закона оптимального управления для сформулированной выше системы невозможно, а численная реализация связана со значительными трудностями и приводит к неприемлемым временными затратам, которые, обусловлены нелинейностью задачи и высоким порядком системы. Поэтому для поиска решения предполагается использование параллельных компьютерных систем и алгоритмов, разработанных для реализации задач такого типа.

Для параллельной реализации за основу выбирался сетевой объект, заданный матрицами инциденций  $A$  и контуров  $S$ . Решения дифференциальной части системы осуществлялись параллельно на двух линейках процессоров. На каждой линейке формировались результаты по основному и вложенному методам с получением элементов вектора расходов воздуха  $Q_{n+1,i}$  и  $\tilde{Q}_{n+1,i}$ ,  $i = m_2, \dots, m_1$ . Заданная точность при этом обеспечивалась вариацией размера шага интегрирования. По достижении требуемой точности формировалась новая длина шага  $\tau_{n+1}$  и осуществлялся переход к решению алгебраической части смешанной системы. Значения сформированного вектора  $Q_{n+1,i}$ ,  $i = 1, \dots, m_2$  проверялись на непротиворечивость по ограничениям. Цикл управления повторялся с формированием управляющих воздействий, если по отдельным ветвям режимы проветривания не соответствовали требуемым. Если все наложенные ограничения выполнялись, происходило окончательное формирование вектора расходов воздуха в ветвях шахтной вентиляционной сети и осуществлялся переход на следующий шаг.

**Выводы.** В работе предложено усовершенствование распределенной параллельной моделирующей среды путем введения в подсистему параллельных решателей уравнений методов формирования численного решения и управления шагом интегрирования, основанных на коллоквирании со старшими производными, явной и неявной экстраполяции, вложенности. Обоснована необходимость использования параллельных

численных методов, обеспечивающих возможность вариации шага интегрирования, для разрешения смешанных систем алгебро – дифференциальных уравнений, составляющих математическую модель шахтной вентиляционной сети. Используемые при этом подходы, связанные с формированием вложенных векторов, экстраполяции или размещением точек коллокации, ориентированы на вычислительные системы с параллельной обработкой. Это позволяло закреплять за каждыми из рассчитываемых ветвей и узлов сетевого объекта по одному или по несколько процессоров, что давало возможность одновременно моделировать динамику изменения значений во всех ветвях и узлах сетевого объекта. Введенные в РПМС параллельные алгоритмы позволили получить эффективные параллельные численные реализации математических моделей движения воздуха в шахтных вентиляционных сетях и сократить время моделирования. Модели аэродинамических процессов генерировались на основе разрешения контурных уравнений относительно вектора производных и на основе эквивалентных инерционностей. Получены зависимости, определяющие соотношения количества принятых и отброшенных шагов интегрирования, их размерности и заданной точности.

С целью выявления рабочих характеристик и областей применимости разработанных методов в работе выполнена параллельная реализация как традиционных тестовых задач, так и математических моделей, которые описывают поведение динамических объектов. Рассмотренные модели характеризуются большой размерностью, которая может варьироваться, и наличием жестких компонент. Эффективность разработанных методов оценивалась с помощью сопоставления двух характеристик: погрешности и времени вычисления. Получены оценки, характеризующие качество алгоритмов управления шагом интегрирования, формирующиеся на соотношениях принятых и отброшенных шагов. Практически на всех тестовых задачах отношение принятых шагов интегрирования к общему числу стремится к 1.

Определены соотношения между временами последовательной и параллельной реализаций описанных моделей на мультиосновных и кластерных параллельных вычислительных системах. Экспериментально подтверждена эффективность применения разработанных алгоритмов и программ решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений и смешанных алгебро – дифференциальных систем при реализации моделей большой размерности. Экспериментальные значения ускорений и эффективности хорошо согласуются с теоретическими оценками.

### Л и т е р а т у р а

- Dmitrieva O. Parallel Algorithms of Simulation. Increase of simulation of dynamic objects with the lumped parameters into parallel computer systems / O. Dmitrieva, A. Firsova. – Lambert Academic Publishing, 2012. – 192 p. – ISBN-13: 978-3-659-28540-0.
- Zanariah A. M. Solving Large Systems of Ordinary Differential Equations on Parallel Computer/ A. M. Zanariah, M. B. Suleiman // Journal of Scientific Research. –2009. – Vol. 29. – № 4. – P. 491–501.
- Soderlind G. Digital filters in adaptive time-stepping / G. Soderlind // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2003. – Vol. 29. – P. 1–26.
- Dmitrieva O. Parallel Step Control. Development of parallel algorithms of the step variation for simulation of stiff dynamic systems/ O. Dmitrieva, L. Feldman. – Lambert Academic Publishing, 2013. – 72 p. – ISBN-13: 978-3-659-38425-7, ISBN-10: 3659384259.
- Firsova A. Dynamic System Simulation. Robust algorithms of state estimation of dynamic lumped parameters systems / A. Firsova, O. Dmitrieva. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 92 p.
- Хайрер Э. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие задачи / Э. Хайрер, Г. Ваннер. – М.: Мир, 1999. – 685c.
- Абрамов, Ф. А. Моделирование динамических процессовrudничної аерології / Ф. А. Абрамов, Л. П. Фельдман, В. А. Святний.– Київ: Наукова думка, 1981. – 283 с.

### R e f e r e n c e s

- Dmitrieva O. Parallel Algorithms of Simulation. Increase of simulation of dynamic objects with the lumped parameters into parallel computer systems / O. Dmitrieva, A. Firsova. – Lambert Academic Publishing, 2012. – 192 p. – ISBN-13: 978-3-659-28540-0.
- Zanariah A. M. Solving Large Systems of Ordinary Differential Equations on Parallel Computer/ A. M. Zanariah, M. B. Suleiman // Journal of Scientific Research. –2009. – Vol. 29. – № 4. – P. 491–501.
- Soderlind G. Digital filters in adaptive time-stepping / G. Soderlind // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2003. – Vol. 29. – P. 1–26
- Dmitrieva O. Parallel Step Control. Development of parallel algorithms of the step variation for simulation of stiff dynamic systems/ O. Dmitrieva, L. Feldman. – Lambert Academic Publishing, 2013. – 72 p. – ISBN-13: 978-3-659-38425-7, ISBN-10: 3659384259.
- Firsova A. Dynamic System Simulation. Robust algorithms of state estimation of dynamic lumped parameters systems / A. Firsova, O. Dmitrieva. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 92 p.
- Hairer E., Wanner. G. Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential-Algebraic Problems. – Springer-Verlag, 1996 - 614 p.
- Abramov, F. A. Modelirovaniye dinamicheskikh processov rudnichnoj ajerologii / F. A. Abramov, L. P. Fel'dman, V. A. Svyatnyj.– Kiev: Naukova dumka, 1981. – 283 s.

**Дмитрієва О. А. Удосконалена підсистема вирішувачів для розподіленого паралельного моделюючого середовища.**

З метою розширення можливостей розподіленого паралельного моделюючого середовища в підсистему паралельних вирішувачів уведено методи формування чисельного розв'язку й керування кроком інтегрування,

засновані на колоціюванні зі старшими похідними, явній та неявній екстраполяції, вкладеності. Обґрунтовано необхідність використання паралельних чисельних методів, що забезпечують можливість варіації кроку інтегрування, для розв'язання змішаних систем алгебро-диференціальних рівнянь, що становлять математичну модель шахтної вентиляційної мережі.

**Ключові слова:** вирішувачі, моделоюче середовище, керування кроком, колоціювання, вкладеність.

**Dmitrieva O. A. Enhanced subsystem of solvers for the distributed parallel simulation environment**

*The features of the distributed parallel simulation environment have been extended. Used for this approaches, associated with the formation of nested vectors, extrapolation or placement of collocation points, are focused on computer systems with parallel processing and allow to assign to each computed element of the network object one or more processors, which makes it possible to simulate the dynamics of changes of values in all branches and nodes of the network*

*object simultaneously. These algorithms have allowed one to improve the efficient parallel numerical implementation of mathematical models of air in mine ventilation networks and reduce the simulation time. The models of aerodynamic processes were generated on the basis of the solving of the contour equations for the vector of derivatives and based on the equivalent inertia.*

**Key words:** solvers, simulation environment, step control, collocation, nesting.

**Дмитрієва Ольга Анатоліївна**, д.т.н., професор кафедри прикладної математики та інформатики Донецького національного технічного університету,  
E-mail: dmitrieva.donntu@gmail.com

Рецензент: **Носко П.Л.**, д.т.н., професор.

Статья подана 28.02.14

УДК 373.2.091:004

## ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ КОНТИНГЕНТУ ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ТА ШКІЛЬНОГО ВІКУ

**Жукова В.М.**

## DESIGN AND DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM ACCOUNTING CONTINGENT OF CHILDREN PRESCHOOL AND SCHOOL AGE

**Zhukova V.M.**

*У статті розглядається проектування та розробка інформаційної системи для автоматизації обліку дітей дошкільного та шкільного віку, яка складається з бази даних та програмного додатку – клієнтської частини. Для зберігання інформації про дітей використана база даних Microsoft Access. Розроблено інформаційно-логічну і даталогічну моделі та створено саму базу даних. Клієнтську частину розроблено в середовищі програмування Delphi. Для зв'язку з базою даних використано технологію ADO (ActiveX Data Objects).*

**Ключові слова:** інформаційна система, проектування бази даних, інформаційні потреби користувачів, інфологічна модель, даталогічна модель, клієнтська частина.

**Вступ.** В даний час в сучасному світі електронних технологій практично неможливо представити компанію (фірму або організацію), в якій не потрібна обробка деякого обсягу інформації. Інформацію потрібно десь зберігати. Інформація може динамічно змінюватися. Регулярно потрібно вибірка даних за певними критеріями з усього масиву.

Щорічно навчальні заклади беруть участь в обліку дітей дошкільного та шкільного віку [1]. Для цього територія міста поділена на мікрорайони, які закріплені за кожним навчальним закладом.

В навчальних закладах постійно є необхідність зберігання та редагування всіх даних по мікрорайонам, вибірки даних за різними критеріями, звірки даних з іншими навчальними закладами, виведення потрібних вибірок до офісних додатків для подальшого друку, звітування перед органами управління освітою тощо. В даний момент програмних засобів, що надають таку можливість, немає. Частково подібні функції є в системі „Курс. Школа”, але вона має дуже високу вартість, ряд недоліків та незручна в роботі. Тому ця робота проводиться вручну на папері.

З огляду на сказане, можна переконатися в актуальності вирішення даного питання, і з цього

випливає необхідність у розробці інформаційної системи для автоматизації обліку дітей дошкільного та шкільного віку для середньої школи.

Мета дослідження – проектування та розробка автоматизованої інформаційної системи обліку контингенту дітей дошкільного та шкільного віку.

**Виклад основного матеріалу.** Під час автоматизації різноманітних процесів дуже часто виникають завдання, які не вирішуються вже готовими програмами та базами даних. При цьому аналітична інформація показує, що навіть якщо використовувати складні і дорогі CRM-системи управління підприємством або організацією, отримати рішення, що задовольняє керівництво компанії, буває просто неможливо.

Бази даних створюються спеціально для зберігання, обробки, проведення розрахунків, сортування, вибірки та подання будь-яких масивів даних за будь-якими критеріями.

На сьогоднішній день існує безліч програмних засобів для розробки та управління базами даних. Найвідомішими з них є: Oracle, SQL Server, Microsoft Access, 1С. Кожна з цих розробок має свої переваги та недоліки. Найбільш поширеними на підприємствах є дві останніх. Популярність їх зумовлена простотою у використанні та досить широкими можливостями спеціалізації.

Виходячи з аналізу потреб, можна сформулювати наступні цілі проектування:

- створити інформаційну систему для автоматизації обліку дітей дошкільного та шкільного віку;
- створити базу даних для зберігання інформації про дітей, які проживають в мікрорайоні, що закріплений за навчальним закладом;
- створити клієнтську частину для зручності роботи користувачів з базою даних.

Проектована інформаційна система має забезпечувати виконання наступних функцій:

- введення, редагування та зберігання даних

дітей, які проживають в мікрорайоні, що закріплений за навчальним закладом;

- вибірки даних за різними критеріями;
- виведення потрібних виброк до офісних додатків для подальшого друку або звітування перед органами управління освітою;
- обмін даними між навчальними закладами та установами управління освітою.

Клієнтська частина має забезпечувати фільтрацію даних за наступними критеріями:

- навчальний заклад, де навчається дитина;
- навчальний заклад, у мікрорайоні якого мешкає дитина;
- адреса проживання дитини;
- дата народження (чи інтервал дат).

Процес проектування можна здійснювати двома підходами [2]. За першого підходу спочатку визначають основні задачі, для розв'язання яких створюється база, та потреби цих задач у даних. За другого підходу визначають предметну галузь (сферу), здійснюють аналіз її даних і встановлюють типові об'єкти предметної галузі. Найбільш раціональним підходом проектування бази даних є поєднання обох підходів [3].

Процес проектування бази даних поділяється на етапи, кожний з яких передбачає виконання певних дій. Перший етап – розробка інформаційно-логічної моделі даних предметної галузі (ПГ), який базується на описі предметної галузі, отриманому в результаті її обстеження.

Інформаційно-логічна модель (ІЛМ) має відповідати таким вимогам [4]:

- коректність схеми БД, тобто адекватне відображення модельованої ПГ;
- простота і зручність використання на наступних етапах проектування, тобто ІЛМ має легко відображатися в моделі БД, що підтримується відомими СКБД (сіткові, ієрархічні, реляційні);
- ІЛМ має бути описана мовою, зрозумілою проектувальникам БД, програмістам, адміністратору і майбутнім користувачам БД.

На цьому етапі спочатку визначають склад і структуру даних предметної галузі, які мають міститись у базі даних та забезпечувати виконання запитів, задач і застосувань користувача. Ці дані мають форму реквізитів, що містяться в різних документах – джерелах завантаження бази даних. Аналіз виявлених даних дозволить визначити функціональні залежності реквізитів, які використовують для виділення інформаційних об'єктів, що відповідають вимогам нормалізації даних. Подальше визначення структурних зв'язків між об'єктами дозволяє побудувати інформаційно-логічну модель.

Отже, виходячи з аналізу предметної галузі, під час проектування на інфологічному рівні була створена інформаційно-логічна модель (рис. 1).

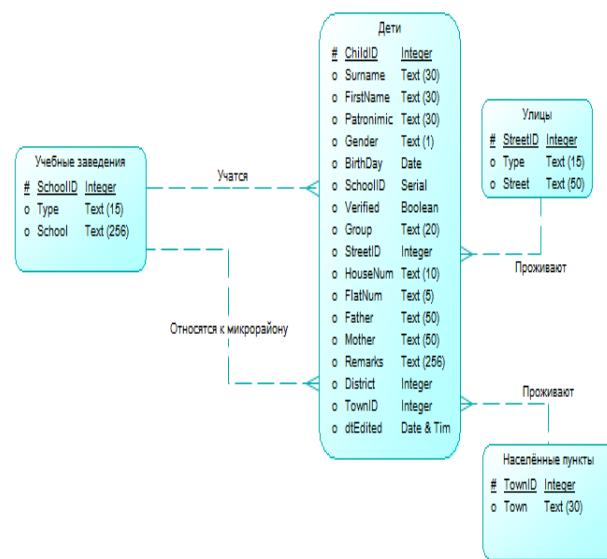


Рис. 1. Інфологічна модель предметної галузі

Другий етап – визначення логічної структури бази даних. Модель логічного рівня, яка підтримується засобами конкретної СКБД, іноді називають даталогічною. На цьому рівні будується концептуальна модель даних, тобто спеціальним способом структурована модель ПГ, яка відповідає особливостям і обмеженням вибраної СКБД. Серед типів моделей, які підтримуються засобами СКБД, є ієрархічні, сіткові і реляційні та об'єктно-орієнтовані моделі баз даних.

Логічне проектування виконується для певної моделі даних. Для реляційної моделі даних логічне проектування полягає у створенні реляційної схеми, визначені числа і структури таблиць, формуванні запитів до БД, визначені типів звітних документів, розробці алгоритмів обробки інформації, створенні форм для вводу і редактування даних в БД і рішення цілого ряду інших задач. Концептуальні моделі за певними правилами перетворюються в логічні моделі даних.

Коректність логічних моделей перевіряється за допомогою правил нормалізації, які дозволяють переконатися в структурній узгодженості, логічній цілісності і мінімальній збитковості прийнятої моделі даних. В ідеалі при нормалізації треба домогтися, щоб будь-яке значення зберігалося в базі в одному примірнику, причому значення це не має бути отримано розрахунковим шляхом з інших даних, що зберігаються в базі. Модель також перевіряється з метою виявлення можливостей виконання транзакцій, які будуть задаватися користувачами [3].

Наступний етап – конструювання таблиць бази даних, який здійснюється засобами СКБД, та узгодження їх із замовником. Структура таблиць бази даних задається за допомогою засобів опису (конструювання) таблиць у СКБД із цілковитою відповідністю інформаційним об'єктам.

**Результати дослідження.** Для вирішення завдання було обрано програмне забезпечення СКБД Microsoft Access [5]. Виходячи з розробленої інфологічної моделі предметної галузі, була створена така даталогічна модель:

- Children – містить дані дітей;
- Schools – містить список навчальних закладів;
- Towns – містить список населених пунктів;
- Streets – містить список вулиць.

Всі таблиці пов’язані між собою через ключові поля (рис. 2). Також додано відповідні обмеження цілісності.

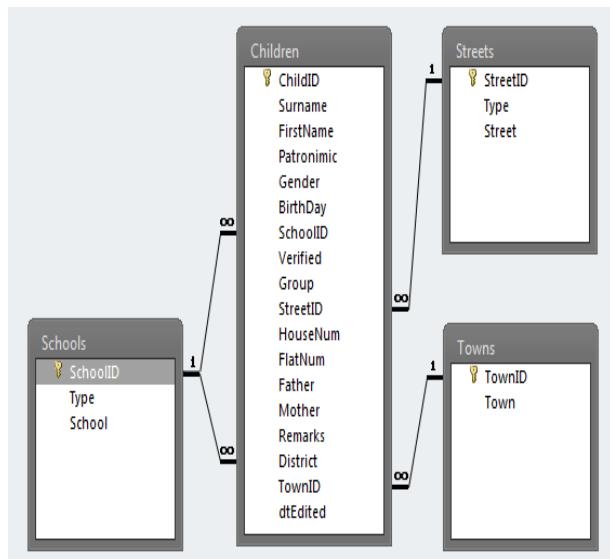


Рис. 2. Даталогічна модель бази даних

В процесі розробки клієнтської частини в середовищі програмування Delphi для зв’язку з базою даних використовувалася технологія ADO (ActiveX Data Objects) [6]. Всі компоненти для зв’язку з базою даних для зручності було винесено до окремого DataModule (рис. 3).

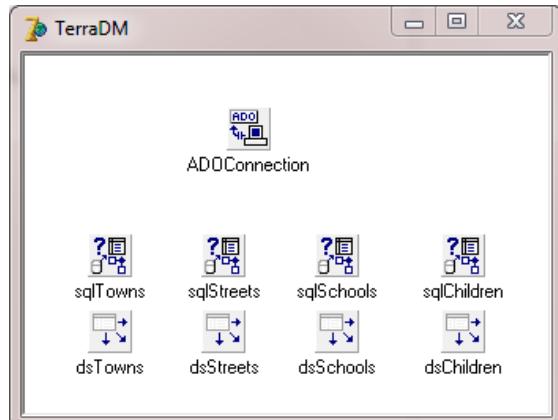


Рис. 3. Компоненти для зв’язку з базою даних

Для кожної таблиці БД додано компоненти ADODataset та DataSource, які з’єднуються з базою

даних через ADOConnection, у властивостях якої налаштовано параметри з’єднання. Компоненти ADODataset звертаються до бази даних за допомогою SQL-запитів, що показані на рисунках 4,5.

```

SQL:
SELECT * FROM Children WHERE
Surname LIKE :Surname AND
SchoolID LIKE :SchoolID AND
District LIKE :District AND
StreetID LIKE :StreetID AND
Gender LIKE :Gender AND
BirthDay >= :StartDate AND
BirthDay <= :EndDate AND
Verified LIKE :Verified AND
StreetID LIKE :StreetID AND
TownID LIKE :TownID
ORDER BY Surname
    
```

Рис. 4. SQL-запит компоненту sqlChildren

```

SQL:
SELECT * FROM Towns ORDER BY Town
    
```

Рис. 5. SQL-запит компоненту sqlTowns

SQL-запит компоненту sqlChildren містить 10 параметрів для реалізації фільтрації за певними полями (див. рис. 4). Для спрощення SQL-запиту до нього не включено об’єднання таблиць. Зв’язок між таблицями реалізовано за допомогою підстановочних полів у компоненті sqlChildren. Також у ньому створено обчислюване поле FullAddress, у якому повна адреса дитини обчислюється з окремих полів Town, Street, HouseNum та FlatNum, як єдиний рядок.

Для роботи користувача з базою даних для кожної таблиці створено окремі форми, до розділу uses яких внесено DataModule. Головною формою додатку є форма ChildrenF (рис. 6), що відображає основну таблицю бази даних Children.

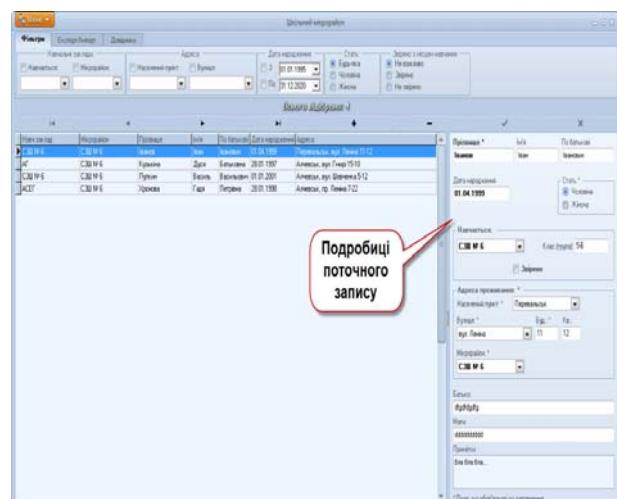


Рис. 6. Головне вікно клієнтської частини

Інтерфейс клієнтської частини розроблено в стилі Office 2010 (Ribbon- інтерфейс). Завдяки цьому зменшена площа, що займають елементи керування. Вони згруповані у три вкладки: «Фільтри», «Експорт/Імпорт» та «Довідники».

Також всі функції програми доступні з головного меню програми (див. рис. 7), яке відкривається кнопкою «Меню» в верхньому лівому куті вікна.

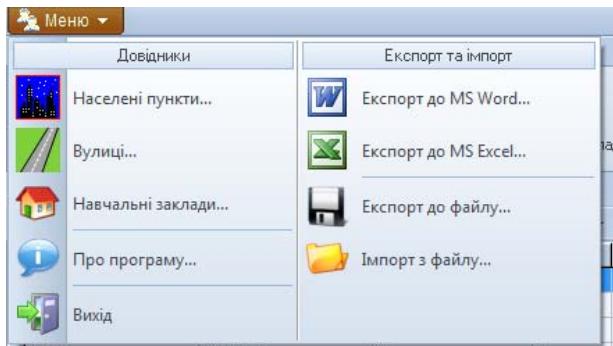


Рис. 7. Головне меню програми

Для створення привабливого зовнішнього вигляду програми використані компоненти AlphaControls.

Експорт до офісних додатків відбувається з відповідних вікон (рис. 8), яких можна дістатися з вкладки «Експорт/Імпорт». Перед експортом слід зробити потрібну вибірку даних за допомогою фільтрів. Потім у вікні експорту:

- заповнити поля заголовку та підзаголовку майбутнього документу;
- вказати орієнтацію сторінки;
- відмітити поля, що мають бути виведені до звіту, та їх порядок;
- визначити каталог призначення, де буде збережено документ.

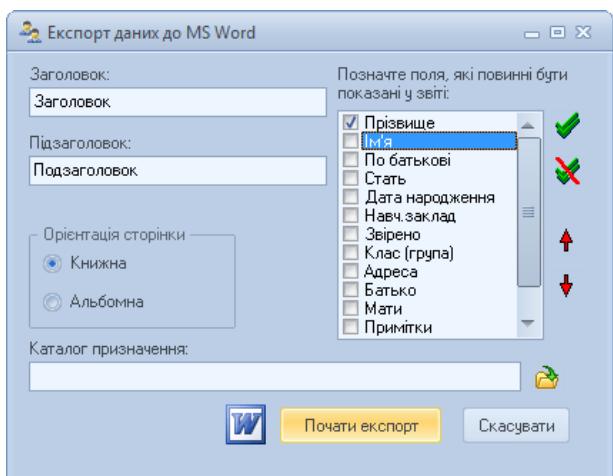


Рис. 8. Вікно експорту даних до MS Word

Завдяки можливості виводу довільного набору полів у довільному порядку є можливість створювати найрізноманітніші звіти для будь-яких

цілей.

Також за допомогою відповідних кнопок цієї вкладки можна вивести дані до файлу та імпортувати з нього. За допомогою цих файлів можливо обмінюватись даними з іншими навчальними закладами та з установами управління освітою.

В головному вікні програми деталі виділеного в таблиці запису відображаються в правій частині вікна, де можна як редагувати дані, так і додавати нові записи.

В самому початку роботи з розробленою системою необхідно заповнити довідники. Після цього можна заповнювати дані дітей. Обов'язкові поля відмічені зірочкою.

Для організації обміну даними між установами вирішено використовувати обмін файлами: експорт до файлу – імпорт з файлу. Самі файли передаються до іншої установи звичайним шляхом – через електронну пошту або через флеш-носій.

Для експорту до файлу використовується метод SaveToFile компоненту sqlChildren: TADODataSet. За допомогою цього методу можна зберігати набір даних у двох форматах: ADTG (за замовчуванням) та XML. Оскільки файли формату XML легко редактується в будь-якому текстовому редакторі, для запобігання навмисному чи випадковому редактуванню вирішено використовувати формат ADTG.

Під час імпорту дані з файла завантажуються до окремого компоненту ADODataset методом LoadFromFile, а тоді кожний запис, крім поля ChildID, переноситься до основного набору даних у компонент sqlChildren. Поле ChildID має тип «лічильник» і є первинним ключем у таблиці Children.

**Висновки.** Отже, розроблена інформаційна система обліку контингенту дітей дошкільного та шкільного віку для середньої школи складається з бази даних та програмного додатку – клієнтської частини.

Для зберігання інформації про дітей використана база даних Microsoft Access. Розроблено інформаційно-логічну і даталогічну моделі та створено саму базу даних. Клієнтську частину розроблено в середовищі програмування Delphi. Для зв'язку з базою даних використано технологію ADO (ActiveX Data Objects).

Таким чином, створена інформаційна система повинна значно полегшити та прискорити роботу з обліку контингенту дітей, а також полегшити створення відповідної звітності, що надається управлінню освіти. Перспективою подальших розвідок у даному напрямку є перевірка програмного продукту на відповідність потребам навчального закладу, його розвиток та вдосконалення.

## Література

1. Закон України „Про освіту” [Електронний ресурс]. – Режим доступу :

- <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1060-12/page>.
2. Страхарчук А. Я. Проектування баз даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://pidruchniki.ws/11570718/bankivska\\_sprava/proektuvannya\\_baz\\_daniih](http://pidruchniki.ws/11570718/bankivska_sprava/proektuvannya_baz_daniih).
  3. Гайна Г. А. Основи проектування баз даних: навч. посібник / Г. А. Гайна – К. : КНУБА, 2005. – 204 с.
  4. Інформаційні системи і технології у оподаткуванні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://bridge.tneu.edu.ua/web\\_info/lectures/part8/08-04.html](http://bridge.tneu.edu.ua/web_info/lectures/part8/08-04.html)
  5. Гужва В. М. Інформаційні системи і технології на підприємствах: навч. посібник / В. М. Гужва. – К. : КНЕУ, 2010. – 400 с.
  6. Фаронов В. В. Программирование баз данных в Delphi 7. : Учебный курс / В. В. Фаронов. – СПб. : Питер, 2006. – 459 с.

#### References

1. Zakon Ukrayni „Pro osvitu” [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1060-12/page>.
2. Straharchuk A. Ja. Proektuvannja baz danih [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : [http://pidruchniki.ws/11570718/bankivska\\_sprava/proektuvannya\\_baz\\_daniih](http://pidruchniki.ws/11570718/bankivska_sprava/proektuvannya_baz_daniih).
3. Gajna G. A. Osnovi proektuvannja baz danih: navch. posibnik / G. A. Gajna – K. : KNUBA, 2005. – 204 s.
4. Informacijni sistemi i tehnologii u opodatkuvanni [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : [http://bridge.tneu.edu.ua/web\\_info/lectures/part8/08-04.html](http://bridge.tneu.edu.ua/web_info/lectures/part8/08-04.html)
5. Guzhva V. M. Informacijni sistemi i tehnologii na pidprietstvah: navch. posibnik / V. M. Guzhva. – K. : KNEU, 2010. – 400 s.
6. Faronov V. V. Programmirovaniye baz dannyh v Delphi 7. : Uchebnyj kurs / V. V. Faronov. – SPb. : Piter, 2006. – 459 s.

**Жукова В.Н. Проектирование и разработка информационной системы учета контингента детей дошкольного и школьного возраста**

*В статье рассматривается проектирование и разработка информационной системы для автоматизации учета детей дошкольного и школьного возраста, которая состоит из базы данных и программного приложения - клиентской части. Для хранения информации о детях использована база данных Microsoft Access. Разработаны информационно-логическая и даталогическая модели и создана сама база данных. Клиентская часть разработана в среде программирования Delphi. Для связи с базой данных использована технология ADO (ActiveX Data Objects).*

**Ключевые слова:** информационная система, проектирование базы данных, информационные потребности пользователей, инфологическая модель, даталогическая модель, клиентская часть.

**Zhukova V.M. Design and development of information system accounting contingent of children preschool and school age**

*Article is devoted to topics of automation of processes of registering children for educational institutions. Currently there is no such software . Therefore there is a need to design and develop an information system to automate accounting preschool and school age. This system consists of a database and application software - client side. To store the information about the children used a database Microsoft Access. Developed information logical and datalogical model and created the database itself. The client part of the programming environment developed in Delphi. To communicate with the database technology used ADO (ActiveX Data Objects).*

**Key words:** information system, database design, information needs of users, infological model, datalogical model, the client part.

**Жукова Вікторія Миколаївна** – к.п.н., доцент кафедри інформаційних технологій та систем ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”, vnz\_1@mail.ru.

Рецензент: **Рач В.А.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 17.04.2014

УДК 004.3:681.518

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ, ОСНОВАННОЙ НА ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМАХ

Иванов Д.Е.

## CONSTRUCTION OF THE DIAGNOSTIC SYSTEM OF DIGITAL DEVICES BASED ON EVOLUTIONARY ALGORITHMS

Ivanov D.E.

*В статье рассматривается построение системы моделирования и диагностики цифровых устройств логического уровня представления. Особенностью системы является то, что основная функциональность по построению идентифицирующих последовательностей различных классов и их оптимизации реализована с помощью эволюционных алгоритмов. Это позволяет повысить эксплуатационные характеристики системы в терминах качества строящихся последовательностей. Разработка подходов к построению параллельных версий эволюционных алгоритмов позволяет адаптировать разрабатываемую систему для работы на параллельных вычислительных системах различных классов.*

**Ключевые слова:** цифровое устройство, моделирование, система диагностики, эволюционные вычисления, параллельные вычисления.

**Введение.** Необходимость контроля работоспособности современной цифровой техники на всех этапах жизненного цикла требует соответствующего развития методов её диагностики, тестирования и верификации. Такие методы ложатся в основу автоматизированных систем моделирования и диагностики, которые, в свою очередь, являются частью систем автоматизированного проектирования (САПР) цифровых устройств (ЦУ). САПР ЦУ являются инструментальными средствами разработчика и применяются на различных этапах жизненного цикла разработки: проектирование, выходной и оперативный контроль. Именно качество реализованных в САПР методов диагностики определяет её способность решать поставленные задачи. Основными направлениями развития САПР ЦУ логического уровня представления являются возможность обработки дизайнов очень большой размерности и проектирование энергоэффективных устройств.

Одним из перспективных направлений развития методов диагностирования является применение различных псевдоприродных эвристик

[1]. Среди них, безусловно, наиболее популярными являются генетические алгоритмы (ГА) [2]. Именно ГА были исторически первыми эволюционными методами, которые стали применяться к решению задач диагностики. На основе ГА разработаны методы построения проверяющих тестов [3-4], инициализирующих последовательностей [5] и верификации эквивалентности [6]. В отечественной литературе методы диагностирования ЦУ, которые используют в качестве процедуры поиска ГА, обобщены в монографии авторов [7], которые также занимались решением таких задач. В целом, методы, основанные на ГА, показывают сопоставимые с детерминированными методами результаты, обладая тем преимуществом, что позволяют обрабатывать большие ЦУ [8]. Позже интерес исследователей сместился к другим ЭА, среди которых можно отметить метод симуляции отжига СО [9-10] и муравьиные алгоритмы [11-13].

Среди преимуществ эволюционных методов в контексте решения задач диагностики и контроля ЦУ можно отметить следующие:

- возможность обработки ЦУ большой размерности;
- снижение требования к памяти инструментальной ВС при обработке дизайнов современных крупных ЦУ.

Такие преимущества ЭА обусловлены за счёт смены парадигмы с задачи синтеза решений, заключающейся, в основном, в обходе деревьев решений, на итеративную задачу анализа, заключающуюся в моделировании поведения ЦУ на заданной последовательности. При этом задача моделирования ЦУ (исправного и с неисправностями), в целом считается решённой.

**Постановка задачи.** Из приведённого выше анализа применения ЭА в задачах диагностирования видно, что совокупность разработанных исследователями методов позволяет решать основные задачи диагностики и контроля ЦУ структурного уровня. Это, в свою очередь, даёт

возможность проектировать такие системы автоматизированной диагностики, которые с помощью ЭА решают не отдельные задачи, а всю их совокупность.

Целью настоящей работы является представление опыта построения автоматизированной системы моделирования и диагностики ЦУ АСМИД-Evolution, которая использует данный подход. Упор при разработке системы делался на два следующих направления:

- применение эволюционных методов при решении задач построения идентифицирующих последовательностей (ИдП) различных классов и их оптимизации;

- широкое применение параллельных вычислений, позволяющее выполнять адаптацию системы для работы на современных параллельных вычислительных системах (ВС) различных классов.

Отметим, что в данной статье мы не ставим целью привести исключительное описание непосредственно эволюционных методов построения ИдП или их параллельных реализаций, которые достаточно подробно описаны авторами, например, в [7]. Главной целью данной статьи является именно интеграция таких методов и подходов, реализованных в виде в единой автоматизированной системы диагностики и моделирования.

**Функции и структура системы.** Представляемая система является развитием предыдущих версий [14], наследуя, в частности, базовую внутреннюю структуру данных. С другой стороны, она содержит новую идеологическую составляющую, а именно – широкое использование эволюционных алгоритмов и параллельных вычислений в методах контроля и диагностики ЦУ. При этом с помощью эволюционных алгоритмов реализована как традиционная функциональность системы (генерация проверяющих тестов), так и совершенно новая: построение широкого класса ИдП, методы проектирования энергоэффективных ЦУ.

Укрупнённая структурная схема системы представлена на рис.1. Система состоит из 5 подсистем, реализующих следующие функции:

- подсистема предобработки: трансляция описания во внутреннюю структуру; вычисление параметров наблюдаемости/управляемости, построение списков неисправностей;

- подсистема моделирования: моделирование поведения исправного ЦУ в 3-х и 16-и значном алфавитах; моделирование поведения ЦУ с неисправностями в 3-х и 16-и значном алфавитах; параллельное моделирование ЦУ с неисправностями для параллельных ВС с общей и распределённой памятью;

- подсистема GA-Analyze: построение проверяющих/диагностических тестов константных неисправностей; построение инициализирующих и верифицирующих эквивалентность

последовательностей; построение энергоэффективных тестов, основанное на избыточном тестировании; оценка рассеивания тепла для заданной входной последовательности;

- подсистема SA-Analyze;
- подсистема просмотра результатов: просмотр отчётов, описания устройств (в текстовом и внутреннем форматах); просмотр временных диаграмм работы исправных устройств.

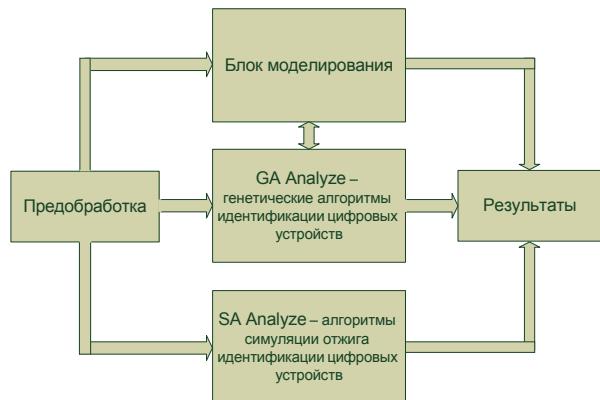


Рис.1. Общая структура системы АСМИД-Evolution

Система ориентирована на текстовый ввод, поскольку именно такое описание генерируется автоматизированными системами из описания на функциональном уровне (VHDL, Verilog и т.п.). Транслятор текстового описания во внутреннюю структуру данных расположен в подсистеме предобработки.

Центральными являются подсистемы GA-Analyze и SA-Analyze, которые реализуют основную функциональность построения ИдП различных классов и их оптимизации, и подсистема моделирования, которая реализует методы моделирования ЦУ, а также на их основании оценку потенциальных решений-последовательностей в эволюционных алгоритмах. Подсистемы предобработки и просмотра результатов носят вспомогательный характер.

Математической основой методов и алгоритмов в системе АСМИД являются булевы алфавиты различной величины, а также основанные на них многозначные логики. Наиболее широко используются 3-значный алфавит  $E_3$  и 16-значный алфавит  $B_{16}$ , а также основанная на них система компонентных функций [15]. На основании многозначных логик разработан и реализован математический аппарат построения оценочных функций в ЭА генерации ИдП [16]. Его применение даёт возможность при построении оценочных функций формализовать информацию о поведении устройств на структурном уровне, более точно оценивать строящиеся последовательности и, следовательно, улучшить сходимость эволюционных методов.

Основной структурой данных системы является система связанных таблиц описания ЦУ на структурном уровне представления. Три основные таблицы хранят информацию о типах логических элементов, логических элементах и связях между ними в устройстве.

В процессе работы системы используется целый ряд других структур представления данных. Перечислим основные из них:

- двунаправленный список неисправностей, который используется в программах моделирования с неисправностями и построения тестов;

- список значений сигналов элементов состояний, используется в методах генерации тестов и алгоритмах параллельного моделирования с одиночным продвижением влияния неисправностей; отметим, что в данном списке хранятся значения сигналов не для всех триггеров, а только для тех, чьи значения отличаются от значений соответствующих линий исправного ЦУ, полученных к текущему такту модельного времени;

- список множества состояний ЦУ, достигнутых в процессе работы некоторого метода; также для каждого из достигнутых состояний хранится последовательность, которая позволяет ЦУ его достичь.

Дополнительно система использует хранение рабочей информации в файлах. ИдП хранятся в файлах следующих типов:

- проверяющие тесты (\*.tst);
- диагностические тесты (\*.dts);
- инициализирующие последовательности (\*.ini);
- верифицирующие эквивалентность последовательности (\*.ver);
- энергоэффективные тесты (\*.ets);
- избыточные тесты (\*.rts).

Все файлы указанных типов имеют сходный формат. Новым форматом в системе является файл с описанием переключательной активности последовательностей (\*.rpw). В файле в текстовом виде хранятся оценки рассеивания тепла для каждой подпоследовательности, а также информация о списках проверяемых ими неисправностей.

Программная реализация системы включает 24 модуля, из которых 3 относятся к предварительной обработке, 2 – к просмотру результатов, остальные 19 – непосредственно реализуют основную функциональность системы: моделирование ЦУ, построение ИдП различных классов, оценка рассеивания тепла устройств, выбор субоптимального подмножества последовательностей.

**Эволюционные вычисления.** Как было отмечено выше, к настоящему моменту времени разработан целый ряд эволюционных алгоритмов построения ИдП различных классов. В эволюционных методах происходит итеративное построение потенциальных решений, в качестве которых выступают входные двоичные

последовательности. Качество таких решений далее проверяется на основании моделирования поведения ЦУ на заданной последовательности. Методология синтеза таких методов обобщена авторами в [7]. Разработка такой методологии даёт возможность синтезировать новые эволюционные методы и, тем самым, расширять функциональность системы под конкретные нужды разработчика.

В рассматриваемой системе представлено две подсистемы GA-Analyze и SA-Analyze, в которых применяются эволюционные методы генерации ИдП и их оптимизации.

Для примера рассмотрим структуру подсистемы GA-Analyze и её входные/выходные потоки данных (рис.2). Здесь каждый блок соответствует программному модулю, предназначенному для генерации заданного типа последовательностей. Реализованные в данной подсистеме методы используют в качестве основной поисковой процедуры генетический алгоритм.

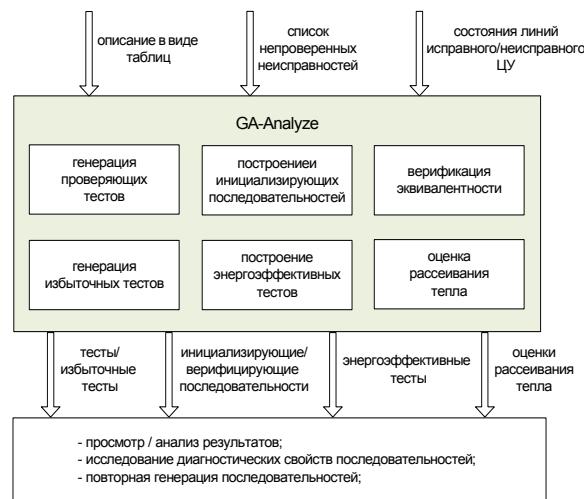


Рис.2. Подсистема GA-Analyze и її входні/виходні потоки даних

Подсистема содержит следующие функциональные компоненты:

- ГА-метод генерации проверяющих тестов ЦУ;
- ГА-метод генерации диагностических тестов ЦУ;
- ГА-ориентированный метод построения последовательностей для логической инициализации ЦУ;
- ГА-метод верификации эквивалентности поведения двух заданных ЦУ;
- ГА-метод генерации избыточных тестов;
- ГА-ориентированный метод оценки пиковых показателей рассеивания тепла ЦУ;
- ГА-метод выбора субоптимального подмножества тестов с минимальным рассеиванием тепла (энергоэффективных тестов).

Подсистема SA-Analyze имеет такую же структуру, как и подсистема GA-Analyze, а также работает с аналогичными входными и выходными данными. Отличием является то, что методы, реализующие её функции, основаны на оптимизационной стратегии симуляции отжига [10]. Включение в систему подсистем с аналогичными функциями, но с различным алгоритмическим наполнением повышает гибкость разработчика в выборе компонент для работы.

Применение новых ЭА в задачах поиска решений позволяет повысить эксплуатационные характеристики системы за счёт обработки ЦУ большой размерности и построения тестовых последовательностей с улучшенными характеристиками [7]:

- полнота проверяющих тестов повышена на 7-10%;
- степень верификации повышена на 12-15%;
- рассеивание тепла в процессе тестирования снижено на 75-93%.

**Параллельные вычисления.** Как было отмечено выше, ЭА относятся к методам, которые для оценки потенциальных решений используют процедуры моделирования. Итеративный вызов таких процедур делает ЭА построения ИдП достаточно медленными при реализации. Выходом из такой ситуации является разработка параллельных версий ЭА. Данная задача рассматривается авторами в двух направлениях:

- построение структур параллельных версий ЭА;
- применение параллельных методов моделирования ЦУ в функциях оценки качества решений.

Основными при построении параллельных версий ГА являются схемы «хозяин-рабочий» и «островов». В схеме «хозяин-рабочий» имеется один цикл эволюции решений, а ускорение работы достигается за счёт параллельного моделирования поведения одного или нескольких ЦУ в процедурах оценки особей. Разработана методика построения параллельных версий ГА-методов по данной схеме, на основании которой реализованы новые ГА генерации ИдП для слабо- и сильнопараллельных ВС, а также исследованы их характеристики масштабируемости. Быстродействие методов генерации последовательностей увеличено в 1.6-2.2 раза на двухядерной системе, в 1.1-3.2 раза на 4-ядерной системе, в 2.2-13.5 раза на 12-ядерной системе.

Для схемы «островов» параллельных ГА разработаны новые методы работы компонент сервера и клиентов. Особенностью предложенного подхода является централизованное управление сервером всеми структурными компонентами, что позволяет реализовывать произвольные топологии взаимодействия островов и стратегии адаптации их параметров. При этом за счёт вариации данных параметров фактически реализуется построение

новых параллельных ГА-методов для доступного класса параллельных вычислительных систем.

Вторым направлением при разработке параллельных ЭА является применение параллельных методов моделирования. Они реализованы в подсистеме моделирования, которая также является одной из центральных. Представленные методы моделирования имеют двойное назначение. Во первых, они имеют самостоятельную ценность при решении соответствующих задач. Во вторых, на основании реализованных в подсистеме методов происходит оценка потенциальных решений (особей в ГА и конфигураций в СО) во всех эволюционных методах построения ИдП различных классов.



Рис.3. Подсистема моделирования и её входные/выходные потоки данных

Подсистема моделирования содержит следующие функциональные элементы (рис.3):

- программа моделирования работы исправного ЦУ в 3-х и 16-и значном алфавитах;
- программа моделирования работы ЦУ с неисправностями в 3-х и 16-и значном алфавитах; при этом каждая неисправность моделируется для каждого входного набора;
- программа моделирования работы ЦУ с неисправностями с сжатием списка неисправностей; используется параллельное по разрядам машинного слова одиночное распространение неисправностей; программа предназначена для одноядерных рабочих станций и служит для быстрого определения диагностических свойств заданной входной последовательности;
- программа параллельного моделирования поведения ЦУ с неисправностями для

- многоядерных (многопроцессорных) рабочих станций с общей памятью;
- программа параллельного моделирования поведения ЦУ с неисправностями для вычислительной системы с распределённой памятью (локальной сети).

При разработке параллельных методов моделирования основной выбрана схема с разбиением списка неисправностей, которая показывает хорошую масштабируемость при росте числа процессоров. Быстродействие разработанных методов моделирования с неисправностями повышенено в 4.4-7.0 раза на 8-процессорном кластере и в 2.8-3.4 раза на 4-ядерной системе. Также для многоядерной ВС с общей памятью предложен принципиально новый метод, который заключается в параллельном моделировании групп неисправностей, что позволило повысить скорость в 4.6-6.7 раза на 12-ядерной системе.

Видно, что в подсистеме реализованы методы моделирования для вычислительных систем различных классов: традиционных одноядерных рабочих станций, перспективных многоядерных рабочих станций с общей памятью, а также распределенных параллельных ВС. Совокупность разработанных методов позволяет выполнять адаптацию ЭА, в которых применяется моделирование ЦУ с неисправностями, на параллельные аппаратные платформы различных классов.

**Выводы.** В работе описано построение автоматизированной системы моделирования и диагностики, в которой задачи построения и оптимизации ИдП решаются на основании эволюционных методов.

Применение эволюционных методов при решении данных задач позволяет повысить эксплуатационные характеристики системы за счёт обработки ЦУ большой размерности, а также строить тестовые последовательности с улучшенными характеристиками в терминах соответствующих задач: число инициализированных триггеров, степень распознавания эквивалентности, полнота теста и т.д.

Совокупность разработанных параллельных эволюционных методов генерации диагностических последовательностей и параллельных методов моделирования, необходимых для оценки потенциальных решений в эволюционных методах, позволяет адаптировать данную систему на тот класс параллельных ВС, который доступен разработчику.

#### Література

1. Скобцов Ю.А. Метаэвристики / Ю.А. Скобцов, Е.Е. Федоров. – Донецк: Ноулидж, 2013. – 426 с.
2. Goldberg D.E. Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning / D.E. Goldberg. Boston, MA: Addison-Wesley Longman Publishing Co. 1989.- 412p.
3. Corno F. Experiences in the use of evolutionary techniques for testing digital circuits / F. Corno, M. Sonza Reorda, M. Rebaudengo // Proc. of Conf. Applications and science of neural networks, fuzzy systems, and evolutionary computation, San Diego CA.- 1998.- P.128-139.
4. Yu X. Diagnostic Test Generation for Sequential Circuits / X. Yu, J. Wu, E.M. Rudnick // Proc. of International Test Conference.- 2000.- P.225-234.
5. Corno F. A Genetic Algorithm for the Computation of Initialization Sequences for Synchronous Sequential Circuits / F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo etc. // Proceeding ATS '01 Proceedings of the 10th Anniversary Compendium of Papers from Asian Test Symposium 1992-2001.- 2001.- P.213.
6. Corno F. Approximate Equivalence Verification for Protocol Interface Implementation via Genetic / F. Corno, M. Sonza Reorda, G. Squillero // Proceedings of the First European Workshops on Evolutionary Image Analysis, Signal Processing and Telecommunications.- 1999.- P.182-192.
7. Иванов Д.Е. Генетические алгоритмы построения входных идентифицирующих последовательностей цифровых устройств. – Донецк, 2012. – 240c.
8. Corno F. Comparing topological, symbolic and GA-based ATPGs: an experimental approach / F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda // Proceedings of the IEEE International Test Conference on Test and Design Validity, Washington (USA).- 1996.- P.39-47.
9. Corno F. SAARA: a simulated annealing algorithm for test pattern generation for digital circuits / F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda // Proceedings of the 1997 ACM symposium on Applied computing, San Jose, California.- 1997.- P.228-232.
10. Иванов Д.Е. Применение алгоритмов симуляции отжига в задачах идентификации цифровых схем / Д.Е. Иванов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання.– Харків: НТУ "ХПІ", 2011.– № 17.– С.60-69.
11. Xiaojing H. Ant Colony Optimizations for Initialization of synchronous sequential circuits / H. Xiaojing, S. Zhengxiang // Proc. of IEEE Circuits and Systems International Conf., 2009.- Pp.5-18.
12. Farah R. An Ant Colony Optimization Approach for Test Pattern Generation / R. Farah, H.M. Harmanani // Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), May, 2008.- Pp.1397-1402, 4-7.
13. Xin F. A Sequential Circuits Test Set Generation Method Based on Ant Colony Particle Swarm algorithm / Fu Xin, Fu Shuai // Proc. of National Conference on Information Technology and Computer Science (CITCS 2012).- Atlantis Press, 2012.- Pp.205-209.
14. Иванов Д.Е. Автоматизированная система моделирования и генерации тестов АСМИД-Е. / Д.Е. Иванов, Ю.А. Скобцов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль.- №2, 2000.- С.54-59.
15. Скобцов Ю. А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / Ю.А. Скобцов, В.Ю. Скобцов.- Донецк:ИПММ НАНУ, ДонНТУ, 2005.- 436с.
16. Иванов Д. Е. Применение информации структурного уровня в алгоритмах построения идентифицирующих последовательностей / Д.Е. Иванов // Известия ЮФУ. Технические науки.- 2013.- №1.- С.149-160.

### References

1. Skobcov Yu.A. Metod'vristiki / Yu.A. Skobcov, E.E. Fedorov. - Doneck: Noulidzh, 2013. - 426 s.
2. Goldberg D.E. Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning / D.E. Goldberg. - Boston, MA: Addison-Wesley Longman Publishing Co. 1989.- 412p.
3. Corno F. Experiences in the use of evolutionary techniques for testing digital circuits / F. Corno, M. Sonza Reorda, M. Rebaudengo // Proc. of Conf. Applications and science of neural networks, fuzzy systems, and evolutionary computation, San Diego CA.- 1998.- P.128-139.
4. Yu X. Diagnostic Test Generation for Sequential Circuits / X. Yu, J. Wu, E.M. Rudnick // Proc. of International Test Conference.- 2000.- P.225-234.
5. Corno F. A Genetic Algorithm for the Computation of Initialization Sequences for Synchronous Sequential Circuits / F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo etc. // Proceeding ATS '01 Proceedings of the 10th Anniversary Compendium of Papers from Asian Test Symposium 1992-2001.- 2001.- P.213.
6. Corno F. Approximate Equivalence Verification for Protocol Interface Implementation via Genetic / F. Corno, M. Sonza Reorda, G. Squillero // Proceedings of the First European Workshops on Evolutionary Image Analysis, Signal Processing and Telecommunications.- 1999.- P.182-192.
7. Ivanov D.E. Geneticheskie algoritmy postroeniya vkhodnyx identificiruyushhix posledovatel'nostej cifrovych ustrojstv / D.E. Ivanov.- Doneck, 2012.- 240s.
8. Corno F. Comparing topological, symbolic and GA-based ATPGs: an experimental approach / F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda // Proceedings of the IEEE International Test Conference on Test and Design Validity, Washington (USA).- 1996.- P.39-47.
9. Corno F. SAARA: a simulated annealing algorithm for test pattern generation for digital circuits / F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda // Proceedings of the 1997 ACM symposium on Applied computing, San Jose, California.- 1997.- P.228-232.
10. Ivanov D.E. Primeneenie algoritmov simulyacii otzhiga v zadachax identifikacii cifrovych sxem / D.E. Ivanov // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu "Kharkivskyi politekhnichnyi instytut". Zbirnyk naukovykh prats. Tematychnyi vypusk: Informatyka i modeliuvannia.- Kharkiv: NTU "KhPI", 2011.- № 17.- C.60-69.
11. Xiaojing H. Ant Colony Optimizations for Initialization of synchronous sequential circuits / H. Xiaojing, S. Zhengxiang // Proc. of IEEE Circuits and Systems International Conf., 2009.- Pp.5-18.
12. Farah R. An Ant Colony Optimization Approach for Test Pattern Generation / R. Farah, H.M. Harmanani // Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), May, 2008.- Pp.1397-1402, 4-7.
13. Xin F. A Sequential Circuits Test Set Generation Method Based on Ant Colony Particle Swarm algorithm / Fu Xin, Fu Shuai // Proc. of National Conference on Information Technology and Computer Science (CITCS 2012).- Atlantis Press, 2012.- Pp.205-209.
14. Ivanov D.E. Avtomatizirovannaya sistema modelirovaniya i generacii testov ASMID-E. / D.E. Ivanov, Yu.A. Skobcov // Texnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchij kontrol'. №2, 2000.- C.54-59.
15. Skobtsov Yu.A. Logicheskoe modelirovanie i testirovanie cifrovych ustrojstv / Yu.A. Skobcov, V.Yu. Skobcov.- Doneck:IPMM NANU, DonNTU, 2005.- 436s.
16. Ivanov D.E. Primeneenie informacii strukturnogo urovnya v algoritmax postroeniya identificiruyushhix posledovatel'nostej / D.E. Ivanov // Izvestiya YuFU. Texnicheskie nauki.- 2013.- №1.- C.149-160.

**Іванов Д. Є. Побудова системи діагностики цифрових пристрій, що базується на еволюційних алгоритмах**

У статті розглядається побудова системи моделювання та діагностики цифрових пристрій логічного рівня представлення. Особливістю системи є те, що основна функціональність з побудови ідентифікуючих послідовностей різних класів та їх оптимізації реалізована за допомогою еволюційних алгоритмів. Це дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики системи в термінах якості послідовностей, що будуться. Розробка підходів до побудови паралельних версій еволюційних алгоритмів дозволяє адаптувати систему, що розробляється, до роботи на паралельних обчислювальних системах різних класів.

**Ключові слова:** цифровий пристрій, моделювання, система діагностики, еволюційні обчислення, паралельні обчислення.

**Ivanov D. E. Construction of the diagnostic system of digital devices based on evolutionary algorithms**

The article discusses the construction of the system of simulation and diagnosis of digital devices on the logic level of presentation. It is described the purpose, basic structure and functions of the system. The main feature of the system is that the basic functionality of the construction of identifying sequences of various classes and their optimization is implemented using evolutionary algorithms. The main search procedures are genetic algorithm and simulated annealing. This allows handling large digital circuits and improving system performance in terms of quality of the constructed sequences. It is described the used approaches to the construction of parallel evolutionary algorithms and methods for parallel fault simulation. Widespread use of parallel methods allows adapting the developed system for parallel computing systems of different classes.

**Keywords:** digital device, simulation, system of diagnostics, evolutionary computation, parallel computing.

**Іванов Дмитрий Евгеньевич**, д.т.н., доцент, с.н.с. отеля теории управляющих систем, Институт прикладной математики и механики НАН Украины, г. Донецк, ivanov@iamm.ac.donetsk.ua

Рецензент: **Даніч В.М.**, д.т.н., професор.

Статья подана 17.02.14

УДК 681.325

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

**Киреев И.Ю., Могильный Г.А.,  
Швыров В.В., Абраменко Р.С.**

### MODELING LINES WITH GIVEN CHANGES GEODESIC DEVIATION

**Kiryeyev I.U, Mogilny G.A.,  
Shvyrov V.V., Abramenko R.S.**

*В статье проведен сравнительный анализ методов моделирования геодезических линий на поверхности с целью определения трудоемкости и возможности использования в составе CAD систем для различных поверхностей, который может быть применен для расчета управляющих намоточных программ для станков с ЧПУ в технологии намотки композитов. Сравнивается метод расчета основанный на использовании В-сплайнов и метод триангуляции (конечно-элементный).*

**Ключевые слова:** армирующий материал, геодезическая линия, намоточная программа, технология намотки.

**Введение.** Современный уровень развития машиностроительной техники, оснащенной оборудованием с числовым программным управлением, обеспечивает проведение с высокой точностью технологических процессов при наличии соответствующего программного обеспечения. Эффективность использования такой техники зависит от правильной постановки задачи, ее корректной математической модели и выбора метода решения.

При решении многих топологических задач в инженерной практике создание математической модели объекта или процесса сводится к построению сетей специальных линий, принадлежащих криволинейным поверхностям объектов. Семейства геодезических линий занимают среди них достойное место и имеют большое теоретическое и прикладное значение.

Однако построение геодезической линии на поверхности представляет определенные сложности, решается приближенно, в основном методами вычислительной математики и начертательной геометрии. Поэтому одной из составляющих задач математического обеспечения автоматизации технологических процессов является разработка алгоритмов, обеспечивающих необходимую

точность расчета геодезической линии на технической (составной) поверхности.

Целью предлагаемой статьи является проведение сравнительного анализа алгоритмов построения геодезических линий на технических (составных) поверхностях основанных на методах дифференциальной геометрии и методах начертательной геометрии.

Вопросам формирования моделей поверхностей и задания кривых на них посвящены работы авторов: И.И.Котова [1], Н.Н.Рыжкова [2], С.А.Фролова [3], В.А.Бусыгина [4], Э.В.Егорова, А.Д.Тузова [5], Ю.С.Завьялова [6], Г.С.Иванова [7], К.М.Наджарова [8], В.А.Осипова [9], А.М.Тевлина [10], В.И.Якунина [11], В.А.Зубкова [12]; П.Кастельжо [13], А.Фокса, М.Пратта [14], У.Ньюмена, Р. Спрулла [15], Р.В.Хемнинга [16], Ф.Препарата, М.Шеймоса [17], Битюкова Ю.И. [18], Журихина С.М. [19], Калинина В.А. [20], Маринина В.И. [21], и других

#### **Изложение основных материалов.**

Определение геодезической линии на поверхности, в основной массе работ, основано на решении системы дифференциальных уравнений имеющей вид [Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

$$\begin{cases} \frac{d^2 u_e}{ds^2} + \Gamma_{11}^1 \left( \frac{du_e}{ds} \right)^2 + 2\Gamma_{12}^1 \left( \frac{du_e}{ds} \right) \left( \frac{dv_e}{ds} \right) + \Gamma_{22}^1 \left( \frac{dv_e}{ds} \right)^2 = 0 \\ \frac{d^2 v_e}{ds^2} + \Gamma_{11}^2 \left( \frac{du_e}{ds} \right)^2 + 2\Gamma_{12}^2 \left( \frac{du_e}{ds} \right) \left( \frac{dv_e}{ds} \right) + \Gamma_{22}^2 \left( \frac{dv_e}{ds} \right)^2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где через  $s$  обозначена длина дуги вдоль геодезической, а через  $\Gamma_y^k$  символы Кристоффеля 2-го рода, которые алгоритмически могут быть вычислены по формуле

$$\Gamma_y^k = (-1)^k \frac{\langle \vec{r}_{3-k}, \vec{r}_y, [\vec{r}_1, \vec{r}_2] \rangle}{[\vec{r}_1, \vec{r}_2]^2}, i, j, k = 1, 2 \quad (2)$$

(квадратные скобки обозначают векторное произведение двух векторов, угловые скобки – смешанное произведение трех векторов). В развернутом виде символы Кристоффеля имеют следующий вид:

$$\Gamma_{11}^1 = \frac{1}{2\sigma^2} \left( \partial_{22} \frac{\partial g_{11}}{\partial u} - 2\partial_{12} \frac{\partial g_{12}}{\partial u} + \partial_{12} \frac{\partial g_{11}}{\partial v} \right), \quad (3)$$

$$\Gamma_{12}^1 = \Gamma_{21}^1 = \frac{1}{2\sigma^2} \left( g_{22} \frac{\partial g_{11}}{\partial v} - g_{12} \frac{\partial g_{22}}{\partial u} \right), \quad (4)$$

$$\Gamma_{22}^1 = -\frac{1}{2\sigma^2} \left( g_{22} \frac{\partial g_{22}}{\partial u} - 2g_{22} \frac{\partial g_{12}}{\partial v} + g_{12} \frac{\partial g_{22}}{\partial v} \right), \quad (5)$$

$$\Gamma_{11}^2 = -\frac{1}{2\sigma^2} \left( g_{12} \frac{\partial g_{11}}{\partial u} - 2g_{11} \frac{\partial g_{12}}{\partial u} + g_{11} \frac{\partial g_{11}}{\partial v} \right), \quad (6)$$

$$\Gamma_{12}^2 = \Gamma_{21}^2 = \frac{1}{2\sigma^2} \left( g_{11} \frac{\partial g_{22}}{\partial u} - g_{12} \frac{\partial g_{11}}{\partial v} \right), \quad (7)$$

$$\Gamma_{22}^2 = \frac{1}{2\sigma^2} \left( g_{12} \frac{\partial g_{22}}{\partial u} - 2g_{12} \frac{\partial g_{12}}{\partial v} + g_{11} \frac{\partial g_{22}}{\partial v} \right), \quad (8)$$

$$\sigma = \sqrt{g_{11}g_{22} - g_{12}^2}. \quad (9)$$

Коэффициенты первой квадратичной формы поверхности имеют вид:

$$\begin{aligned} E &= g_{11} = (\vec{r}_1, \vec{r}_1), \\ F &= g_{12} = g_{21} = (\vec{r}_1, \vec{r}_2), \\ G &= g_{22} = (\vec{r}_2, \vec{r}_2). \end{aligned} \quad (10)$$

При этом поверхность в пространстве с системой декартовых координат  $x, y, z$  будет задаваться выражением (11):

$$\vec{r} = \vec{r}(u, v) = x(u, v)i + y(u, v)j + z(u, v)k. \quad (11)$$

где  $x, y, z$  – координаты этой вектор-функции, которые в свою очередь являются функциями  $u, v$ .

В качестве примера применения разработанной модели рассмотрим поверхность имеющей форму эллиптического конуса. Уравнение эллиптического конуса запишем в векторно-параметрической форме:

$$\vec{r}(\phi, z) = \{b*z*p*\cos\phi, b*z*\sin\phi, z\}, \quad (12)$$

где  $b=0.2333; p=0.22857$ ;

Далее необходимо определить производные по параметрам согласно формулам 3-10.

$$\begin{aligned} \vec{r}'_\phi(\phi, z) &= \{-b*z*p*\sin\phi, b*z*\cos\phi, 0\}, \\ \vec{r}'_z(\phi, z) &= \{b*z*p*\cos\phi, b*z*\sin\phi, 1\}, \\ \vec{r}''_\phi(\phi, z) &= \{-b*z*p*\sin\phi, b*z*\cos\phi, 0\}, \quad (13) \\ \vec{r}''_{\phi\phi}(\phi, z) &= \{-b*z*p*\cos\phi, -b*z*\sin\phi, 0\}, \\ \vec{r}''_{zz}(\phi, z) &= \{0, 0, 0\}, \\ \vec{r}''_{\phi z}(\phi, z) &= \{-b*p*\sin\phi, b*\cos\phi, 0\}, \\ \vec{r}''_{\phi\phi}(\phi, z) &= \{-b*p*\sin\phi, b*\cos\phi, 0\}. \end{aligned}$$

Исходя из выражения производных (13) вектор-функции  $\vec{r}(\phi, z)$  найдем коэффициенты первой квадратичной формы по формулам (10):

$$\begin{aligned} g_{\phi\phi} &= (p^2 * \sin^2\phi + \cos^2\phi) * (b*z)^2, \\ g_{\phi z} &= -(1-p^2) * \sin\phi * \cos\phi * z * b^2, \quad (14) \\ g_{zz} &= b^2 * (p^2 * \cos^2 + \sin^2) + 1. \end{aligned}$$

Далее используя полученные коэффициенты по формулам (2) определяем символы Кристоффеля 2-го рода, подставив которые в формулы (3-9) получим систему дифференциальных уравнений, которую решим, используя метод Рунге-Кutta.

Для численного решения системы дифференциальных уравнений (2) необходимо определить две пары начальных условий, а именно координаты начальной точки и производные по направлениям в этой точке

Полученный результат для начальных условий соответствующих положению начальной точки витка  $z=75; \phi=0$ ; и углов в точке представлен на рис. 1.

Приведенный выше способ моделирования дает весьма точные результаты, однако имеет ограничение, связанное с заданием поверхности, а именно с необходимостью задания поверхности в параметрическом виде, что приводит при описании сложных, составных, неосесимметричных поверхностей к применению сплайнов [22].

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^L P_{i,j} N_{i,m}(u) N_{j,n}(v), \quad (15)$$

где  $N_{i,m}(u)$  и  $N_{j,n}(v)$  – базисные В-сплайн функции (возможно различных порядков).

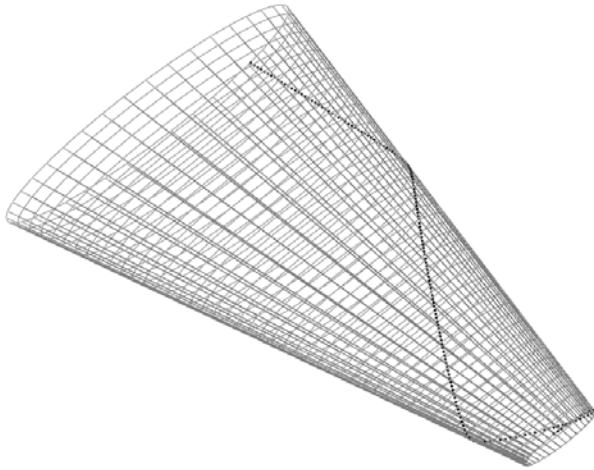


Рис. 1. Поверхність еліптического конуса з нанесеною геодезичною кривою (расчеты проводились в MathCad14)

Обично для этих B-сплайн форм берется стандартный узловой вектор, так что углы контрольного полиэдра интерполируются точно. Контрольный полиэдр состоит из  $(L+1)(M+1)$  контрольных точек, а  $u$  и  $v$  изменяются от нуля до максимального значения узла в соответствующих узловых векторах.

Стыковочная функция B-сплайна  $m$ -го порядка, имеет следующий вид [22]:

$$N_{k,m}(t) = \begin{cases} \frac{t-t_k}{t_{k+m-1}-t_k} \cdot N_{k,m-1}(t) + \\ + \frac{t_{k+m}-t}{t_{k+m}-t_{k+1}} \cdot N_{k+1,m-1}(t) \end{cases}, \quad (16)$$

где  $k = 0, 1, \dots, L$ . Такое определение является рекурсивным и описывает построение функции  $m$ -го порядка из двух B-сплайн функций  $(m-1)$ -го порядка.

Функция первого порядка это постоянная единичная функция в пределах своего диапазона:

$$N_{k,1}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t_k < t \leq t_{k+1} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (17)$$

где  $T = (t_0, t_1, t_2, \dots, t_{L+m})$  – узловой вектор. Узловой вектор является списком узловых значений  $t_0, t_1, t_2, \dots$ , для которых предполагается, что они не убывают, то есть  $t_i \leq t_{i+1}$ .

Поверхности строятся следующим образом [22]:

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^L \omega_{i,j} P_{i,j} N_{i,m}(u) N_{j,n}(v)}{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^L \omega_{i,j} N_{i,m}(u) N_{j,n}(v)}, \quad (18)$$

где  $\omega_k, k \in [0, L]$  неотрицательный набор весов (параметров формы).

В качестве примера применения предложенной модели рассмотрим поверхность полученную перемещением кубического сплайна построенного на четырех узлах вдоль прямой и поверхность полученную замятием кубического сплайна вдоль другого кубического сплайна.

Найдем параметрические формулы, задающие такие поверхности.

Пусть кубический сплайн задается точками и касательными векторами

$$\begin{aligned} P_1[a_1, b_1, c_1, 1], \\ P_2[a_2, b_2, c_2, 1], \\ P_3[a_3, b_3, c_3, 0], \\ P_4[a_4, b_4, c_4, 0]. \end{aligned} \quad (19)$$

Будем считать, что точки компланарны для удобства  $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 0$ .

В первом случае поверхность задается формулами:

$$Q(u, v) = C[u]T[v], \quad 0 \leq u \leq 1, \quad 0 \leq v \leq 1. \quad (20)$$

Нормализованный сегмент кубического сплайна задается следующим образом:

$$\begin{aligned} [C(u)] = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \\ \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & 1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 1 \\ a_3 & b_3 & c_3 & 0 \\ a_4 & b_4 & c_4 & 0 \end{bmatrix} = \\ = \begin{bmatrix} 2u^3 - 3u^2 + 1 & -2u^3 + 3u^2 & u^3 - 2u^2 + u & u^3 + u^2 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & 1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 1 \\ a_3 & b_3 & c_3 & 0 \\ a_4 & b_4 & c_4 & 0 \end{bmatrix} = \\ [(2u^3 - 3u^2 + 1)a_1 + (-2u^3 + 3u^2)a_2 + \\ + (u^3 - 2u^2 + u)a_3 + (u^3 + u^2)a_4 \\ (2u^3 - 3u^2 + 1)b_1 + (-2u^3 + 3u^2)b_2 + \\ + (u^3 - 2u^2 + u)b_3 + (u^3 + u^2)b_4 \\ (2u^3 - 3u^2 + 1)c_1 + (-2u^3 + 3u^2)c_2 + \\ + (u^3 - 2u^2 + u)c_3 + (u^3 + u^2)c_4 \\ 1]. \end{aligned} \quad (21)$$

Выполнив перегруппировку получаем, что

$$\begin{aligned} & [(2a_1 - 2a_2 + a_3 + a_4)u^3 + \\ & + (-3a_1 + 3a_2 - 2a_3 + a_4)u^2 + \\ & + a_3u + a_1] \\ & [(2b_1 - 2b_2 + b_3 + b_4)u^3 + \\ & + (-3b_1 + 3b_2 - 2b_3 + b_4)u^2 + \\ & + b_3u + b_1] \end{aligned} \quad (22)$$

0

1].

Заметающее преобразование вдоль оси z на L единиц может быть задано матрицей:

$$[T(v)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & Lv & 1 \end{bmatrix}. \quad (23)$$

После всех преобразований поверхность  $Q(u, v)$  в параметрическом виде будет записана следующим образом:

$$Q(u, v) = \begin{cases} (2a_1 - 2a_2 + a_3 + a_4)u^3 + \\ + (-3a_1 + 3a_2 - 2a_3 + a_4)u^2 + \\ + a_3u + a_1 \\ (2b_1 - 2b_2 + b_3 + b_4)u^3 + \\ + (-3b_1 + 3b_2 - 2b_3 + b_4)u^2 + \\ + b_3u + b_1 \\ Lv \end{cases}. \quad (24)$$

Во втором случае, параметрические формулы находятся аналогично, учитывая лишь изменения заметающего преобразования вдоль сплайна.

Далее, найдем дифференциальные уравнения геодезической для поверхности (24).

Обозначим через q – радиус вектор данной поверхности и найдем производные по параметрам, для этого введем следующие обозначения:

$$m_{11} = 2a_1 - 2a_2 + a_3 + a_4, m_{12} = -3a_1 + 3a_2 - 4a_3 + 2a_4, \quad (25)$$

$$m_{21} = 2b_1 - 2b_2 + b_3 + b_4, m_{22} = -3b_1 + 3b_2 - 4b_3 + 2b_4. \quad (26)$$

Производные по параметрам

$$\begin{aligned} q_u &= (3(2a_1 - 2a_2 + a_3 + a_4)u^2 + \\ &+ 2(-3a_1 + 3a_2 - 2a_3 + a_4)u + a_3, \\ &3(2b_1 - 2b_2 + b_3 + b_4)u^2 + \\ &+ 2(-3b_1 + 3b_2 - 2b_3 + b_4)u + b_3, \\ &0) = \\ &= (3m_{11}u^2 + 2m_{12}u + a_3, 3m_{21}u^2 + 2m_{22}u + b_3, 0) \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} q_{uu} &= (6(2a_1 - 2a_2 + a_3 + a_4)u + 2(-3a_1 + 3a_2 - 2a_3 + a_4), \\ &6(2b_1 - 2b_2 + b_3 + b_4)u + 2(-3b_1 + 3b_2 - 2b_3 + b_4), 0) = \\ &= (6m_{11}u + 2m_{12}, 6m_{21}u + 2m_{22}, 0), \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} q_v &= (0, 0, L); q_{vv} = (0, 0, 0); \\ q_{uv} &= q_{vu} = (0, 0, 0). \end{aligned} \quad (29)$$

Вычислим скалярные произведения  
 $\langle q_u, q_u \rangle, \langle q_u, q_v \rangle, \langle q_v, q_v \rangle$

$$\begin{aligned} g_{11} &= \langle q_u, q_u \rangle = \\ &= ((6a_1 - 6a_2 + 3a_3 + 3a_4)u^2 + \\ &+ (-6a_1 + 6a_2 - 4a_3 + 2a_4)u + a_3)^2 + \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} &+ ((6b_1 - 6b_2 + 3b_3 + 3b_4)u^2 + \\ &+ (-6b_1 + 6b_2 - 4b_3 + 2b_4)u + b_3)^2 \end{aligned}$$

$$g_{12} = g_{21} = \langle q_u, q_v \rangle = \langle q_v, q_u \rangle = 0 \quad (31)$$

$$g_{22} = L^2 \quad (32)$$

Таким образом, матрица первой квадратичной формы имеет вид:

$$G = \begin{pmatrix} (3m_{11}u^2 + 2m_{12}u + a_3)^2 & 0 \\ + (3m_{21}u^2 + 2m_{22}u + b_3)^2 & L^2 \end{pmatrix}. \quad (33)$$

Найдем обратную матрицу  $G^{-1}$ .

$$G^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{(3m_{11}u^2 + 2m_{12}u + a_3)^2} & 0 \\ + \frac{1}{(3m_{21}u^2 + 2m_{22}u + b_3)^2} & \frac{1}{L^2} \\ 0 & \end{pmatrix}. \quad (34)$$

По правилам дифференцирования скалярных произведений вектор-функций согласно формул 3-9 имеем:

$$\frac{\partial g_{ij}}{\partial u^l} = \langle q_{il}, q_j \rangle + \langle q_i, q_{jl} \rangle, \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial g_{11}}{\partial u} &= \langle q_{uu}, q_u \rangle + \langle q_u, q_{uu} \rangle = \\ &= (3m_{11}u^2 + 2m_{12}u + a_3)(6m_{11}u + 2m_{12}) + \\ &\quad + (3m_{21}u^2 + 2m_{22}u + b_3)(6m_{21}u + 2m_{22}), \end{aligned} \quad (36)$$

$$\frac{\partial g_{12}}{\partial u} = \langle q_{uv}, q_v \rangle + \langle q_u, q_{vu} \rangle = 0, \quad (37)$$

$$\frac{\partial g_{12}}{\partial u} = \langle q_{uv}, q_v \rangle + \langle q_u, q_{vu} \rangle = 0, \quad (38)$$

$$\frac{\partial g_{11}}{\partial v} = \langle q_{uv}, q_u \rangle + \langle q_u, q_{uv} \rangle = 0, \quad (39)$$

$$\frac{\partial g_{22}}{\partial u} = \langle q_{vu}, q_v \rangle + \langle q_v, q_{vu} \rangle = 0, \quad (40)$$

$$\frac{\partial g_{12}}{\partial v} = \langle q_{uv}, q_v \rangle + \langle q_u, q_{vv} \rangle = 0, \quad (41)$$

$$\frac{\partial g_{22}}{\partial v} = \langle q_{vv}, q_v \rangle + \langle q_v, q_{vv} \rangle = 0. \quad (42)$$

Таким образом, символы Кристоффеля примут значения:

$$\begin{aligned} \Gamma_{11}^1 &= \frac{1}{2\sigma^2} \left( g_{22} \frac{\partial g_{11}}{\partial u} \right) = \\ &= (3m_{11}u^2 + 2m_{12}u + a_3)(6m_{11}u + 2m_{12}) + \\ &\quad + \frac{(3m_{21}u^2 + 2m_{22}u + b_3)(6m_{21}u + 2m_{22})}{(3m_{11}u^2 + 2m_{12}u + a_3)^2} + \\ &\quad + (3m_{21}u^2 + 2m_{22}u + b_3)^2 \end{aligned} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{12}^1 &= \Gamma_{21}^1 = 0, \quad \Gamma_{22}^1 = 0, \\ \Gamma_{11}^2 &= 0, \quad \Gamma_{12}^2 = \Gamma_{21}^2 = 0, \quad \Gamma_{22}^2 = 0. \end{aligned} \quad (44)$$

Использование для описания поверхности B-сплайнов приводит к значительному усложнению исходных уравнений и к трудностям при их отладке и использовании.

Последнее обстоятельство привело к развитию различных моделей построенных на методах начертательной геометрии.

К такому методу можно отнести метод, предложенный в [3] и заключающийся в том, что поверхность оправки разбивается на конечные элементы, представляющие собой плоские треугольники, вследствие чего авторы назвали свой метод конечно-элементным.

Для задания параметров в предложенной модели предлагается использовать следующие допущения: оправка разбивается на конечные элементы, которые имеют треугольную форму. Базовой точкой расчета называется точка, принадлежащая траектории, в которой удобно задавать угол с базовым направлением. Базовая точка является одной из узловых точек некоторого конечного элемента.

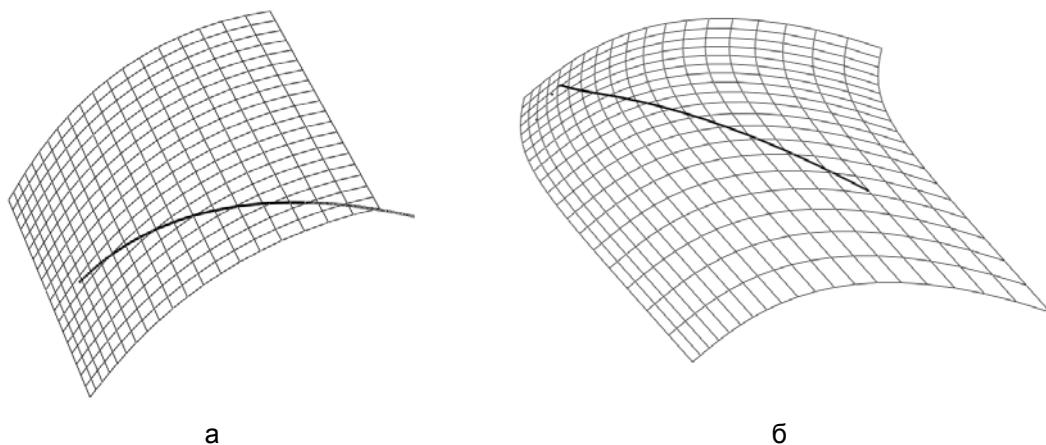


Рис. 2. Расчетные геодезические кривые: а – поверхность одинарной кривизны, б – поверхность двойной кривизны (расчеты проводились в MathCad14)

Начальной точкой называется точка, с которой начинается процесс расчета геодезической линии. Конечной точкой называется точка, в которой заканчивается процесс расчета. Начальными условиями модели являются: базовая точка и угол с базовым направлением (угол армирования). Процесс моделирования начинается из базовой точки, которая принадлежит нескольким смежным конечным элементам. Направление моделирования из базовой точки находится следующим образом: восстанавливаются единичные векторы  $\vec{a}_i$  перпендикулярные смежным конечным элементами базовой точки. Строится средний вектор определенный по формуле:

$$\bar{a} = \frac{\sum_i^N a_i}{N}. \quad (45)$$

Затем строится плоскость перпендикулярная среднему вектору и проходящая через базовую точку. Проектируется на эту плоскость ось тела. В этой плоскости отсчитывается угол армирования от проекции оси тела, получившийся вектор направления проецируется на плоскости конечных элементов прилегающих к базовой точке. Выбирается из всех проекций та, которая лежит между двумя сторонами треугольника соответствующего смежного конечного элемента, на который выполнено проецирование. Эта проекция и будет являться направлением моделирования от базовой точки.

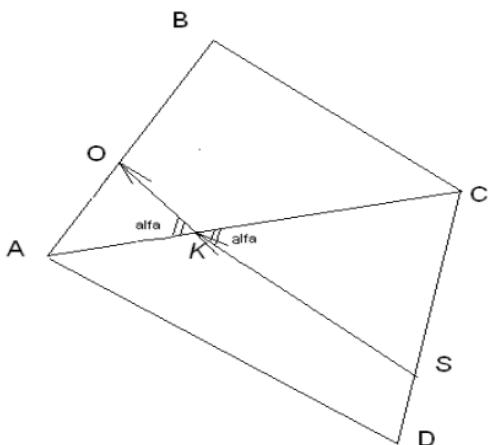


Рис. 3. Моделирование геодезической линии конечно-элементным методом

Процесс моделирования для последующих элементов производится по следующему алгоритму. Рассмотрим два произвольных прилегающих конечных элемента (ABC) и (ACD) (Рис.3). Траектория переходит через эти два конечных элемента и имеет вектор направления SK в плоскости треугольника (ACD). При переходе траектории через общую грань AC, виток выходит в плоскости треугольника (ACB) с вектором направления KO. Угол (Alfa) с ребром

образованного плоскостями треугольников (ACD) и (ABC) двухгранных углов принимается постоянным.

**Выводы.** Таким образом, полученные модели позволяет рассчитывать и моделировать траекторию укладки армирующего материала по геодезической траектории для изделий сложной формы. Метод триангуляции (конечно-элементный) значительно проще, но обладает значительной погрешностью.

#### Л и т е р а т у р а

1. Котов И. И. Прикладная геометрия и автоматизированное воспроизведение поверхностей / Котов И. И. // Кибернетика графики и прикладная геометрия поверхностей: Сборник трудов.- М. Изд-во МАИ, 1971. Вып. 8.- С.3 – 5.
2. Рыжов Н. Н. Каркасная теория задания и конструирования поверхностей / Рыжов Н. Н. // Труды УДН, 1967. Т.26. Математика, вып. 3. – С.128 – 138.
3. З Фролов С.А. Кибернетика и инженерная графика / Фролов С. А. - М. : Машиностроение, 1974. – 224 с.
4. Бусыгин В. А. Коррекция по дискретным исходным данным программы обработки плоского обвода на станках с числовым программным управлением / Бусыгин В. А., Лебедева А. Б., Филиппенков В. А. // Авиационная промышленность.- 1976.- № 4.- С.17 – 18.
5. Егоров Э. В. Моделирование поверхностей агрегатов ЛА / Егоров Э. В., Тузов А. Д. // Уч. пособие под ред. Э.В. Егорова.- М. : Изд-во МАИ, 1988. – 88 с.
6. Вершинин В. В. Экстремальные свойства сплайнов и задача сглаживания / Вершинин В. В., Завьялов Ю. С., Павлов Н. П..- Новосибирск : Наука, 1988. – 103 с.
7. Иванов Г. С. Конструирование технических поверхностей / Иванов Г.С. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
8. Основы прикладной геометрии поверхностей элементов ЛА: Учебное пособие/ В.И. Якунин, В.В.- С. Радзивилович, Е.Ж. Есмуханов, А.Д. Тузов, Л.Г. Нартова, К.М. Наджаров, Ю.И. Денискин, Н.Н. Белякова, В.А. Калинин; Под ред. В.И. Якунина. - М.: Изд-во МАИ, 1991. - 68 с.
9. Осипов В. А. Машины методы проектирования и расчета непрерывно-каркасных поверхностей / Осипов В. А. – М. :Машиностроение, 1979. -248 с.
10. Кинематические методы конструирования технических поверхностей: Сборник статей /под ред. А.М. Тевлина.- Труды МАИ, М., 1970. Вып. 213. – 121 с.
11. Теоретические основы формирования моделей поверхностей: Учебное пособие Якунин В.И. и др.; Под ред. В.И. Якунина. - М.: Изд-во МАИ, 1985. -52 с.
12. Зубков В. А. Метод геометрического конструирования аэродинамических поверхностей типа "крыло-оперение" и автоматизация их воспроизведения на оборудовании с ЧПУ/ Автограферат дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук.- М., 1977. - 20 с.
13. Математика и САПР. Кн.1: Основные методы. Теория полюсов.- М.: Мир, 1988. – 208 с.
14. Фокс А. Вычислительная геометрия / Фокс А., Пратт М. – М. : Мир, 1982. – 304 с.

15. Ньюмен У. Основы интерактивной машинной графики / Ньюмен У., Спрулл Р. – М. : Мир, 1976. – 573 с.
16. Хемнинг Р. В. Численные методы для научных работников и инженеров / Хемнинг Р. В. - М. : Наука, 1972. – 400 с.
17. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение / Препарата Ф., Шеймос М.. - М. : Мир, 1989. – 480 с.
18. Битюков Ю. И. Моделирование поверхностей оправок, применяемых в процессе намотки //Прикладная геометрия. Applied Geometry [Электронный ресурс]: науч. журн. /Моск. авиационный ин-т (гос.техн.университет) «МАИ». – Электрон. журн. – Москва : МАИ, 1999. – №1; вып.1. – Режим доступа к журн.: <http://www.mai.ru/~apg> .
19. Журихин С.М. Пприменение сплайнов nurbs для построения оболочек наматывания сложной формы :«композиционные материалы в промышленности» /Журихин С.М. // Материалы двадцать шестой международной конференции и выставки 29 мая – 2 июня 2006 г. – Ялта.
20. Калинин В. А. Геометрическое моделирование технологического процесса намотки в производстве LA / Калинин В. А., Якунин В. И.. – М.: изд-во МАИ, 1995.– 68с.
21. Маринин В. И. Алгоритмы намотки нитью для широкого класса оправок / Маринин В. И., Шварц А. Б./Прикладная геометрия. Applied Geometry [Электронный ресурс]: науч. журн. /Моск. авиационный ин-т (гос.техн.университет) «МАИ». – Электрон. журн. – Москва : МАИ, 2002. – №5; вып.4. – Режим доступа к журн.: <http://www.mai.ru/~apg> .
22. Ращевский П. К. Курс дифференциальной геометрии / Ращевский П. К. – м.: Гостехиздат, 1946. – 420с.
10. Kinematiceskie metody konstruirovaniya tehnicheskikh poverhnostej: Sbornik statej /pod red. A.M. Tevlina.- Trudy MAI, M., 1970. Vyp. 213. – 121 s.
11. Teoreticheskie osnovy formirovaniya modeley poverhnostej: Uchebnoe posobie Jakunin V.I. i dr.; Pod red. V.I. Jakunina. - M.: Izd-vo MAI, 1985. -52 s.
12. Zubkov V. A. Metod geometricheskogo konstruirovaniya ajerodinamicheskikh poverhnostej tipa "krylo-operenie" i avtomatizacija ih vospriozvedenija na oborudovanii s ChPU/ Avtoreferat dis. na soisk. uchen. step. kand. tehn. nauk.- M., 1977. - 20 s.
13. Matematika i SAPR. Kn.1: Osnovnye metody. Teoriya poljusov.- M.: Mir, 1988. – 208 s.
14. Foks A. Vychislitel'naja geometrija / Foks A., Pratt M. – M. : Mir, 1982. – 304 s.
15. N'jumen U. Osnovy interaktivnoj mashinnoj grafiki / N'jumen U., Sprull R. – M. : Mir, 1976. – 573 s.
16. Hemning R. V. Chislenyye metody dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov / Hemning R. V. - M. : Nauka, 1972. – 400 s.
17. Preparata F. Vychislitel'naja geometrija: Vvedenie / Preparata F., Shejmos M.. - M. : Mir, 1989. – 480 s.
18. Bitjukov Ju. I. Modelirovanie poverhnostej opravok, primenjaemyh v processe namotki //Prikladnaja geometrija. Applied Geometry [Jelektronnyj resurs]: nauch. zhurn. /Mosk. aviacionnyj in-t (gos.tehn.universitet) «MAI». – Jelektron. zhurn. – Moskva : MAI, 1999. – №1; vyp.1. – Rezhim dostupa k zhurn.: <http://www.mai.ru/~apg> .
19. Zhurihin S.M. Pprimenie splajnov nurbs dlja postroenija obolochek namatyvaniya slozhnoj formy :«kompozicionnye materialy v promyshlennosti» / Zhurihin S.M. // Materialy dvadcat' shestoj mezdunarodnoj konferencii i vystavki 29 maja – 2 iyunja 2006 g. – Jalta.
20. Kalinin V. A. Geometricheskoe modelirovanie tehnologicheskogo processa namotki v proizvodstve LA / Kalinin V. A., Jakunin V. I.. – M.: izd-vo MAI, 1995.– 68s.
21. Marinin V. I. Algoritmy namotki nit'ju dlja shirokogo klassa opravok / Marinin V. I., Shvarc A. B./Прикладная геометрия. Applied Geometry [Jelektronnyj resurs]: nauch. zhurn. /Mosk. aviacionnyj in-t (gos.tehn.universitet) «MAI». – Jelektron. zhurn. – Moskva : MAI, 2002. – №5; vyp.4. – Rezhim dostupa k zhurn.: <http://www.mai.ru/~apg> .
22. Rashevskij P. K. Kurs differencial'noj geometrii / Rashevskij P. K. – m.: Gostehizdat, 1946. – 420s.

#### References

1. Kotov I. I. Prikladnaja geometrija i avtomatizirovannoe vospriozvedenie poverhnostej / Kotov I. I. // Kibernetika grafiki i prikladnaja geometrija poverhnostej: Sbornik trudov.- M. Izd-vo MAI, 1971. Vyp. 8.-C.3 – 5.
2. Ryzhov N. N. Karkasnaja teoriya zadanija i konstruirovaniya poverhnostej / Ryzhov N. N. // Trudy UDN, 1967. T.26. Matematika, vyp. 3. – C.128 – 138.
3. 3 Frolov S.A. Kibernetika i inzhernaja grafika / Frolov S. A.. - M. : Mashinostroenie, 1974. – 224 s.
4. Busygin V. A. Korrekcija po diskretnym ishodnym dannym programmy obrabotki ploskogo obvoda na stankah s chislovym programmnym upravleniem / Busygin V. A., Lebedeva A. B., Filipenkov V. A. // Aviacionnaja promyshlennost'.- 1976.- № 4.- C.17 – 18.
5. Egorov Je. V. Modelirovanie poverhnostej agregatov LA / Egorov Je. V., Tuzov A. D. // Uch. posobie pod red. Je.V. Egorova.- M. : Izd-vo MAI, 1988. – 88 s.
6. Vershinin V. V. Jekstremal'nye svojstva splajnov i zadacha sglazhivanija / Vershinin V. V., Zav'jalov Ju. S., Pavlov N. P..- Novosibirsk : Nauka, 1988. – 103 s.
7. Ivanov G. S. Konstruirovaniye tehnicheskikh poverhnostej / Ivanov G.S. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 192 s.
8. Osnovy prikladnoj geometrii poverhnostej jelementov LA: Uchebnoe posobie/ V.I. Jakunin, V.V.-S. Radzivilovich, E.Zh. Esmuhanov, A.D. Tuzov, L.G. Nartova, K.M. Nadzharov, Ju.I. Deniskin, N.N. Beljakova, V.A. Kalinin; Pod red. V.I. Jakunina. - M.: Izd-vo MAI, 1991. - 68 s.
9. Osipov V. A. Mashinnye metody proektirovaniya i rascheta nepreryvno-karkasnyh poverhnostej / Osipov V. A.. – M. :Mashinostroenie, 1979. -248 s.

**Кірєєв І. Ю., Могильний Г. А., Швиров В. В., Абраменко Р. С. Моделювання ліній із заданим законом зміни геодезичного відхилення**

У статті запропоновано ефективний алгоритм знаходження ліній із заданим законом зміни геодезичного відхилення, який може бути застосований для розрахунку керуючих намотувальних програм для верстатів з ЧПУ в технології намотування композитів. Порівнюється метод розрахунку заснований на використанні В-сплайнів і метод тріангуляції (кінцево-елементний).

**Ключові слова:** армуючий матеріал, геодезичне відхилення, намотувальна програма, технологія намотування.

**Kiryeyev I.U., Mogilny G.A., Shvyrov V.V., Abramenco R.S. Modeling lines with given changes geodesic deviation.**

*This paper proposes an efficient algorithm for finding the lines with a given law changes geodesic deviation, which can be used to calculate the control winding programs for CNC machine tools in winding technology composites. Compared to the method of calculation based on the use of B-splines and the triangulation method.*

**Key words:** reinforcing material, the geodesic deviation, winding program winding technology.

**Кірсєв Ігор Юлійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних технологій та систем Луганського національного університету ім. Тараса Шевченка.

**Могильний Геннадій Анатольович**, канд. техн. наук, директор Інституту фізики, математики та інформаційних технологій та систем Луганського національного університету ім. Тараса Шевченка.

**Швиров В'ячеслав Владислович**, канд. фіз.-мат. наук, ст. преп. кафедри інформаційних технологій та систем Луганського національного університету ім. Тараса Шевченка.

**Абраменко Роман Сергійович**, завідувач лабораторії кафедри інформаційних технологій та систем Луганського національного університету ім. Тараса Шевченка.

Рецензент: **Данич В.М.**, д.т.н., професор.

Стаття подана 16.04.2014

УДК 678.074:620.17

## РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНЫХ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

**Козуб Ю. Г., Козуб Г. А.**

### CALCULATION OF MULTILAYER RUBBER-METALL SHOCK-ABSORBERS IN NON-LINEAR POSITION

**Kozub Y. G., Kozub G. A.**

Для решения задачи динамического деформирования эластомерных элементов разработана математическая модель и разработан метод расчета конструкций с учетом физической и геометрической нелинейности слабосжимаемых вязкоупругих тел. Предложенный метод используется для решения связанной задачи термоупругости и определения долговечности на основе энергетического критерия.

**Ключевые слова.** Слабая сжимаемость, эластомер, долговечность, метод конечных элементов

**Введение.** В машиностроении и строительстве широкое распространение получили вязкоупругие демпфирующие элементы конструкций. Для уменьшения осадки таких демпфирующих конструкций их чаще всего изготавливают в виде многослойных резинометаллических пакетов, в которых основную демпфирующую функцию выполняют эластомерные слои. Исследованию вязкоупругих свойств резины, анализу деформирования и разрушения эластомерных элементов конструкций посвящено достаточно большое количество работ отечественных и зарубежных авторов [1-4]. Наиболее эффективным для описания вязкоупругих свойств является применение уравнений Вольтерра. В динамических расчетах следует учитывать эффекты демпфирования резиновых элементов конструкций, случайный характер возмущающих воздействий и наследственно-упругую реакцию на них [3, 5-9]. Чаще всего при исследовании поведения резины вводится гипотеза о несжимаемости этого материала. Однако при стесненных деформациях эта гипотеза неприемлема [10]. Аналитические решения уравнений в задачах о деформировании конструкций при циклическом нагружении получены лишь для одномерного случая, что значительно ограничивает возможности получить надежное решение для элементов конструкций, имеющих сложную форму. В этом случае наиболее эффективным является применение численных

методов решения задач в трехмерной постановке, одним из которых является метод конечных элементов. Целью работы является разработка эффективного метода решения задачи о деформировании и определения долговечности резинометаллических амортизаторов с учетом нелинейных свойств эластомера.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Деформирование конструкций из эластомеров под действием динамических нагрузок сопровождается существенный диссилиацией энергии, которая свою очередь сопровождается саморазогревом. Источниками теплообразования служат напряжения и скорости деформаций. На основе вариационного уравнения Био уравнение динамики эластомера имеет вид

$$\int_V (P_i - \rho \ddot{u}_i) \delta u_i dv + \int_S p_i \delta u_i ds = \delta W - \int_V \alpha_T (T - T_0) \delta \theta dv, \quad (1)$$

где  $P_i$ ,  $p_i$  – компоненты объемных и поверхностных сил,  $\rho$  – плотность,  $\alpha_T$  – коэффициент теплового расширения,  $T - T_0$  – приращение температуры,  $W$  – функционал энергии тела,  $u_i$  – компоненты вектора перемещений,  $\theta$  – относительное изменение объема. Это уравнение следует дополнить уравнением теплопроводности

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} \int_V \rho c T_t T dv dt &= \int_{t_1}^{t_2} \int_V \lambda_{(ij)} g^{ij} T_i T_j dv dt + \\ &+ \int_{t_1}^{t_2} \int_V w_0 T dv dt + \int_{t_1}^{t_2} \int_S [q + h(T - T^c)] T ds dt \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность;  $c$  – теплоемкость;  $\lambda_{ij}$  – тензор теплопроводности;  $w_0$  – мощность внутренних источников тепла;  $q$  – интенсивность тепловых потоков;  $h$  – коэффициент теплопередачи;  $T^c$  – температура окружающей среды.

При расчете эластомерных элементов конструкций в большинстве работ принимается гипотеза о несжимаемости материала с применением функционалов энергии несжимаемого тела. Такой подход позволяет получить решение для фиксированного значения коэффициента Пуассона.

Для нелинейного слабосжимаемого материала можно использовать модифицированный закон Гука

$$\sigma^{ij} = \int_0^{\varepsilon_{mn}} \left( G^{ki} G^{lj} - \frac{1}{3} G^{ij} G^{kl} \right) d\varepsilon_{ij} - \int_0^{G^x} B(\sqrt{I_3} - 1) dG^{mn}, \quad (3)$$

где  $G^{ij}$  – компоненты метрического тензора,  $I_3$  – инвариант тензора деформаций. Упругое поведение эластомеров может быть описано с помощью специальных функционалов удельной потенциальной энергии деформации. Для слабосжимаемых материалов наиболее эффективными являются потенциалы Линдли та Пенга-Ландела. В качестве физических констант в них используются параметры Ляме.

Потенциал энергии деформации Пенга-Ландела в работе [11] преобразован к виду

$$W = \frac{\mu j_1}{\sqrt[3]{I_3}} + \frac{1}{2} B(\sqrt{I_3} - 1)^2. \quad (4)$$

Для функционала энергии деформации в законе Линдли используются кратности уклонений [12]

$$W = \frac{\mu}{2} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) + \frac{B}{2} [(\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 - c)^2 - (1 - c)^2], \quad (5)$$

где  $\lambda_i$  кратности удлинения.

Законы Пенга-Ландела и Линдли при условии несжимаемости материала ( $I_3 = 1$ ) практически сводятся к закону Гука.

В высокоэластичном состоянии проявляется вязкоупругое поведение эластомера, то есть носит чисто выраженный релаксационный характер. Большая вязкость, выраженный релаксационный характер напряжений, геометрическая и физическая нелинейность деформирования требует привлечения математического аппарата нелинейной трехмерной теории вязкоупругости. Используя принцип Вольтерра связь между компонентами напряжений и деформаций для нелинейного вязкоупругого слабосжимаемого материала можно принять в виде закона Гука, Пенга-Ландела или Линдли, заменяя упругие константы интегральными операторами Вольтерра.

Тогда для вязкоупругого материала имеем

- закон Гука

$$\begin{aligned} \sigma^{ij} = & 2\mu \left[ g^{mi} g^{nj} \varepsilon_{mn} - \frac{1}{3} j_1 g^{ij} - \right. \\ & - \int_{-\infty}^t R_\mu(t - \tau) \left( g^{mi} g^{nj} \varepsilon_{mn} - \frac{1}{3} j_1 g^{ij} \right) d\tau \Big] + \\ & + B \left[ (\sqrt{I_3} - 1) g^{ij} - \int_{-\infty}^t R_b(t - \tau) (\sqrt{I_3} - 1) g^{ij} d\tau \right]; \quad (6) \end{aligned}$$

- закон Пенга-Ландела

$$\begin{aligned} \sigma^{ij} = & \sqrt{I_3} \left[ \mu \left( \left( -I_3^{-\frac{1}{3}} + \frac{4}{9}(I_3 - 1)(I_1 - 2) + \frac{2}{9}(I_3 - 1) \right) G^{ij} + \right. \right. \\ & + \left. \left. I_3^{-\frac{4}{3}} g^{ij} \right) - \int_{-\infty}^t R_\mu(t - \tau) I_3^{-\frac{4}{3}} g^{ij} d\tau - \right. \\ & - \int_{-\infty}^t R_\mu(t - \tau) \left( -I_3^{-\frac{1}{3}} + \frac{4}{9}(I_3 - 1)(I_1 - 2) + \frac{2}{9}(I_3 - 1) \right) G^{ij} d\tau + \\ & \left. \left. + \frac{B}{2} \left( (I_3 - 1) G^{ij} - \int_{-\infty}^t R_b(t - \tau) (I_3 - 1) G^{ij} d\tau \right) \right) \right]; \quad (7) \end{aligned}$$

- закон Линдли

$$\begin{aligned} \sigma^{ij} = & \frac{1}{\sqrt{I_3}} \left[ \mu \left( g^{ij} - I_3 G^{ij} - \int_{-\infty}^t R_\mu(t - \tau) (g^{ij} - I_3 G^{ij}) d\tau \right) + \right. \\ & \left. + B \left( \frac{1}{2} c I_3 (I_3 - 1) G^{ij} - \int_{-\infty}^t R_b(t - \tau) \left( \frac{1}{2} c I_3 (I_3 - 1) G^{ij} \right) d\tau \right) \right]. \quad (8) \end{aligned}$$

Наиболее полного описания реального процесса деформирования эластомерного элемента конструкции можно добиться используя ядра Работнова и Ржаницына.

Поскольку законы Пенга-Ландела та Линдли в предельном случае имеют вид закона Гука, то нелинейные уравнения можно линеаризовать для случая слабой сжимаемости материала.

Ковариантные компоненты тензора конечных деформаций имеют вид

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( C_j^m \nabla_i u_m + C_i^m \nabla_j u_m + \nabla_i u_m \nabla_j u_n g^{mn} \right),$$

где  $\nabla_i u_m = u_{m,i} C_i^k \Gamma_{mk}^l u_l$ ;  $C_i^n = \frac{\partial z^n}{\partial x^i}$ ;  $z^n$  – координаты базисной системы координат;  $x^i$  – координаты местной системы координат.

Тензор деформаций можно представить в виде суммы линейной и нелинейной составляющих

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^L + \varepsilon_{ij}^N.$$

Первый инвариант тензора деформаций Коши-Грина так же можно представить в виде суммы линейной и нелинейной составляющих

$$j_1 = j_1^L + j_1^H.$$

После подстановки в соотношения для слабосжимаемого материала (например, для закона Пенга-Ландела) можно получить линеаризованные соотношения

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma}^{ij} &= \tilde{\mu} \left( g^{ij} - G^{ij} \right) + \tilde{B} j_1^H G^{ij} - \\ &- \frac{1}{3} \tilde{\mu} \left( H_1 g^{ij} - H_2 G^{ij} \right) + \tilde{B} \theta^H G^{ij}, \end{aligned} \quad (9)$$

или

$$\tilde{\sigma}^{ij} = 2\tilde{\mu}\varepsilon_{ij}^H + \tilde{B}j_1^H G^{ij} - \frac{1}{3}\tilde{\mu}(H_1 g^{ij} - H_2 G^{ij}) + \tilde{B}\theta^H G^{ij}$$

где  $H_1, H_2, \theta^H$  - соотношения, обусловленные нелинейными составляющими инвариантов.

Кроме того, в выражении (9) можно выделить упругую и вязкую составляющие тензора напряжений

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma}^{ij} &= 2\mu\varepsilon_{ij}^H + B j_1^H G^{ij} - \frac{1}{3}\mu(H_1 g^{ij} - H_2 G^{ij}) + B\theta^H G^{ij} - \\ &- 2\mu \int_{-\infty}^t R_\mu(t-\tau)\varepsilon_{ij}^H(\tau)d\tau - B \int_{-\infty}^t R_b(t-\tau)j_1^H(\tau)G^{ij}d\tau - \\ &- \frac{1}{3}\mu \int_{-\infty}^t R_\mu(t-\tau)(H_1 g^{ij} - H_2 G^{ij})d\tau - B \int_{-\infty}^t R_b(t-\tau)\theta^H G^{ij}d\tau \end{aligned}$$

Модель вязкоупругой среды определяется включенными в нее упругими и вязкими компонентами. Усложненная структуру модели, можно получить хорошую временную связь между напряжениями и деформациями. При этом в пределе можно рассматривать модели с бесконечным множеством упругих и вязких элементов, что повышает порядок дифференциальных операторов и усложняет их применение при решении практических задач. Связь между напряжениями и деформациями можно установить и с помощью интегральных уравнений состояния. Пропорциональность между приращением деформаций и напряжений в интегральных уравнениях устанавливается с помощью функции, которая называется ядром уравнения. Наибольшее распространение при расчете эластомеров получило ядро релаксации Ю.Н. Работнова

$$R(z) = z^\alpha \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta)^n z^{n(1+\alpha)}}{\Gamma[(n+1)(1+\alpha)]}.$$

Рассматриваем трехэлементную модель вязкоупругой среды.

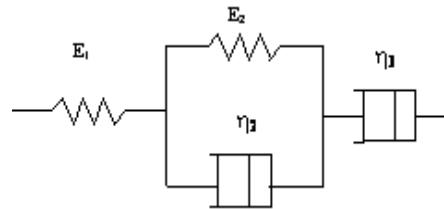


Рис. 1. Трехэлементная модель

Рассматривая поведение стареющего материала на основе приведенной схемы, для ее третьего элемента имеем  $\sigma(t) = \eta_3(t)\varepsilon^P(t)$ , откуда

$$\varepsilon^P(t) = \frac{\sigma(t)}{\eta_3(t)}.$$

Функцию  $\eta_3(t)$  представим в виде  $\eta_3(t) = \eta_3(0)\varphi = \eta_3(0)\varphi$ , где  $\varphi$  – функция старения, соответствует кривой изменения во времени  $E=E(t)$  – модуля упругости. Для расчета долговечности необходимо иметь аналитическое представление данной функции. Общей аппроксимацией экспериментальных данных для эластомеров является экспоненциальная зависимость []:

$$\varphi(t) = \frac{E(t)}{E(0)} = \exp \left[ \left( k_1 - k_2 \int_0^t W(t)dt \right) t \right],$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициенты аппроксимации,  $W(t)$  – функция, пропорциональная накопленной за время  $t$  энергии деформации.

Критериальное уравнение состояния при циклическом нагружении имеет вид:

$$\Delta U_p^* = \int_0^{t^*} (\sigma^{ij}\dot{\varepsilon}_{ij} + \dot{\chi} - \dot{q})dt, \quad (10)$$

где  $\Delta U_p^*$  предельное (критическое) значение плотности энергии, идущей на разрушение резины;  $\dot{q}$  - тепловой поток;  $\dot{\chi}$  - энергия внешней агрессивной среды;  $t^*$  - время до локального разрушения.

Для определения долговечности эластомеров используется следующий алгоритм расчета:

1. Расчет напряженно-деформированного и температурного состояний эластомерной конструкции.

2. Определение опасной точки.

3. Решение критериального уравнения (10) в опасной точке.

Конструкции из эластомеров, работающие в динамическом режиме нагрузления, подвержены

интенсивному дисипативному разогреву. Источниками теплообразования в этом случае являются напряжения  $\sigma^{ij}(t)$  и скорости деформаций  $\dot{\varepsilon}_{ij}(t)$  в вязкоупругом теле.

Для решения задачи о динамическом равновесии эластомерного элемента конструкции следует вначале решить задачу о свободных колебаниях.

Для большинства задач о свободных колебаниях упруго-наследственного тела используется уравнение в виде

$$\ddot{u}(t) + \omega^2 u(t) = 0,$$

где  $\omega^2 \varphi(t) = \omega_0^2 \left[ \varphi(t) - \int_0^t R(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau \right].$

Рекуррентная формула для решения характеристического уравнения имеет вид

$$\omega_n^2 = \omega_0^2 \left[ 1 - R \left( \frac{1}{i\omega_n - 1} \right) \right].$$

После проведения преобразований Фурье получим

$$\omega_n^2 = \omega_0^2 [1 - A(\omega_{n-1}) + iB(\omega_{n-1})],$$

где

$$A(\omega) = \int_0^\infty K(z) \cos \omega z dz = \operatorname{Re} K \left( \frac{1}{i\omega} \right),$$

$$B(\omega) = \int_0^\infty K(z) \sin \omega z dz = -\operatorname{Im} K \left( \frac{1}{i\omega} \right).$$

$$1 - A(\omega_0) = \frac{E(\omega_0)}{E_0}, \quad B(\omega_0) = \frac{\psi(\omega_0)}{2\pi},$$

где  $E_0$  – мгновенный модуль упругости;  $E(\omega_0)$  – динамический модуль при  $\omega = \omega_0$ ;  $\psi(\omega_0)$  – технический коэффициент поглощения при  $\omega = \omega_0$ .

Для изучения термонапряженного состояния такого рода конструкций предполагается совместное решение задач термоупругости и теплопроводности. Наиболее эффективным методом решения таких задач является метод конечных элементов. Построение разрешающих уравнений метода конечных элементов для трехмерной задачи строится на основе использования интерполяционных функций формы для описания полей перемещений, скоростей и ускорений

$$(u : \dot{u} : \ddot{u})_k = \sum_{s=1}^8 N_{(s)} (u : \dot{u} : \ddot{u})_k^{(s)},$$

где  $N_{(s)}$  – степенные функции формы для  $s$ -го узла конечного элемента;  $(u : \dot{u} : \ddot{u})_k^{(s)}$  – векторы перемещений, скоростей и ускорений  $s$ -го узла конечного элемента по  $k$  направлению в базисной системе координат.

Для обеспечения высокой точности и эффективности процесса решения широкого класса задач иногда целесообразно повысить степень аппроксимирующих функций.

Тогда уравнение движения (1) можно записать в виде системы дифференциальных уравнений

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Gu = f(t), \quad (11)$$

где  $M$  – матрица масс;  $C$  – матрица демпфирования;  $G$  – матрица жесткости;  $f(t)$  – вектор узловых сил.

Для определения компонент матрицы жесткости вариацию потенциальной энергии деформации можно записать в виде

$$\delta\Pi = \int_V \sigma^{ij} \varepsilon_{ij} dv.$$

Используя тройную аппроксимацию полей перемещений, деформаций и функции изменения объема [3] получаем матрицу жесткости конечного элемента, моделирующего процесс деформирования слабосжимаемого эластомера

$$\begin{aligned} \delta\Pi = & \delta\{u_s\}^T \{N\} [D_{ij}^s]^T [C^{ijkl}] [D_{kl}^t] \{N\}^T \{u_t\} + \\ & + \delta\{u_s\}^T \{N\} [D_0^s]^T [C^\theta] [D_0^t] \{N\}^T \{u_t\} = \delta\{u_s\}^T [G] \{u_t\}, \end{aligned}$$

где  $[C^{ijkl}]$ ,  $[C^\theta]$  – матрицы упругих констант;  $[D]$  – матрица дифференцирования;  $\{u_t\}$  – вектор узловых перемещений.

Матрицу масс вычисляем по формуле

$$M = \int_V \{N\} \rho \{N\}^T dv.$$

Определение матрицы демпфирования с помощью матриц, описывающих свойства конечных элементов не представляется возможным. Поэтому чаще всего ее приближенно вычисляют в виде линейной комбинации матриц жесткости и масс.

Если известны  $n$  коэффициентов демпфирования соответствующих форм собственных колебаний, матрицу демпфирования можно приближенно вычислить по формуле

$$C = M \sum_{i=0}^{n-1} a_i (M^{-1} G)^i,$$

где коэффициенты  $a_i$  определяются из решения уравнений

$$h_i = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (a_{k-1} \omega_i^{2k-3}).$$

Для  $n = 2$  выражение приводится к формуле релеевского демпфирования.

Для прямого интегрирования уравнений динамического деформирования чаще всего используется метод Ньюмарка, согласно которому векторы перемещений, скоростей и ускорений на концах временного отрезка  $[t; t + \Delta t]$  связаны соотношениями

$$\begin{aligned}\ddot{u}_{t+\Delta t} &= \dot{u}_t + [(1-\delta)\ddot{u}_t + \delta\ddot{u}_{t+\Delta t}] \Delta t, \\ u_{t+\Delta t} &= u_t + \dot{u}_t \Delta t + \left[ \left( \frac{1}{2} - \alpha \right) \ddot{u}_t + \alpha \ddot{u}_{t+\Delta t} \right] \Delta t^2,\end{aligned}$$

где  $\delta \geq 0,5$ ,  $\alpha \geq 0,25(0,5 + \delta)^2$  – условия, при которых рассматриваемая схема интегрирования устойчива.

Выражая из скорости и ускорение в конечный момент времени  $t + \Delta t$  получаем рекуррентное соотношение относительно перемещений в этот момент времени

$$\begin{aligned}Mb_1 u_{t+\Delta t} + Cb_1 b_5 u_{t+\Delta t} + Gu_{t+\Delta t} &= f(t + \Delta t) + \\ + M(b_1 u_t + b_2 \dot{u}_t + b_3 \ddot{u}_t) + \\ + C(b_1 b_5 u_t + (b_2 b_5 - 1) \dot{u}_t + (b_3 b_5 - b_4) \ddot{u}_t)\end{aligned}$$

где  $b_1 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}$ ,  $b_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t}$ ,  $b_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1$ ,  $b_4 = \Delta t(1 - \delta)$ ,  $b_5 = \delta \Delta t$ .

Определив перемещения на конце временного интервала можно определить скорости и ускорения в этот же момент времени

$$\begin{aligned}\ddot{u}_{t+\Delta t} &= b_1(u_{t+\Delta t} - u_t) - b_2 \dot{u}_t - b_3 \ddot{u}_t, \\ \dot{u}_{t+\Delta t} &= \dot{u}_t + b_4 \ddot{u}_t + b_5 \ddot{u}_{t+\Delta t}.\end{aligned}$$

Температурное поле саморазогрева эластомерной конструкции с использованием метода конечных элементов определяется по следующему алгоритму:

1. Решается задача термоупругости при заданной амплитуде колебаний

$$[K^{ij}] \{u_j\} = \{P^i\} + \{Q^i\},$$

где  $[K^{ij}]$  – глобальная матрица жесткости конструкции;  $\{u_j\}$  – обобщенный вектор перемещений;  $\{P^i\}$  – вектор нагрузки от

вынужденных смещений на поверхности тела;  $\{Q^i\}$  – вектор температурной нагрузки.

2. Вычисляем мощность внутренних источников теплообразования как осредненную за цикл колебания по формуле

$$w_0 = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \sigma^{ij}(t) \dot{\varepsilon}_{ij}(t) dt,$$

где  $\omega$  – частота колебания.

3. Температуру саморазогрева определяем для момента наступления теплового равновесия между конструкцией и окружающей средой путем решения задачи стационарной теплопроводности:

$$[H]\{T\} = -\{R\},$$

где  $[H]$  – глобальная матрица теплопроводности конструкции;  $\{T\}$  – обобщенный вектор узловых температур;  $\{R\}$  – эквивалентный вектор тепловой нагрузки.

4. Для учета связности полей напряжений и температур процесс решения повторяется, начиная с пункта 1. Удовлетворительное решение получается уже с первым приближением.

В результате реализации приведенного алгоритма получаем поле узловых температур, поле интенсивности внутренних источников и термоупругих напряжений в центрах конечных элементов, которые являются исходными данными для определения долговечности эластомеров.

Наибольшее влияние на долговечность эластомеров оказывают механические напряжения и температура. Если имеется  $n$  точек с различными значениями удельной потенциальной энергии деформации  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$  и различными температурами  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ , расчет долговечности производится для всех  $n$  точек. В большинстве случаев нет необходимости рассчитывать долговечность для каждой точки конструкции. Расчет ведется относительно опасной точки, т.е. той, в которой разрушение начинается в первую очередь.

Практически опасная точка определяется следующим образом: выбираются две точки  $O_1(U_1, T_1)$  и  $O_2(U_2, T_2)$ , причем в одной из точек  $U_1 = \max$ , а в другой  $T_2 = \max$  и расчет производится для этих точек.

Рассмотрим задачу о деформировании резинометаллического амортизатора опорного узла тепловоза

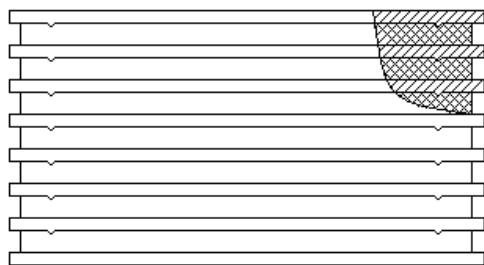


Рис.2. Резинометаллический амортизатор

Радиус армирующего металлического слоя и резинового элемента 0,14м, толщина резинового элемента 0,035м, металлического слоя – 0,004м, количество элементов – 7.

Для снижения осадки используются металлические пластины с буртом размером 0,01м, ус по бурту 0,1м. На рис.3. приведены эпюры напряжений.

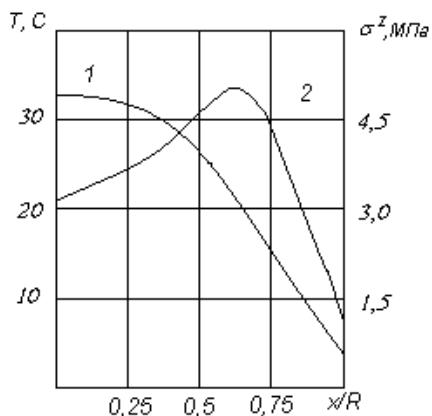


Рис.3. Распределение температур и нормальных напряжений в резиновом элементе: 1 – температура; 2 – нормальные напряжения в срединном сечении резинового слоя

Решение критериального уравнения долговечности (10) дает оценочное значение срока службы резинометаллического амортизатора при вибрационной нагрузке порядка 4,5 года.

**Выводы.** Для анализа процессов динамического деформирования конструкций из эластомеров разработан метод расчета конструкций с учетом физической и геометрической нелинейности.

Определение долговечности элементов конструкций выполняется на основе решения связанной задачи термоупругости слабосжимаемого вязкоупругого тела.

#### Л и т е р а т у р а

1. Определение реологических параметров эластомерных материалов / [В. И. Дырда, Ю. Г. Козуб, А. С. Кобец и др.]/ Геотехническая механика. – 2007. – Вып. 70. – С. 56-88.
2. Влияние физической нелинейности на резонансные колебания и диссипативный разогрев жестко опертой толстостенной вязкоупругой цилиндрической панели / Карнаухов В. Г., Козлов В. И., Сичко В. М., Завгородний А. В. // Акустичний вісник. – 2010. – т. 13. – №2. – С. 28-33.
3. Вынужденные резонансные колебания и диссипативный разогрев трехслойной толстостенной шарнирно опертой вязкоупругой цилиндрической панели с независящими от температуры свойствами / Козлов В. И., Карнаухов В. Г., Сичко В. М., Завгородний А. В. // Акустичний вісник. – 2010. – т. 13. – №1. – С. 22-29.
4. Сичко В. М. Вынужденные резонансные изгибные колебания и диссипативный разогрев вязкоупругой прямоугольной толстой пластины / В. М. Сичко, А. В. Завгородний, М. И. Вертелецкий // Доп.НАНУ. – 2010. – №9. – С. 44-49.
5. Аврамов К. В. Нелинейные колебания круглых пластин с вырезами . Метод R-функций / К. В. Аврамов // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2009. – 52, №2 – С. 118-127.
6. Шопа Т. В. Дослідження частот власних коливань трансверсално-ізотропної циліндричної плені з круговим отвором / Т. В. Шопа // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2009. – 52, №2 – С. 128-137.
7. Сметаніна Н. В. Нестаціонарні коливання багатошарових ортотропних оболонок неканонічної форми / Н. В. Сметаніна // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – №3(55). – С. 38-41.
8. Івасишен С. Д. Задача Коші для рівняння Фоккера-Планка-Колмогорова багатовимірного марковського процесу / С. Д. Івасишен, Г. С. Пасічник // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2010. – 53, №1 – С. 15-22.
9. Бреславский И. Д. Вынужденные колебания пологой цилиндрической оболочки с шарнирно опертыми и свободными краями / И. Д. Бреславский, К. В. Аврамов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – №36. С. 20-29.
10. Приближенная реологическая модель материала тонкослойного эластомерного подшипника/ [Лейканд М. А., Лавендел Э. Э., Львов С. В. и др.]/ Вопр. динамики и прочности. – 1980.– Вып. 36. – С. 157-168.
11. Адамов А. А. К выбору функционала для описания поведения вязкоупругого материала при конечных деформациях / А. А. Адамов // Научн. Тр. Кубан. гос. ун-та. – 1980. – т. 3: Механика эластомеров. – С. 56-59.
12. Бартенев Г. М. Физика и механика полимеров / Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленев. – М.: Высш. шк., 1983. – 391с.

#### R e f e r e n c e s

1. Определение реологических параметров эластомерных материалов / [В. И. Дырда, Ю. Г. Козуб, А. С. Кобец и др.]/ Геотехническая механика. – 2007. – Вып. 70. – С. 56-88.
2. Влияние физической нелинейности на резонансные колебания и диссипативный разогрев жестко опертой толстостенной вязкоупругой цилиндрической панели / Карнаухов В. Г., Козлов В. И., Сичко В. М., Завгородний А. В. // Акустичний вісник. – 2010. – т. 13. – №2. – С. 28-33.
3. Влияние физической нелинейности на резонансные колебания и диссипативный разогрев трехслойной толстостенной шарнирно опертой вязкоупругой цилиндрической панели с независящими от температуры свойствами / Козлов В. И., Карнаухов В. Г., Сичко В. М., Завгородний А. В. // Акустичний вісник. – 2010. – т. 13. – №1. – С. 22-29.

2010. – т. 13. – №1. – С. 22-29.
4. Sichko V. M. Vynuzhdennye rezonansnye izgibnye kolebanija i dissipativnyj razogrev vjazkouprugoj prijamougol'noj tolstoj plastiny / V. M. Sichko, A. V. Zavgorodnjij, M. I. Verteleckij // Dop.NANU. – 2010. – №9. – С. 44-49.
  5. Avramov K. V. Nelinejnye kolebanija kruglih plastin s vyrezami . Metod R-funkcij / K. V. Avramov // Mat. metodi ta fiz.-meh. polja. – 2009. – 52, №2 – С. 118-127.
  6. Shopa T. V. Doslidzhennja chastot vlasnih kolivan' transversal'no-izotropnoi cilindrichnoi peneli z krugovim otvorom / T. V. Shopa // Mat. metodi ta fiz.-meh. polja. – 2009. – 52, №2 – С. 128-137.
  7. Smetankina N. V. Nestacionarni kolivannja bagatosharovih ortotropnih obolonok nekanonichnoi formi / N. V. Smetankina // Vibracii v tehnici ta tehnologijah. – 2009. – №3(55). – С. 38-41.
  8. Ivasishen S. D. Zadacha Koshi dlja rivnjannja Fokkera-Planka-Kolmogorova bagatovimirnogo markov'skogo procesu / S. D. Ivasishen, G. S. Pasichnik // Mat. metodi ta fiz.-meh. polja. – 2010. – 53, №1 – С. 15-22.
  9. Breslavskij I. D. Vynuzhdennye kolebanija pologoj cilindricheskoy obolochki s sharnirno opertymi i svobodnymi krajami / I. D. Breslavskij, K. V. Avramov // Vestnik NTU «HPI». – 2008. – №36. С. 20-29.
  10. Priblizhennaja reologicheskaja model' materiala tonkoslojnogo jelastomernogo podshipnika/ [Lejkand M. A., Lavendel Je. Je., L'vov S. V. i dr.]// Vopr. dinamiki prochnosti. – 1980.– Vyp. 36. – С. 157-168.
  11. Adamov A. A. K vyboru funkcionala dlja opisanija povedenija vjazkouprugogo materiala pri konechnyh deformacijah / A. A. Adamov // Nauchn. Tr. Kuban. gos. un-ta. – 1980. – т. 3: Mehanika jelastomerov. – С. 56-59.
  12. Bartenev G. M. Fizika i mehanika polimerov / G. M. Bartenev, Ju. V. Zelenev. – M.: Vyssh. shk., 1983. – 391s.

**Козуб Ю. Г., Козуб Г. О. Розрахунок багатошарових гумометалевих амортизаторів у нелінійній постановці**

Для розв'язання задачі динамічного деформування еластомірних елементів розроблено математичну модель та метод розрахунку конструкції з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності слабостисливих в'язкопружиних тіл. Запропонований метод використовується для рішення зв'язаної задачі термопружності і визначення довговічності на основі енергетичного критерію.

**Ключові слова.** Слабка стисливість, еластомір, довговічність, метод скінченних елементів.

**Kozub Y. G., Kozub G. A. Calculation of multilayer rubber-metall shock-absorbers in non-linear position**

The elastomeric elements of constructions are shown by such properties as viscoelasticity, weak compressibility. Especially these properties show up for think layer constructions. For the decision of task of dynamic deformation of elastomeric elements a mathematical model is developed and the method of calculation of constructions is developed taking into account physical and geometrical non-linearity of weak compressible viscoelastic bodies on the basis of finite element method. The offered method is used for the decision of the linked problem of thermoelasticity and calculation of longevity on the basis of power criterion.

**Key words.** Weak compressibility, elastomer, longevity, finite element method.

**Козуб Юрій Гордійович**, к. т. н., доцент, доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти Луганського національного університету імені Тараса Шевченка.

**Козуб Галина Олександровна**, к. т. н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем Луганського національного університету імені Тараса Шевченка.

Рецензент: **Рач В.А.**, д.т.н., професор.

Статья подана 16.06.14

УДК 004.434

## АЛГОРИТМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЧИСЕЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОШАРОВОГО СКАНУВАННЯ

Козуб В. Ю., Могильний Г. А., Шкандибін Ю. О.

### ALGORITHMS OF VISUALIZATION OF NUMERAL RESULTS WITH THE USE OF LAYER SCAN-OUT

Kozub V. Y., Mogilnyiy G. A., Shkandybin Y. O.

У статті проведено дослідження алгоритмів та поетапного процесу візуалізації чисельних результатів розрахунку у обчислювальному комплексі "МІРЕЛА+" за допомогою побудови півтонових зображень з використанням висвітлення тривимірних об'єктів. Для візуалізації об'ємних характеристик розподілу функції  $U$  можна використовувати методику перерізів, що дозволяє побачити розподіл  $U$  всередині області по довільно заданому перетину.

**Ключові слова:** МСЕ, САПР, МІРЕЛА+, візуалізація, алгоритм, об'єкт.

**Вступ.** Використання сучасної обчислювальної техніки для вирішення задач математичного моделювання робить необхідним розробку і комплексного підходу до їх рішення. Програмні засоби повинні забезпечувати підтримку різних видів обчислювальної роботи таких, як побудову геометричної моделі області рішення задачі, генерацію розрахункової сітки, складання системи сіткових рівнянь для прийнятої математичної моделі, виконання розрахунку і обробку отриманих даних.

Математичні моделі механічних процесів зазвичай описуються диференціальними або інтегральними рівняннями. Для вирішення прикладних задач у відповідних постановках використовуються, в основному, чисельні методи, з яких найбільшого поширення набув метод скінченних елементів (МСЕ). Метод скінченних елементів є потужним і надійним засобом дослідження поведінки конструкцій в умовах різноманітних дій. Засоби методу скінченних елементів дозволяють проводити розрахунки статичного і динамічного напруженодеформованого стану конструкцій (у тому числі геометрично і фізично нелінійних задач механіки твердого де формівного тіла), форм і частот коливань, аналізу стійкості конструкцій, нелінійних перехідних процесів та ін. У рішенні загальної обчислювальної задачі з використанням МСЕ можна

виділити три етапи: попередню обробку, розрахунок і постобробку.

Перший етап полягає в завданні геометрії розрахункової області і визначені початкових і граничних умов. Далі виробляється побудова розрахункової сітки для заданої геометрії. Наступний етап - власне розрахунок, результатом якого є деякі розподіли фізичних величин по елементах сітки. Завершальний етап припускає постобробку результатів розрахунку, знаходження фізичних і допоміжних геометричних характеристик, а також їх візуалізацію.

Питання геометричного моделювання і обчислювальної топології у багатьох випадках є визначаючими для систем автоматизованого проектування (САПР) та всіляких графічних інтерфейсів користувача (ГІК), а їх методологія і аспекти програмних реалізацій стали предметами самостійного вивчення [1, 2]. На сучасному етапі подібні розробки є однією з фундаментальних задач в області автоматизованого проектування. Одним з перспективних напрямків є саме візуалізація виводу даних з САПР.

Мета дослідження полягає у створенні алгоритму та програмного додатку для візуалізації даних розрахунків з обчислювального комплексу "МІРЕЛА+" на основі методу скінченних елементів.

**Викладення основних матеріалів.** Альтернативним підходом до візуалізації результатів розрахунку є зміна геометрії області відповідно до розподілу ефектів освітлення просторових об'єктів. Це дає можливість побачити особливості форми поверхні об'єкту, що дозволяє отримати додаткову інформацію про розподіл величини, що аналізується.

Для зображення освітленої сцени в комп'ютерній графіці найчастіше застосовується моделі дифузного і дзеркального відображення об'єктом світла від заданого одного або декількох точкових джерел освітлення [1, 3].

Дифузне відображення світла точечного джерела від ідеального розсіювача визначається законом Ламберта, згідно з яким світло, що падає, розсіюється на всі боки з рівною інтенсивністю. В цьому випадку освітленість точки пропорційна її площі, видимій від джерела та описується наступним співвідношенням:

$$I_r = I_p \cdot P_d \cdot \cos\varphi, \quad (1)$$

де  $I_r$  – інтенсивність відбитого світла,  $I_p$  – інтенсивність точечного джерела,  $P_d \in [0, 1]$  – коефіцієнт дифузного відображення, залежний від властивостей матеріалу відбиваючого об'єкту і кольору джерела освітлення,  $\varphi \in [0, \pi/2]$  – кут, утворений напрямом світла і нормальню поверхні.

Для підвищення реалістичності сприйняття малюнка в комп'ютерній графіці також враховується і наявність розсіяного світла, яке описується за допомогою коефіцієнта розсіяння:

$$I = I_r \cdot P_r + I_p \cdot P_d \cdot \cos\varphi, \quad (2)$$

де  $I_r$  – інтенсивність розсіяного світла,  $P_r \in [0, 1]$  – коефіцієнт дифузного відображення розсіяного світла.

Моделювання загасання світла з відстанню від джерела описується наступним вираженням:

$$I = \frac{I_r \cdot P_r + I_p \cdot P_d \cdot \cos\varphi}{d + K}, \quad (3)$$

де  $d$  – відстань від центру проекції до об'єкту,  $K$  – довільна константа, яка задає міру загасання світла.

При використанні паралельного проектування облік відстані забезпечується тим, що найближчий до спостерігача об'єкт освітлюється з максимальною інтенсивністю, а усі розташовані далі – з меншою. При цьому як відстань  $d$  використовується відстань до найближчого до точки спостереження об'єкту.

Відбите від ідеального дзеркала світло видно тільки у тому випадку, якщо кут, утворений напрямами спостереження і відображення, дорівнює нулю. Для неідеальних відзеркалювальних поверхонь використовується модель Фонга [4]:

$$I_s = I_p \cdot W(\lambda, \varphi) \cdot \cos^n \alpha, \quad (4)$$

де  $W(\lambda, \varphi)$  – крива відображення, залежна від довжини хвилі  $\lambda$  світла джерела і кута падіння  $\varphi$ ,  $\alpha \in [-\pi/2, \pi/2]$  – кут між напрямами спостереження і відображення,  $n \in [1, 200]$  – показник міри, що задає убування інтенсивності при зміні кута.

Для простоти на практиці зазвичай  $W(\lambda, \varphi)$  замінюють деякою константою  $K_s$ , підібраною так,

щоб побудована картина суб'єктивно сприймалася реалістично.

Таким чином, використовувана в комп'ютерній графіці сумарна модель освітлення має вигляд:

$$I = I_r \cdot P_r + \frac{I_p}{d+K} \cdot (P_d \cdot \cos\varphi + W(\lambda, \varphi) \cdot \cos^n \alpha) \quad (5)$$

або

$$I = I_r \cdot P_r + \frac{I_p}{d+K} \cdot (P_d \cdot \cos\varphi + K_s \cdot \cos^n \alpha) \quad (6)$$

При використанні нормованих векторів напряму падіння  $L$ , нормалі  $N$ , відображення  $R$  і спостереження  $V$ , модель освітлення для одного джерела описується таким чином:

$$I = I_r \cdot P_r + \frac{I_p}{d+K} \cdot (P_d \cdot L \cdot N + K_s \cdot (R \cdot V)^n) \quad (7)$$

При візуалізації пласкої полігональної фігури (наприклад, грані скінченного елементу), якщо джерело світла знаходиться на нескінченності, то  $L \cdot N$  дорівнює константі, а  $R \cdot V$  змінюється в межах цієї фігури. Таким чином візуалізація освітленого скінченно-елементного об'єкту вимагає поточечної побудови образу, що призводить до необхідності використання оригінального алгоритму Z-буфера.

Для завдання форми поверхні в таких бібліотеках треба визначати вектор нормалі. В цьому випадку в якості компонент цих векторів можна використати відповідні компоненти вектору переміщень, деформацій або напруги. Якщо до координат вузлів додати відповідним чином нормовані значення досліджуваної функції і зображувати отриману гофровану поверхню об'єкту освітленою бічним джерелом світла, то отримана картина також дозволить судити про розподіл досліджуваної числової величини по області.

На рис. 1 наведено зображення розподілу компоненту напруги  $\sigma_{yy}$  по масляному фільтру, отримано з використанням півтонового і поверхневого алгоритмів. [5]

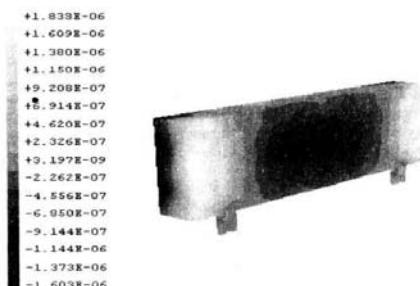


Рис. 1. Півтоновий розподіл  $\sigma_{yy}$

**Результати дослідження.** Для завдання освітлення поверхні скінченно-елементного об'єкту необхідно побудувати нормальні до усіх граней, що утворюють зовнішню межу геометричної області. Алгоритм їх побудови на прикладі трикутної грани (рис. 2) можна описати таким чином.

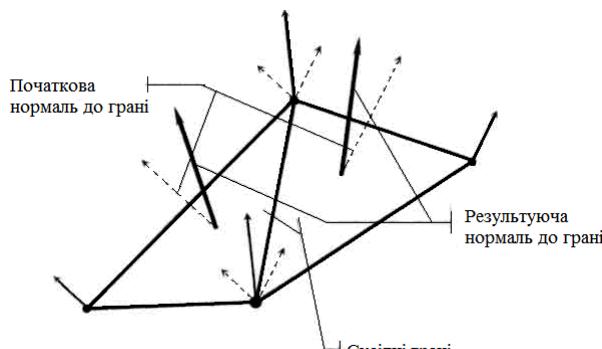


Рис. 2. Побудова нормалей до граней скінченно-елементного об'єкту

Для виконання даної операція спочатку необхідно додати до вузлових координат скінченно-елементної моделі області нормовані значення досліджуваної функції  $U$ , що відповідають їм. Значення  $U$  нормуються так:

$$U_n = \frac{L_{mid} \cdot U}{K \cdot U_{\max}}, \quad (8)$$

де  $L_{mid}$  – середня довжина ребра по усіх скінченних елементах дискретної моделі області,  $K$  – відмінний від нуля коефіцієнт масштабування, що дозволяє міняти міру шорсткості поверхні об'єкту, що візуалізується.

З точки зору зручності зберігання інформації про нормальні до граней, що утворюють поверхню області, зручно зберігати координати векторів нормальні окремо для кожного вузла, і потім, безпосередньо при візуалізації грани, обчислювати загальний вектор умовної нормалі для грани.

Знаючи координати  $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$  і  $(x_3, y_3, z_3)$  вершин трикутної грани, координати вектору нормалі до неї можна вичислити наступним чином:

- а) побудувати рівняння площини  
 $A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z = 0$ , що містить грани,
- б) вичислити координати вектору нормалі  $(A, B, C)$ .

Алгоритм побудови нормальні до усіх вузлів, що утворюють поверхню об'єкту, приведено на рис. 3. [6]

На практиці часто потрібно досліджувати поведінку візуалізуючої функції не тільки на поверхні об'єкта, але і всередині його.

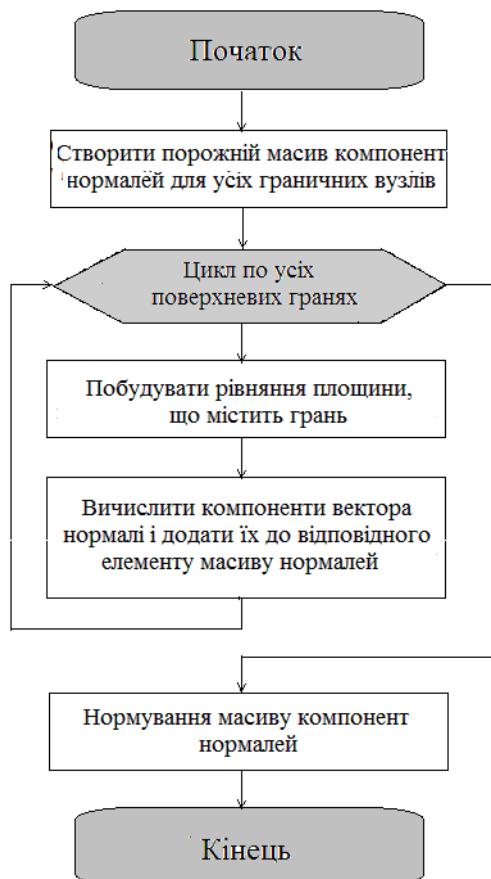


Рис. 3. Алгоритм побудови нормалей до поверхневих вузлів області

Для візуалізації об'ємних характеристик розподілу функції  $U$  можна використовувати методику перерізів, що дозволяє побачити розподіл  $U$  всередині області по довільно заданому перетину. Перетин визначається як лінія рівня  $f(x, y, z) = 0$ , для якої обчислюється дискретне представлення по скінченно-елементному розбиттю тіла. При візуалізації з використанням пошарового сканування можливі п'ять варіантів:

- зображення тільки перетину;
- зображення позитивної (відносно до перетину) частини об'єкта без розтину;
- зображення позитивної частини об'єкта і перетину;
- зображення негативної частини об'єкта без розтину;
- зображення негативної частини об'єкта і перетину.

Ідея алгоритму побудови та візуалізації перетину полягає в послідовному переборі всіх скінченних елементів дискретної моделі об'єкта і виборі тільки тих з них, через які проходить січна площа. Потім визначаються координати точок перетину площини з ребрами елемента і, знаючи вузлові значення величини  $U$  та функції форми елемента, обчислюються значення  $U$  в кутах отриманого січення полігону.

На рис. 4 наведено приклад побудови перерізу для елемента у формі тетраедра.

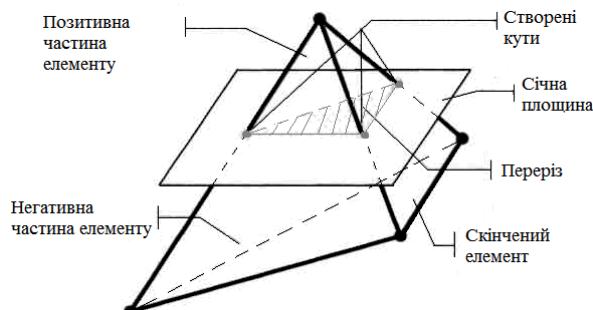


Рис. 4. Схема побудови перерізу по скінченому елементу

Для візуалізації отриманого перетину, знаючи його вузлові значення, можна використовувати алгоритм побудови напівтонового зображення або тривимірної поверхні (Рис.5).

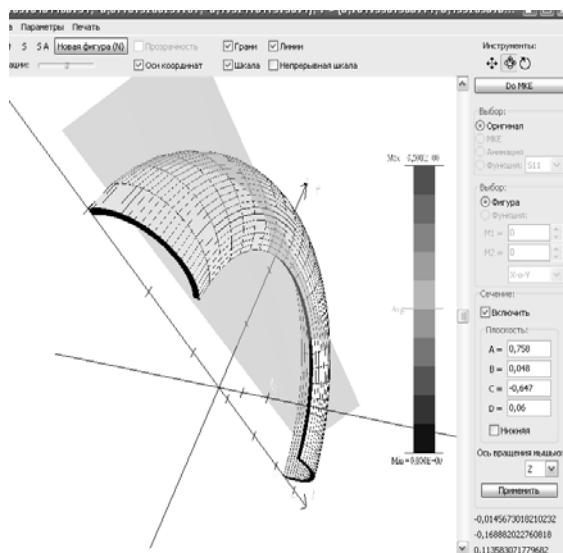


Рис. 5. Результат перерізу тора січною площину

**Висновки.** Досліджено алгоритми та поетапний процес візуалізації чисельних результатів розрахунку за допомогою побудови півтонових зображень з використанням висвітлення тривимірних об'єктів.

Доведено, що процес візуалізації об'єктів поділяється на етапи:

- визначення розмірів області виводу;
- визначення первинно об'єму видимості, який включає усі об'єкти;
- визначення оптимального положення точки спостереження при обраному користувачем в інтерактивному режимі типі проектування;
- зсув, масштабування і поворот сцени при необхідності;
- послідовне занесення в Z-буфер всіх об'єктів, які необхідно візуалізувати;
- висновок вмісту Z-буфера в обраний вихідний потік (екран, файл, принтер).

Процедура візуалізації об'єкту залежить від типу використаних скінченних елементів і прийнятого алгоритму візуалізації даних.

## Література

1. Препарата Ф. Вычислительная геометрия. Введение / Ф. Препарата, М. Шеймос., Мир, 1989. – 478 с.
2. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. – М.: Мир. – 1989. – 512 с.
3. Роджерс Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс // Пер.со второго англ. изд. Монахова П.А., Олохтоновой Г.В. под ред. Баяковского Ю.М.и др. – М.: Мир. – 2001. – 604с.
4. Bui-Tuong Phong. Illumination for Computer-Generated Pictures. Communication of the ASM, 18(6), June 1975, pp. 311-317.
5. Толок А.В. Моделирование образной оценки градиента на рельефе поверхности / А.В. Толок, С.И. Гоменюк // Искусственный интеллект. Донецк: ИПШИ. – 2004. – № 1. – С. 113-119.
6. Киричевский В. В. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / В. В. Киричевский, Б. М. Дохняк, Ю. Г. Козуб и др.; под общ. ред. В. В. Киричевского. – К.: Наук. думка, 2005. – 403 с.

## References

1. Preparata F. Vychislitel'naja geometrija. Vvedenie / F. Preparata, M. Shejmos., Mir, 1989. – 478 s.
2. Rodzher D. Algoritmicheskie osnovy mashinnoj grafiki. – M.: Mir. – 1989. – 512 s.
3. Rodzher D. Matematicheskie osnovy mashinnoj grafiki / D. Rodzher, Dzh. Adams // Per.so vtorogo angl. izd. P.A. Monahova, G.V. Olohtonovoj pod red. Ju.M. Bajakovskogo i dr. – M.: Mir. – 2001. – 604s.
4. Bui-Tuong Phong. Illumination for Computer-Generated Pictures. Communication of the ASM, 18(6), June 1975, pp. 311-317.
5. Tolok A.V. Modelirovaniye obraznoj ocenki gradienta na rel'efe poverhnosti / A.V. Tolok, S.I. Gomenjuk // Iskusstvennyj intellekt. Doneck: IPSHl. – 2004. – № 1. – S. 113-119.
6. Kirichevskij V. V. Metod konechnyh jelementov v vychislitel'nom komplekse «MIRELA+» / V. V. Kirichevskij, B. M. Dohnjak, Ju. G. Kozub i dr.; pod obshh. red. V. V. Kirichevskogo. – K.: Nauk. dumka, 2005. – 403 s.

**Козуб В. Ю., Могильный Г.А., Шкандыбин Ю. А.**  
Алгоритмы визуализации численных результатов с использованием послойного сканирования

В статье проведено исследование алгоритмов и поэтапного процесса визуализации численных результатов расчета в вычислительном комплексе “МИРЕЛА+” при помощи построения полутононных изображений с использованием освещения трехмерных объектов. Для визуализации объемных характеристик распределения функции  $U$  можно использовать методику сечения, что позволяет увидеть распределение  $U$  внутри области по произвольно заданному пересечению.

**Ключевые слова:** МКЭ, САПР, МИРЕЛА+, визуализация, алгоритм, об'єкт

**Kozub V. Y., Mogylniy G. A., Shkanyibin Y. A.**  
**Algorithms visualizations of numeral results with the use of layer scan-out**

*In the article research of algorithms and stage-by-stage process of visualization of numeral results of calculation is conducted in a calculable complex “MIRELA +” by the construction of halftone images with the use of illumination of three-dimensional objects. For visualization of by volume descriptions of distributing of function of U it is possible to use the method of section, that allows to see distributing of U into an area on the arbitrarily set crossing.*

**Key words:** MEE, CADD, MIRELA+, visualization, algorithm, object.

**Козуб Владислав Юрійович** – лаборант кафедри ІТС, ДЗ ЛНУ ім. Т. Шевченко, kosub@rambler.ru.

**Могильний Геннадій Анатолійович** – к.т.н., директор інституту фізики, математики та інформаційних технологій ДЗ ЛНУ ім. Т. Шевченко, zavkafinfo@luuniv.edu.ua

**Шкандин Юрій Олександрович** – асистент кафедри ІТС, ДЗ ЛНУ ім. Т. Шевченко, pochtays@gmail.com

Рецензент: **Данич В.М.**, д.т.н., професор.

Статья подана 11.04.14

УДК 004.67

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОШУКУ ПРИХОВАНИХ ПЕРІОДИЧНОСТЕЙ В СИГНАЛАХ

**Костенко К. О.**

## COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR SEARCHING HIDDEN PERIODICITIES IN SIGNALS

**Kostenko K. O.**

*В статті проводиться порівняльний аналіз методів пошуку періодичностей у сигналах. Розглянуто методи, що основані на перетворенні Фур'є, вейвлет-перетворенні та перетворення Гільберта-Хуанга. Виділено основні характеристики розглянутих методів. За допомогою декількох модельних сигналів проілюстровані вказані особливості розглянутих методів.*

**Ключові слова:** пошук періодичностей, перетворення Фур'є, перетворення Гільберта-Хуанга

**Вступ.** Ритмічність притаманна широкому колу геофізичних, біологічних та космічних явищ. У природничих науках багато процесів характеризуються сильними чи слабкими проявами періодичної поведінки: відомо, що сонячна активність істотно впливає на зміну клімату. Фактично, цикл сонячної активності сильно нагадує зміни температури в північній півкулі [1]. Аналіз періодичностей дуже важливий також і в медицині, де можна виділити багато біометричних процесів (наприклад, серцебиття), які також характеризуються певною періодичністю. Наявність періодичних аномалій може свідчити про наявність у людини того чи іншого захворювання. В автомобільній, авіаційній та обробній промисловості аналіз періодичностей є незамінним інструментом моніторингу і діагностики. Зміни періодів у вібрації можуть бути точним індикатором наявності проблем чи зношення механізму [2].

Аналіз та оцінка періодичності є важливим аспектом, адже таким чином можна виявити аномалії або краще зрозуміти причинно-наслідкові зв'язки між різними процесами. Задачі, що пов'язані з пошуком періодичностей у сигналах, виникають також і в таких прикладних галузях, як геофізика, радіотехніка, економіка, акустика та інших. У фінансово-економічній галузі пошук прихованих періодичностей може слугувати підґрунтам для прогнозування часу появи чергової події [3].

Таким чином, задача пошуку прихованих періодичностей вignalах різного походження є актуальною сьогодні.

На сьогоднішній день існують різні способи визначення наявності певної частоти у досліджуваному сигналі. Класичні методи виявлення періодичностей базуються на перетворенні Фур'є. Причому, в залежності від типу сигналу, використовуються різні види спектрального аналізу: для періодичних сигналів – ряд Фур'є (Fourier series), для неперіодичних сигналів – інтеграл Фур'є (Fourier integral), для цифрових – дискретне перетворення Фур'є (DFT – Discrete Fourier Transformation) та швидке перетворення Фур'є (FFT – Fast Fourier Transformation). На сьогоднішній день існує багато модифікацій алгоритму FFT, які застосовуються для обробки сигналів різного фізичного походження. Одним із відомих методів аналізу гармонійних компонент нестационарних сигналів є віконне перетворення Фур'є (STFT – Short-Time Fourier Transformation).

Також останнім часом все частіше для частотного аналізу застосовуються методи, в основі яких лежить вейвлет-перетворення (WT – Wavelet Transformation).

Теорія вейвлетів є потужною альтернативою аналізу Фур'є. Вейвлет-перетворення забезпечує більш гнучку техніку обробки сигналів. Основна перевага вейвлет-аналізу полягає в тому, що він дозволяє помітити добре локалізовані зміни сигналу, тоді як аналіз Фур'є цього не забезпечує [4].

**Постановка задачі.** Об'єктом дослідження є методи пошуку періодичностей. Мета статті полягає у проведенні порівняльного аналізу найбільш вживаних методів пошуку періодичностей, виявленні недоліків та переваг цих методів, а також формуванні рекомендацій щодо вибору найбільш підходящого методу для певних класів задач.

**Огляд методів.** У статті проводиться порівняльний аналіз чотирьох методів пошуку

періодичностей – перетворення Фур'є, віконне перетворення Фур'є, перетворення Гільберта-Хуанга та модифікованого методу WPDM.

**Перетворення Фур'є.** Перетворення Фур'є – це класичний метод частотного аналізу сигналів. Основна ідея методу полягає в тому, що кожну функцію можна представити у вигляді суми окремих гармонійних складових.

При аналізі часових рядів зазвичай використовується дискретне перетворення Фур'є, результатом якого є амплітудно-частотний спектр, за допомогою якого і визначається наявність певної частоти в досліджуваному сигналі.

На даний час існують програмні реалізації методу на основі швидкого перетворення Фур'є із обчислювальною складністю  $O(n \cdot \lg n)$ , де  $n$  – це довжина сигналу.

До обмежень методу слід віднести використання лише тригонометричного базису та неможливість отримати локалізацію частот у часі.

Методи на основі перетворення Фур'є дозволяють визначити комбінації двох синусоподібних сигналів, навіть якщо в одного з них низьке співвідношення сигнал-шум. Проте вони гірше визначають несинусоподібні періодичності, а також гірше працюють у випадку присутності в даних двох чи більше періодів, особливо при низькому співвідношенні сигнал-шум [5].

**Віконне перетворення Фур'є.** Віконне перетворення Фур'є представляє собою спектральний аналіз Фур'є в обмеженому часовому вікні. Послідовно проходячи ковзним вікном по вісі часу, можна отримати частотно-часовий розподіл початкового сигналу. В силу використання традиційного спектрального аналізу Фур'є потрібно припускати, що дані є кусково-стационарними.

Потрібно враховувати, що отриманий спектр представляє собою оцінку для спектру вихідного сигналу та може бути спотвореним. Спотворення, які вносяться за рахунок використання вікна, визначаються розмірами та формою останнього. Тому вибір вікна може суттєво вплинути на отримувані результати.

Недоліком віконного перетворення Фур'є є те, що неможливо одночасно забезпечити одночасно високу роздільність по частоті та часу. Зокрема, для того, щоб локалізувати події в часі, вікно повинно бути достатньо вузьким, але з іншого боку частотна локалізація вимагає використання довших часових параметрів.

Результати застосування віконного перетворення Фур'є найчастіше представляються у вигляді спектрограми, яку можна легко та швидко отримати за допомогою швидкого перетворення Фур'є [6]. Тому цей метод використовують для кращого візуального представлення результатів.

Зазвичай методи на основі перетворення Фур'є дають непогані результати у випадку, коли в досліджуваних даних постійно присутні гармонійні періоди. Однак в іншому випадку результати роботи

методів суттєво залежать від внутрішніх особливостей сигналу. Тому, останнім часом використовується новий підхід до аналізу сигналів – застосування вейвлет-перетворення.

**Вейвлет-аналіз.** На відміну від спектрального аналізу Фур'є, вейвлет-перетворення дозволяє виконувати частото-часовий аналіз, тобто не лише визначити, які частоти присутні в сигналі, а також вказати часові моменти їх наявності.

При виділенні в сигналах добре локалізованих різномасштабних процесів можна розглядати лише ті масштабні рівні розвинення, які є суттєвими. Вейвлетному перетворенню притаманні всі переваги перетворення Фур'є. На основі теорії вейвлетів розроблені різні методи виявлення періодичностей.

Одним із них є метод PDM (Phase Dispersion Minimization) [7]. На відміну від розвинення Фур'є, цей метод забезпечує визначення також періодів, які не проявляються у вигляді синусоїд. Суть методу у визначенні відношення сумарної дисперсії підмножин даних, що охоплюють всю множину даних і обираються таким чином, що в межах кожної з них різниця часу однакова між сусідніми точками і дорівнює досліджуваному періоду, до загальної дисперсії. Близькість такого відношення до нуля свідчить про більшу ймовірність наявності шуканого періоду.

У методі WPDM (Wavelet-based PDM) виконується вейвлет-розвинення початкового сигналу за допомогою надлишкового дискретного вейвлет-перетворення, після чого кожен отриманий рівень розвинення аналізується на наявність потрібних періодів за допомогою методу PDM [7]. Застосування вейвлет-перетворення дозволяє відокремити різні періоди, досліджуючи їх присутність по різних наборах коефіцієнтів розвинення. Завдяки цьому метод WPDM забезпечує пошук прихованих періодичностей. Використання надлишкового вейвлет-перетворення (наприклад, схеми «à trous» [8]) підвищує точність визначення моменту появи шуканих періодів завдяки тому, що кількість вейвлет-коефіцієнтів на кожному рівні не змінюється. Автором також запропонована віконна модифікація цього методу, за допомогою якої можна визначити наявність в сигналі періодів, що проявляються лише впродовж незначних проміжків часу [9].

**Перетворення Гільберта-Хуанга.** Перетворення Гільберта-Хуанга (ННТ – Hilbert-Huang transform) базується на алгоритмі емпіричної модової декомпозиції (EMD – empirical mode decomposition), який використовується для розкладу часового ряду на емпіричні моди (IMF – intrinsic mode functions). В основі методу лежить припущення, що будь-який сигнал складається з різних типів коливань, які відповідають різним часовим масштабам так, що кожна функція IMF є одним з таких коливань [5].

Кожна IMF повинна задовольняти двом умовам: 1) кількість екстремумів та кількість нулів

функції повинні бути рівними або відрізнятися не більше ніж на одиницю; 2) в будь-якій точці функції середнє значення обвідних, визначених локальними максимумами та локальними мінімумами, повинно бути нульовим. Ці дві умови необхідні, аби запобігти неповноті у визначенні миттєвої частоти.

Після розкладу сигналу на сукупність IMF до кожної з них застосовується перетворення Гільберта, яке подібне до перетворення Фур'є, що використовується в гармонійному аналізі.

Перевагою методу є те, що він емпіричний та адаптивний. Він надає можливість однозначно визначати поточні часові характеристики сигналу – миттєві значення амплітуди та фази. Базис розвинення не задається апріорно, а визначається в процесі розкладу.

**Співставлення методів пошуку періодичностей.** Основні властивості та особливості розглянутих методів зведені в таблиці 1.

Таблиця 1  
**Порівняльний аналіз методів пошуку періодичностей**

Метод	Характеристика			
	Часова локалізація	Склад-ність алгоритму	Наочність результатів	Адаптивність базису
FFT	Ні	Низька	Висока	Не має
STFT	Частково	Низька	Середня	Не має
HHT	Так	Висока	Середня	Є
WPDM	Так	Середня	Висока	Вручну

Виходячи з виділених характеристик, можна зробити наступні висновки.

Методи, що базуються на використанні перетворення Фур'є, є сенс використовувати, коли відомо, що в досліджуваному сигналі шукані частоти присутні майже завжди. Також ці методи найкраще за все визначають наявність гармонічних періодів.

Методи, в основі яких лежать вейвлет-перетворення, дозволяють знайти частоти, які будуть з'являтися лише в певні моменти часу, а також переходити одна в іншу.

За допомогою перетворення Гільберта-Хуанга можна не лише з'ясувати часові моменти прояву певних періодів, але також розкласти початковий сигнал на суму сигналів, кожен з яких можна потім аналізувати окремо. З недоліків слід відзначити невисоку наочність представлення результатів та великий об'єм обчислень.

**Практичні результати.** Для демонстрації особливостей роботи розглянутих методів використано наступні вихідні дані.

В якості базового сигналу було взято синусоїdalний сигнал довжиною в 10 000 відліків із періодом у 513 відліків, до якого (по всій довжині або фрагментарно) додавались аналогічні синусоїdalні сигнали з різними періодами.

S1 – базовий сигнал, по всій довжині якого додавалися синусоїdalні сигнали із періодами 31 та 45 відліків.

S2 – базовий сигнал, по всій довжині якого додавалися синусоїdalні сигнали із періодами 31 та 58 відліків.

S3 – базовий сигнал, по всій довжині якого додавалися синусоїdalні сигнали із близькими за значеннями періодами у 31, 35 та 37 відліків.

S4 – базовий сигнал, в якому на проміжку 1500-2100 відлік додано сигнал із періодом 31 відлік та на проміжку 6200-6700 – сигнал з періодом 35. Сигнал з періодом 45 відліків додано по всій довжині.

S5 – базовий сигнал, в якому короткі періоди проявляються на нетривалих проміжках, що слідують один за одним – з відліку 1500 по 2100 проявляється період 35, з 2100 по 2700 період 31, і з 2700 по 3300 період 37. Сигнал з періодом 45 відліків додано по всій довжині.

В таблиці 2 наведено результати роботи розглянутих методів. Для кожного метода вказано, які саме періоди в кожному сигналі були за його допомогою визначені, із вказанням за потреби додаткових умов чи обмежень.

Таблиця 2  
**Періоди, що були знайдені методами у тестових синалах**

Сигнал	Метод			
	FFT	STFT	HHT	WPDM
S1	513, 45, 31	513, 45, 31	513, 45, 31	513, 45, 31
S2	513, 58, 31	513, 58, 31	513, 58, 31	513, 58, 31
S3	513, 37, 35, 31	513, 37, 35, 31	513, 30-40	513, 32, 34, 36
S4	513, 45 завжди; 31, 37 з набагато меншою амплітудою	513, 45 завжди; 31, 37 в залежності від розміру вікна	513, 45, 31, 37	513, 45, 31, 37
S5	513, 45 завжди; 31, 37 з набагато меншою амплітудою	513, 45 завжди; 31, 37 в залежності від розміру вікна	513, 45, 31, 35, 37	513, 45, 31, 35, 37

Всі методи чітко визначили період базового синусоїdalного сигналу (513 відліків).

Швидке перетворення Фур'є знаходить найкраще ті періоди, які постійно присутні у сигналі. Частоти, які проявляються в певні моменти досліджуваного проміжку, теж визначаються, хоча і мають меншу амплітуду. Результат застосування швидкого перетворення Фур'є до сигналу S4 показано на рис. 1, де по горизонталі відкладені значення частот, а по вертикальні – амплітуда. Як можна бачити, метод показує наявність у сигналі

періодів 31 та 37, проте не дає можливості визначити, коли саме в досліджуваному сигналі вони з'являються. На основі отриманих значень амплітуд можна зробити висновки лише про співвідношення довжин проміжків проявів відповідних частот.

На відміну від швидкого перетворення Фур'є, віконне перетворення Фур'є дозволяє також вказати моменти часу, в які проявляються певні частоти. Результати роботи віконного перетворення Фур'є над сигналом S4 показані на рис. 2, де по горизонталі відкладені частоти, а по вертикалі – час. Як можна бачити, для обраного сигналу визначаються «вікна», в яких проявляються шукані періоди. Проте варто зазначити, що точність такої часової локалізації суттєво залежить від обраного значення ширини вікна (рис. 2 та рис. 3).

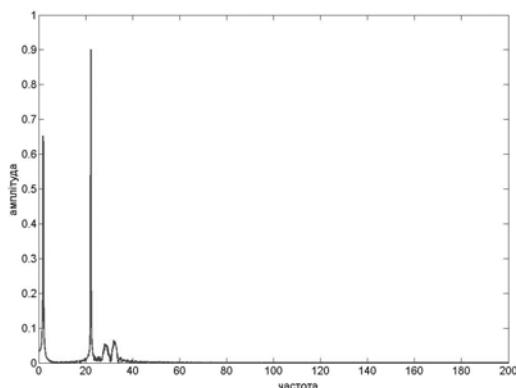


Рис. 1 Результати FFT для сигналу S4

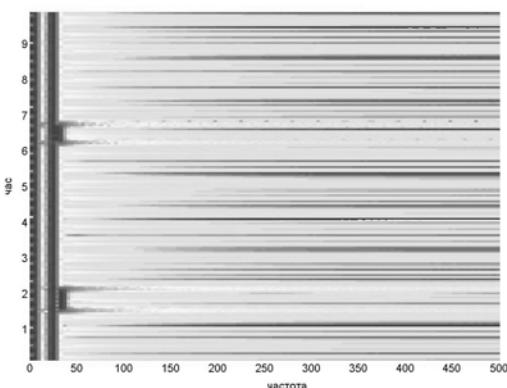


Рис. 2 Результати роботи SFFT із вікном 256

Віконна модифікація методу WPDM визначає в тестових сигналах всі періоди із чіткою часовою локалізацією. На рис. 4 та рис. 5 показані результати пошуку періодів для сигналів S4 та S5 відповідно. Проте слід відмітити, що виникають похибки у детектуванні близьких за значенням один до одного періодів, як у сигналі S3 (рис. 6), де замість періодів 31, 35 та 37 були знайдені 32, 34 та 36.

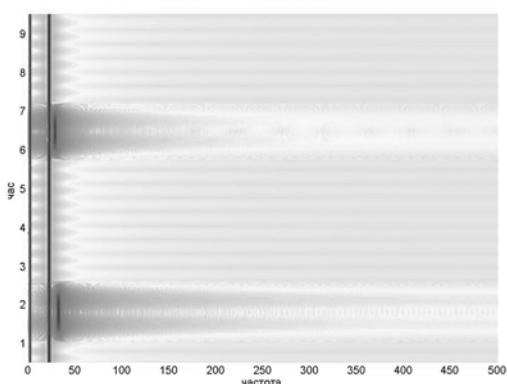


Рис. 3 Результати роботи SFFT із вікном 1024

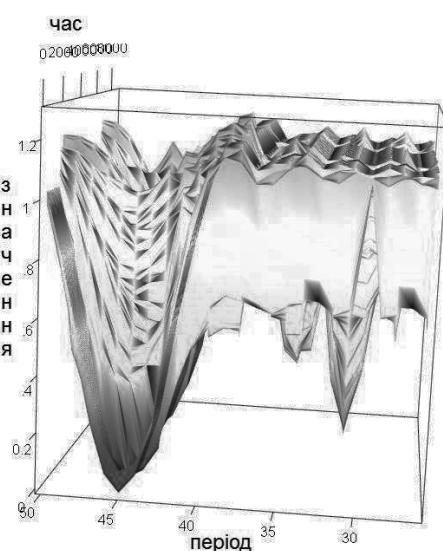


Рис. 4 Результати роботи методу WPDM для сигналу S4

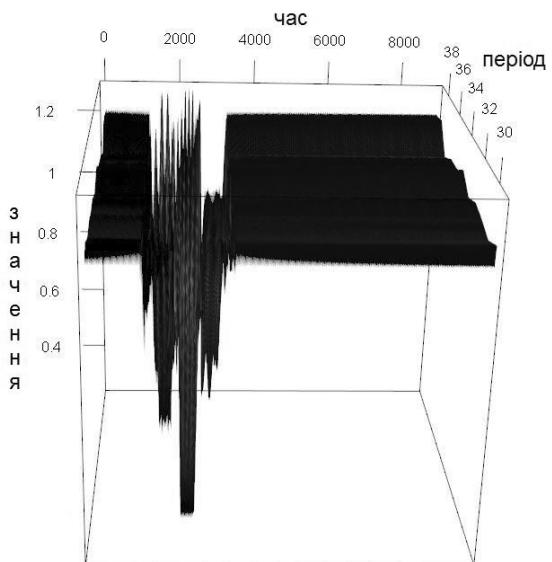


Рис. 5 Результати роботи методу WPDM для сигналу S5

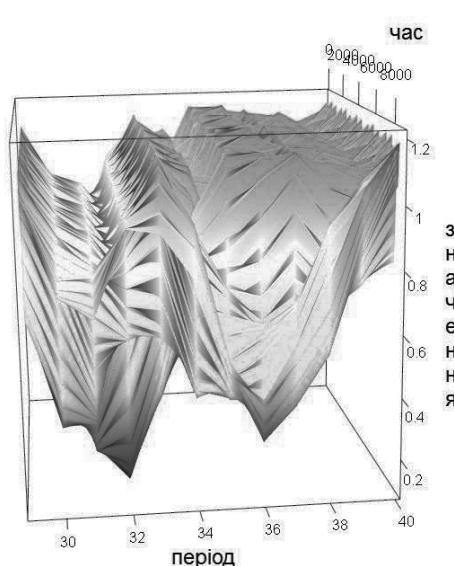


Рис. 6 Результати роботи методу WPDM для сигналу S3

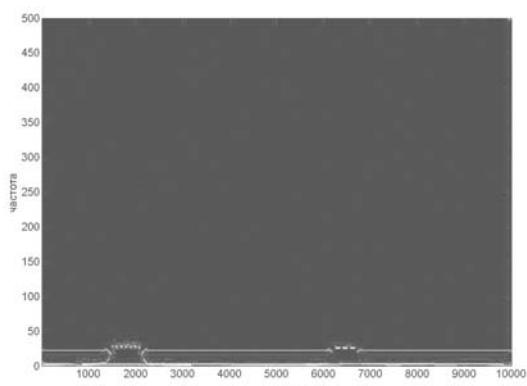


Рис. 7 Результати роботи методу ННТ для сигналу S4

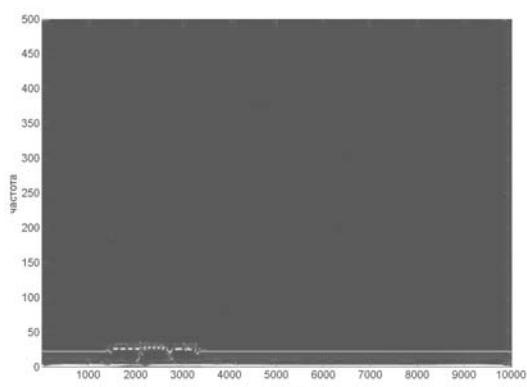


Рис. 8 Результати роботи методу ННТ для сигналу S5

Результати застосування перетворення Гільберта-Хуанга до сигналів S4 та S5 показані відповідно на рис. 7 та рис. 8, де по горизонталі відкладено час, а по вертикалі – частоти. Цей метод чітко визначає періоди, що постійно присутні в сигналах, а також показує ті моменти часу, в які в

сигналі з'являються інші частоти. Проте відсутність наочності не завжди дозволяє чітко визначати, які саме частоти з'являються.

**Висновки.** В даній роботі автором проведено огляд та аналіз деяких існуючих методів пошуку періодичностей, визначені принципові характеристики розглянутих методів. На основі аналізу обраних характеристик надані рекомендації щодо оптимальності застосування того чи іншого методу для розв'язання задач певного типу.

Виконано порівняння результатів роботи розглянутих методів на декількох модельних сигналах. Отримані результати підтверджують визначені характерні теоретичні особливості.

### Література

- Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar-Activity Closely Associated with Climate [Text] / E. Friss-Cristensen, K. Lassen. // Science. – 1991. – Vol. 254, № 5032. – P. 698 – 700.
- Mitchell, J. S. An Introduction to Machinery Analysis and Monitoring [Text] / J.S. Mitchell. – Pennwell Books, 1993. – 566 p.
- Голік, Ф.В. Обнаружение почти-периодических потоков [Электронный ресурс] / Ф.В. Голік // Журнал радиоэлектроники. – 2010. - №6. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/alt/jun10/4/text.pdf>
- Смоленцев, Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB.[Текст] / Н.К. Смоленцев – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
- The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis [Text] / N. E. Huang // Proc. Roy. Soc. Lond. – 1998. – Vol. A 454. – P. 903 – 995.
- Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.
- Period determination using phase dispersion minimization [Text] / R.F. Stellingwerf // Astrophysical Journal. – 1978. – Vol. 224 – P. 953-960.
- Redundant Multiscale Transforms and their Application for Morphological Component Analysis [Text] / J.-L. Starck, M. Elad, and D.L. Donoho // Advances in Imaging and Electron Physics. – 2004. – P. 132
- Дичка І. А. Модифікація методу WPDM для виявлення заданих періодичностей / Дичка І. А., Костенко К.О., Кашинець А. Я. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2012. – № 8 (179) – С. 36 – 40.

### References

- Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar-Activity Closely Associated with Climate [Text] / E. Friss-Cristensen, K. Lassen. // Science. – 1991. – Vol. 254, № 5032. – P. 698–700.
- Mitchell, J. S. An Introduction to Machinery Analysis and Monitoring [Text] / J.S. Mitchell. – Pennwell Books, 1993. – 566 p.
- Golik, F.V. Obnaruzhenie pochti-periodicheskikh potokov [Jelektronnyj resurs] / F.V. Golik // Zhurnal radioelektroniki. – 2010. - №6. – Rezhim dostupa: <http://jre.cplire.ru/alt/jun10/4/text.pdf>
- Smolencev, N.K. Osnovy teorii vejvletov. Vej-vlyety v MATLAB.[Tekst] / N.K. Smolencev – M.: DMK Press, 2005. – 304 s.

5. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis [Text] / N. E. Huang // Proc. Roy. Soc. Lond. – 1998. – Vol. A 454. – P. 903–995.
6. Sergienko, A. B. Cifrovaja obrabotka signalov [Tekst] / A.B. Sergienko. – SPb.: Piter, 2006. – 751 s.
7. Period determination using phase dispersion minimization [Text] / R.F. Stellingwerf // Astrophysical Journal. – 1978. – Vol. 224 – P. 953-960.
8. Redundant Multiscale Transforms and their Application for Morphological Component Analysis [Text] / J.-L. Starck, M. Elad, and D.L. Donoho // Advances in Imaging and Electron Physics. – 2004. – P. 132
9. Dichka I.A., Kostenko K.O., Kashhinec' A.Ja. Modifikacija metodu WPDM dlja vijavlenija zadanih periodichnostej // Visnik Shidnoukraїns'kogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalja. – 2012. – № 8 (179) – S. 36-40

**Костенко Е. А. Сравнительный анализ методов поиска скрытых периодичностей в сигналах**

В статье проводится сравнительный анализ методов поиска периодичностей в сигналах. Рассматриваются методы, которые основаны на преобразовании Фурье, на вейвлет-преобразовании, а также преобразование Гильберта-Хуанга. Выделены

основные характеристики рассмотренных методов. Указанные особенности работы методов проиллюстрированы с помощью модельных сигналов.

**Ключевые слова:** поиск периодичностей, преобразование Фурье, преобразование Гильберта-Хуанга

**Kostenko K. O. Comparative analysis of methods for searching hidden periodicities in signals**

This article presents a comparative analysis of methods for searching hidden periodicities in signals. Methods based on Fourier transformation, wavelet transformation and Hilbert-Huang transformation are considered. Main characteristics of this methods are defined. Main features of the considered methods are illustrated with the help of the model signals.

**Key words:** periodicity detection, Fourier transformation, Hilbert-Huang transformation

**Костенко Катерина Олексіївна**, асистент кафедри прикладной математики НТУУ «КПІ», ekaterinaalekseevna@ukr.net

Рецензент: **Рач В.А.**, д.т.н., профессор.

Статтю подано 17.03.14

УДК 37.012:004.422.636.7

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ В НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Крамаренко Т. А.

### AUTOMATION OF TREATMENT OF DATA OF STATISTICAL ANALYSIS IN RESEARCHES

Kramarenko T. A.

У статті розглянуто використання табличного процесору Excel для автоматизації розрахунку емпіричного значення критерію однорідності  $\chi^2$  (Пірсона), а також показників описової статистики (середнього арифметичного вибірки й стандартного відхилення) при проведенні статистичного аналізу даних в дослідженнях.

**Ключові слова:** наукове дослідження, статистичний аналіз даних, критерій Пірсона, майбутні фахівці, MS Excel.

В наукових дослідженнях широко використовуються математичні методи, що є процедурами побудови, перетворення, метризації і обчислення математичних об'єктів. Ці процедури ґрунтуються на теоріях множин, графів, матриць, вірогідності і математичної статистики [1].

Метою будь-якого експерименту є емпіричне підтвердження гіпотези дослідження і/або справедливості теоретичних результатів, тобто обґрунтування того, що пропонована педагогічна дія (наприклад, нові зміст, форми, методи, засоби навчання і т. ін.) ефективніша (чи, можливо, навпаки – менш ефективна). Для цього, як мінімум, необхідно показати, що, будучи застосованим до того ж об'єкту (наприклад, до групи учнів), вона дає інші результати, чим застосування традиційних педагогічних дій.

Використання комп’ютера під час аналізу результатів експериментів є, безумовно, доцільним. Усі чотири пропоновані до використання для обробки результатів експерименту статистичні критерії (Крамера-Уелча, Вілкоксона-Манна-Уйтні, критерій однорідності  $\chi^2$  (Пірсона), Фішера) коректно реалізовані в професійних статистичних пакетах, серед яких можна виділити і рекомендувати такі найбільш поширені пакети статистичного аналізу як: Statistica, StatGraphics, SPSS [2]. Проте, згадані програми є ліцензійними, при цьому вони досить складні і вимагають значних тимчасових витрат для свого освоєння. Разом з цими

професійними статистичними пакетами деякі інструменти статистичного аналізу містить популярний табличний процесор Microsoft Excel, що входить в стандартний комплект пакету Microsoft Office, який встановлений практично на будь-якому персональному комп’ютері.

Однак, слід зазначити, що жоден з чотирьох рекомендованих статистичних критеріїв не реалізований в Excel, тому для автоматизації розрахунку емпіричних значень критеріїв слід ввести вручну в електронну таблицю формули, а також скористатися можливостями інструмента аналізу даних Excel „Описова статистика”. Таким чином, використання для проведення статистичного аналізу даних експерименту електронних таблиць Excel є актуальним.

*Мета статті* – використання табличного процесору Microsoft Excel для автоматизації розрахунку емпіричного значення критерію однорідності  $\chi^2$ , а також показників описової статистики при проведенні статистичного аналізу даних в дослідженнях.

Типовим завданням аналізу даних у дослідженнях є встановлення збігів або відмінностей характеристик експериментальної (ЕГ) та контрольної груп (КГ). Для цього формулюються статистичні гіпотези: нульова (гіпотеза про відсутність відмінностей) та альтернативна (гіпотеза про значущість відмінностей). Для прийняття рішення про певну гіпотезу використовують статистичні критерії (наприклад, критерій однорідності  $\chi^2$ ), тобто розраховується емпіричне значення критерію ( $\chi^2_{\text{емп.}}$ ), яке потім порівнюється з табличним числом, яке називається критичним значенням критерію ( $\chi^2_{\text{критич.}}$ ). У педагогічних дослідженнях зазвичай використовують рівень значущості 0,05 для критичного значення критерію.

На констатувальному етапі експерименту для достовірності досліджень потрібно перевірити нульову гіпотезу: відсутність суттєвої різниці, тобто

Таблиця 1

**Усереднений розподіл студентів за рівнями сформованості готовності в ЕГ та КГ за всіма критеріями (до експерименту)**

Група	Абс. кількість	Рівні сформованості готовності до використання КТ					
		низький		середній		високий	
		абс. кількість	(%)	абс. кількість	(%)	абс. кількість	(%)
ЕГ	118	54	45,8%	51	42,9%	13	11,3%
КГ	115	53	46,0%	48	42,2%	14	11,8%

збіг на заданому рівні значущості характеристики експериментальної та контрольної груп.

Усереднений розподіл студентів за рівнями сформованості готовності до використання комп’ютерних технологій (КТ) до використання у професійній діяльності за всіма критеріями на констатувальному етапі експерименту представлений у таблиці 1 і на рисунку 1.

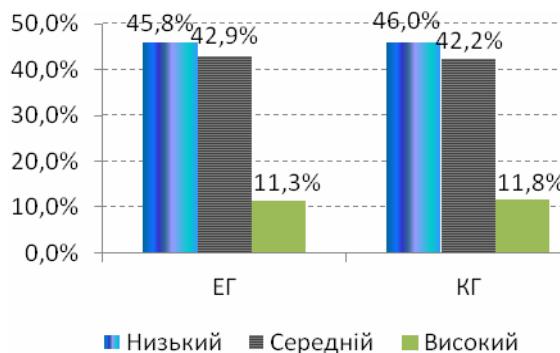


Рис. 1. Усереднений розподіл студентів за рівнями сформованості готовності у ЕГ та КГ за всіма критеріями (до експерименту)

Спираючись на кількісні показники, наведені в табл. 1, перевіримо нульову гіпотезу за формулою [2, с. 53 – 54]:

$$\chi^2_{\text{епн.}} = N \cdot M \cdot \sum_{i=1}^L \frac{\left( \frac{n_i}{N} - \frac{m_i}{M} \right)^2}{\frac{n_i + m_i}{n_i}},$$

де  $N$  – обсяг вибірки в експериментальній групі (кількість студентів);

$M$  – обсяг вибірки в контрольній групі;

$n = (n_1, n_2, \dots, n_L)$ , де  $n_i$  – число членів експериментальної групи, які одержали  $i$ -й бал,  $i = 1, 2, \dots, L$ ;

$m = (m_1, m_2, \dots, m_L)$ , де  $m_i$  – число членів контрольної групи, які одержали  $i$ -й бал,  $i = 1, 2, \dots, L$ ;

$L$  – кількість рівнів. У нашому випадку  $L = 3$  – „низький”, „середній” або „високий” рівень.

За даними таблиці „Відсоткові точки розподілу  $\chi^2$ ”, для числа ступеня свободи (у нашому випадку це число 2) і рівня значущості 0,05,  $\chi^2_{\text{критич.}} = 5,99$ .

Використовуючи дані таблиці 1 та можливості електронних таблиць MS Excel щодо статистичного аналізу, ми підрахували значення критерію  $\chi^2_{\text{епн.}}$  для експериментальних груп (рис. 2). Отримані дані представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Зіставлення емпіричного та критичного значень критерію Пірсона  $\chi^2$  (констатувальний зріз)**

Емпіричне значення критерію ( $\chi^2_{\text{епн.}}$ )	Критичне значення критерію ( $\chi^2_{\text{критич.}}$ ) (v=2, p≤0,05)
0,1	5,99

Порівняння емпіричного значення критерію з критичним значенням ( $\chi^2_{\text{епн.}} = 0,1 \leq \chi^2_{\text{критич.}} = 5,99$ ) дозволяють стверджувати, що характеристики експериментальної та контрольної груп збігаються з рівнем значущості 0,05 за статистичним критерієм однорідності. Тобто початковий (до експерименту) стан готовності експериментальної та контрольної груп збігаються.

		$\chi^2_{\text{епн.}} = 0,1 < 5,99 = \chi^2_{\text{критич.}}$
ЕГ	КГ	
Низький	54	53
Середній	51	48
Достатній	13	14
Вибрка	118	115
	$\chi^2_{\text{епн.}}$	0,10
	$\chi^2_{\text{критич.}}$	5,99

Розбіжності не достовірні, тобто студенти ЕГ та КГ мають однаковий рівень сформованості готовності до використання КТ у

Рис. 2. Копія екрана ПК з розрахунками емпіричного значення критерію Пірсона  $\chi^2$  (MS Excel) до формувального експерименту для ЕГ та КГ

Також у статистичних критеріях для визначення достовірності збігів (або відмінностей) характеристик між експериментальною та контрольною групою використовуються деякі показники описової статистики [4]. Так, відсутність достовірних відмінностей між експериментальною та контрольною групами, які брали участь в експерименті, підтверджують близькі значення середнього арифметичного значення вибірки ( $X=1,65$  – у ЕГ;  $X=1,66$  – у КГ) і стандартного відхилення ( $S=0,67$  – у ЕГ;  $S=0,69$  – у КГ), які також

свідчать про схожість груп за рівнем сформованості готовності до використання КТ у професійній діяльності. Ці дані ми одержали за допомогою „Описової статистики” з надбудови „Аналіз даних” програми MS Excel (див. рис. 3).

ЕГ		КГ	
Середнє	1,052542373	Середнє	1,660869505
Стандартна оцінка	0,061815123	Стандартна оцінка	0,064044819
Мода	1	Мода	1
Стандартне відхилення	0,671468115	Стандартне відхилення	0,686804915
Дискретна вибірки	0,430090991	Дискретна вибірки	0,471709992
Ексцес	-0,715827205	Ексцес	-0,76324742
Асиметричність	0,543872129	Асиметричність	0,556476777
Інтервал	2	Інтервал	2
Мінімум	3	Мінімум	3
Максимум	3	Максимум	3
Сума	195	Сума	191
Счет	118	Счет	115
Уровень надежності(95,0%)	0,122421612	Уровень надежності(95,0%)	0,1268972431

Рис. 3. Копія екрана ПК з розрахунками середнього арифметичного вибірки й стандартного відхилення (MS Excel) до формувального експерименту для контрольної та експериментальної груп

Підсумкові дані усередненого розподілу всіх студентів ЕГ та КГ за рівнями сформованості готовності до використання КТ за всіма критеріями на формувальному етапі експерименту наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

**Усереднений розподіл студентів ЕГ та КГ за рівнями сформованості готовності до використання КТ у професійній діяльності за всіма критеріями (після експерименту)**

Група	Вибірка	Рівні сформованості готовності						X	S		
		Низький		Середній		Високий					
		Кіл.	%	Кіл.	%	Кіл.	%				
ЕГ	118	24	20,6	66	56,1	28	23,3	2,03	0,67		
КГ	115	51	44,5	50	43,3	14	12,3	1,68	0,68		

Ми також підрахували, використовуючи дані табл. 3 та надбудову MS Excel „Аналіз даних”, значення показників описової статистики X та S (середнє арифметичне значення вибірки та стандартне відхилення) для експериментальної та контрольної груп (рис. 4).

На формувальному етапі експерименту для емпіричного підтвердження гіпотези дослідження про ефективність упроваджених педагогічних умов підготовки майбутніх фахівців до використання КТ у професійній діяльності слід прийняти статистичну гіпотезу про значущість відмінностей для підтвердження наявності відмінностей між експериментальною й контрольною групою після експерименту.

ЕГ		КГ	
Середнє	2,03389831	Середнє	1,67826972
Стандартна оцінка	0,06129527	Стандартна оцінка	0,063629702
Мода	1	Мода	1
Стандартне відхилення	0,68579891	Стандартне відхилення	0,682459768
Дискретна вибірки	0,44326553	Дискретна вибірки	0,465711315
Ексцес	-0,70441250	Ексцес	-0,77001001
Асиметричність	-0,677075793	Асиметричність	0,577075793
Інтервал	2	Інтервал	2
Мінімум	1	Мінімум	1
Максимум	3	Максимум	3
Сума	240	Сума	181
Счет	118	Счет	115
Уровень надежності(95,0%)	0,12138475	Уровень надежності(95,0%)	0,126089779

Рис. 4. Копія екрана ПК з розрахунками середнього арифметичного вибірки й стандартного відхилення (MS Excel) після формувального експерименту для контрольної та експериментальної груп

За даними таблиці „Відсоткові точки розподілу  $\chi^2$ ”, для числа ступеня свободи (у нашому випадку це число 2) і рівня значущості 0,05,  $\chi^2_{\text{критич.}} = 5,99$ .

Використовуючи дані таблиці 3 та можливості електронних таблиць MS Excel щодо статистичного аналізу, ми підрахували значення критерію  $\chi^2_{\text{емп.}}$  для ЕГ та КГ, які брали участь у формувальному етапі експерименту (рис. 4). Отримані дані з урахуванням даних табл. 2 представено в табл. 4.

Таблиця 4

**Результати зіставлення емпіричного та критичного значень критерію Пірсона  $\chi^2$  для експериментальної та контрольної груп до й після експерименту**

Емпіричне значення критерію, ( $\chi^2_{\text{емп.}}$ )	Критичне значення ( $\chi^2_{\text{критич.}}$ ) (v=2, p≤0,05)
ЕГ та КГ до експерименту	5,99
ЕГ та КГ після експерименту	16,28
0,1	

Оскільки отримане емпіричне значення критерію Пірсона  $\chi^2$  після експерименту ( $\chi^2_{\text{емп.}} = 16,28$ ) є суттєво більшим, ніж  $\chi^2_{\text{критич.}}$ , тому є підстави стверджувати про наявність відмінностей між експериментальною й контрольною групами після експерименту (див. рис. 5).

ЕГ		КГ		$\chi^2_{\text{критич.}} = 18,28 > 5,99 = \chi^2_{\text{емп.}}$	Розбіжності достовірні, тобто студенти ЕГ істотно підвищили рівень сформованості готовності до використання КТ у професійній діяльності
Низький	24	51	50		
Середній	66	50	50		
достатній	28	14	14		
Вибірка	118	115	115		
$\chi^2_{\text{емп.}}$			16,28		
$\chi^2_{\text{критич.}}$			5,99		

Рис. 5. Копія екрана ПК з розрахунками емпіричного значення критерію Пірсона  $\chi^2$  (MS Excel) після формувального експерименту для ЕГ та КГ

Порівняльний аналіз результатів зіставлення емпіричного та критичного значень критерію Пірсона  $\chi^2$  для експериментальної та контрольної груп до й після експерименту (див. табл. 4) дозволив зробити висновок про позитивні результати проведеного роботи. Кількісні дані отримали підтвердження за допомогою методів математичної статистики. Так, початкові (до початку експерименту) стани експериментальної й контрольної груп збігаються, а кінцеві (після закінчення експерименту) – розрізняються.

Відповідно до правила прийняття рішення є достатні підстави вважати, що рівень готовності студентів до використання КТ у професійній діяльності в експериментальній групі на початок і закінчення формувального експерименту різний, що цілком узгоджується з висунутою гіпотезою про ефективність упроваджених умов підготовки майбутніх фахівців до використання комп’ютерних технологій у професійній діяльності.

Таким чином, використання табличного процесору MS Excel для розрахунку емпіричного значення критерію (у тому числі  $\chi^2$ ), середнього арифметичного вибірки й стандартного відхилення надає можливість автоматизувати проведення статистичного аналізу даних в дослідженнях.

Відповідно до перспектив подальшого дослідження необхідно розглянути проведення розрахунків щодо статистичного аналізу даних у табличному процесорі MS Excel з використанням інших рекомендованих статистичних критеріїв.

#### Література

1. Красильников В. В. Математические методы в психолого-педагогических исследованиях : учебно-метод. пособие / В. В. Красильников, В. С. Тойскин. – Ставрополь : Изд-во СГПИ, 2008. – 84 с.
2. Новиков Д. А. Статистические методы в педагогических исследованиях (типовые случаи) / Д. А. Новиков. – М. : МЗ-Пресс, 2004. – 67 с.
3. Крамаренко Т. А. Підготовка майбутніх інженерів педагогів до використання комп’ютерних технологій у професійній діяльності : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : спец. 13.00.04 „Теорія і методика професійного навчання” / Т. А. Крамаренко. – Луганськ, 2013. – 20 с.
4. Адаменко Е. В. Математические методы в педагогике и психологии : учеб. пособие / Е. В. Адаменко. – Луганск : Альма-матер, 2008. – 94 с.

#### References

1. Krasil'nikov V. V. Matematische metody v psihologo-pedagogicheskikh issledovanijah : uchebno-metod. posobie / V. V. Krasil'nikov, V. S. Toiskin. – Stavropol' : Izd-vo SGPI, 2008. – 84 s.
2. Novikov D. A. Statisticheskie metody v pedagogicheskikh issledovanijah (tipovye sluchai) / D. A. Novikov. – M. : MZ-Press, 2004. – 67 s.
3. Kramarenko T. A. Pidgotovka majbutnih inzheneriv pedagogiv do vikoristannja kompjuternih tehnologij u profesijniij dijal'nosti : avtoref. dis. na zdobutja nauk. stupenja kand. ped. nauk : spec. 13.00.04 „Teoriya i

metodika professijnogo navchannja” / T. A. Kramarenko. – Lugans'k, 2013. – 20 s.

4. Adamenko E. V. Matematicheskie metody v pedagogike i psihologii : ucheb. posobie / E. V. Adamenko. – Lugansk : Al'ma-mater, 2008. – 94 s.

#### Крамаренко Т. А. Автоматизация обработки данных статистического анализа в научных исследованиях

*В статье рассмотрено использование табличного процессора Excel для автоматизации расчета эмпирического значения критерия однородности  $\chi^2$  (Пирсона), а также показателей описательной статистики (среднего арифметического выборки и стандартного отклонения) при проведении статистического анализа данных в педагогических исследованиях.*

**Ключевые слова:** педагогическое исследование, статистический анализ данных, критерий Пирсона, будущие специалисты, MS Excel.

#### Kramarenko T. A. Automation of treatment of data of statistical analysis in researches

*In the article the uses of tabular processor of Excel are considered for automation of calculation of empiric value of criterion of homogeneity  $\chi^2$  (Pearson), and also indexes of descriptive statistics (middle arithmetic selection and standard deviation) during realization of statistical analysis of data in researches.*

**Key words:** pedagogical research, statistical analysis of data, criterion of Pearson, future professionals, MS Excel.

**Крамаренко Т. А.,** кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”

Рецензент: **Носко П.Л.**, д.т.н., професор.

Стаття подана 15.03.2014

УДК 004.415

## АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРИИ ОНТОЛОГИЙ

**Малахов К.С., Семенков В.В.**

## ANALYSIS OF THE COMPLEX SOFTWARE SYSTEMS FOR ONTOLOGICAL ENGINEERING PURPOSE

**Malahov K., Semenkov V.**

*В статье представлен обзор актуальных специализированных инструментальных средств инженерии онтологий (Инструментальный комплекс онтологического назначения, LoTA, SIMER+MIR, ИСИДА-T, Protégé, Ontolingua, InTez, OntoSTUDIO, OntoEdit) для построения и объединения онтологий, а также средств аннотирования на основе онтологий. Рассмотрены основные функции и возможности данных инструментальных средств, их достоинства и недостатки, а также дан системный сравнительный анализ.*

**Ключевые слова:** онтология, инструментальный комплекс онтологического назначения, ИКОН, специализированное инструментальное средство, инженерия знаний, проектирование дисциплины

**Введение.** Методология проектирования онтологий предметной области (ПдО) [1] предполагает формирование множеств концептов, отношений, функций интерпретации и аксиом. Построение указанных множеств вручную является трудоёмким процессом, как по времени, так и по количеству вовлечённых в процесс проектирования высококвалифицированных специалистов. Ручное проектирование онтологий мало чем отличается от проектирования экспертных систем.

Понимание важности создания инструментальных средств поддержки процесса проектирования онтологий заданной ПдО пришло практически одновременно с принятием парадигмы компьютерных онтологий. В настоящее время известно более ста инструментальных программных систем [2, 3, 4], но количество комплексных программных систем, включающих редактор онтологических структур, автоматизированное построение онтологий ПдО, поверхностный семантический анализ текстовых документов и т.д. ограничено. Ниже будут рассмотрены характеристики комплексных программных систем.

Поддерживаемые формализмы и форматы представления. Под формализмом понимается некоторая формальная теория, лежащая в основе способа представления онтологических знаний

(логика предикатов, фреймовые модели, дескриптивная логика, концептуальные графы и др.). Формализм существенно влияет на внутренние (компьютерные) структуры данных и может определять их формат представления.

Формат представления онтологий задаёт вид их хранения в библиотеке и способ передачи онтологических описаний другим потребителям. В качестве форматов разработаны языки представления онтологий, наиболее известными из которых являются OWL, RDFS, KIF.

Некоторые из известных редакторов онтологий поддерживают работу с несколькими формализмами представления, но только один формализм и формат являются предпочтительными для конкретного редактора [4].

**Функциональность.** Является одной из самых важных характеристик редакторов онтологий, под которой понимается множество предоставляемых пользователю сценариев работы с онтологическими структурами.

Базовый набор функций обеспечивает:

- работу с одним или несколькими проектами одновременно;
- графический интерфейс с пользователем;
- редактирование онтологии (создание, редактирование, удаление концептов, отношений, аксиом и прочих структурных элементов онтологии);

**Архитектура приложения, место хранения онтологий, язык программного обеспечения, интерфейс пользователя, доступность.**

**Дополнительные возможности.** К ним относят поддержку языка запросов, анализ целостности, использование механизма логического вывода, поддержку удалённого доступа через Интернет, документирование.

Известны три группы инструментальных средств (ИнС) онтологического инжиниринга [5]. К первой группе относят инструменты создания онтологий, которые предполагают поддержку совместной разработки и просмотра, создание онтологий в соответствии с заданной

(произвольной) методологией, поддержку рассуждений. Ко второй группе относят инструменты объединения, отображения и выравнивания онтологий.

Объединение предполагает нахождение сходств и различий между исходными онтологиями и создание результирующей онтологии, которая содержит элементы исходных онтологий. Для этого ИнС автоматически определяют соответствия между концептами или обеспечивают графическую среду, в которой пользователь сам находит эти соответствия.

Процедура отображения заключается в нахождении семантических связей разных онтологий.

Процедура выравнивания онтологий устанавливает различные виды соответствия между двумя онтологиями, информация которых сохраняется для дальнейшего использования в приложениях пользователя [6].

К третьей группе относят инструменты для аннотирования Web-ресурсов на основе онтологий.

Содержательный обзор известных инструментов инженерии онтологий, в котором рассмотрены основные функции и возможности ИнС, их достоинства, недостатки, сравнительный анализ и описание известных доступных онторедакторов также приведен в [5, 7, 8, 9].

Общими недостатками известных инструментальных средств являются:

- отсутствие процедур автоматического (автоматизированного) формирования компонент онтологии;

- англоязычный интерфейс с пользователем, в котором (для большинства ИнС) не предусмотрено присвоение имён компонентам онтологии на русском или украинском языке;

- структуризация концептов выполняется только по одному типу отношений;

- для большинства общедоступных ИнС не предусмотрена работа с большими по объёму онтологиями (например, для OntoEditFree – до 50 концептов);

- большинство инструментов хранит свои онтологии в текстовых файлах, что ограничивает скорость доступа к онтологиям;

- задекларированные функциональные возможности для общедоступных инструментов зачастую так и остаются нереализованными;

- недостаток информации для пользователей в инструкциях.

Обобщённая архитектурно-структурная организация инструментальных средств систем извлечения информации из текстов. Извлечение информации (Information Extraction) [1] — это подход, который позволяет сузить круг задач, требующих специфического предметно-ориентированного решения при анализе текста. В рамках этого подхода задача обработки текста ограничена распознаванием множества классов

ключевых понятий конкретной предметной области и игнорированием всякой другой информации.

Несмотря на то, что системы извлечения информации могут строиться для выполнения различных задач, подчас сильно отличающихся друг от друга, существует компоненты, которые можно выделить практически в каждой системе.

В состав почти каждой системы извлечения информации входят четыре основных компонента (рис. 1), а именно: компонент разбиения на лексемы, некоторый тип лексического или морфологического анализа, синтаксический анализ (микро- и макроуровень), модуль извлечения информации и модуль для анализа на уровне конкретной предметной области. В зависимости от требований к конкретному программному продукту, в приведённую выше схему добавляют дополнительные модули анализа (специальная обработка составных слов; устранение омонимии; выделение составных типов, которое может также быть реализовано на языке правил извлечения информации; объединение частичных результатов).

Разбиение на слова при анализе европейских языков не является проблемой, поскольку слова отделяются друг от друга пробелом (или знаками препинания). Тем не менее, для обработки составных слов, аббревиатур, буквенно-цифровых комплексов и ряда других особых случаев требуются специфические алгоритмы. С границами предложений, как правило, тоже больших проблем не возникает. Однако при анализе таких языков, как японский или китайский, определение границ слова на основе орфографии невозможно. По этой причине системы извлечения информации, работающие с такими языками, должны быть дополнены модулем сегментирования текста на слова.

В некоторые системы наряду с обычными средствами лексического и морфологического анализа могут быть включены модули для определения и категоризации атрибутов частей речи, смысловых нагрузок слов, имен или других нетривиальных лексических единиц.

Специализированная оболочка интеллектуальной системы для сложно-структурированных предметных областей (Артемьева И.Л.)

Универсальные и специализированные оболочки являются средством, упрощающим процесс создания интеллектуальной системы. Универсальные оболочки основаны на использовании некоторого универсального языка представления знаний. В специализированных оболочках при представлении знаний используется специфичная для предметной области схема, определяемая онтологией той области, для которой создается оболочка, что позволяет создавать базу знаний эксперту предметной области без участия посредника, которым является инженер знаний.

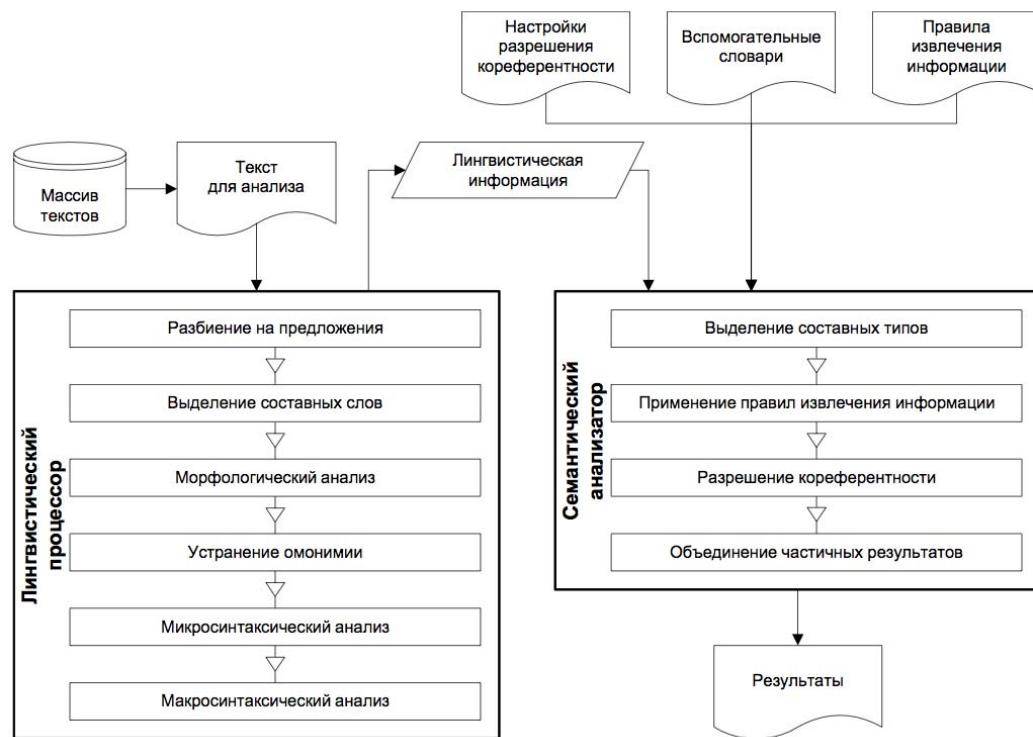


Рис. 1. Обобщённая архитектурно-структурная организация систем извлечения информации из текстов

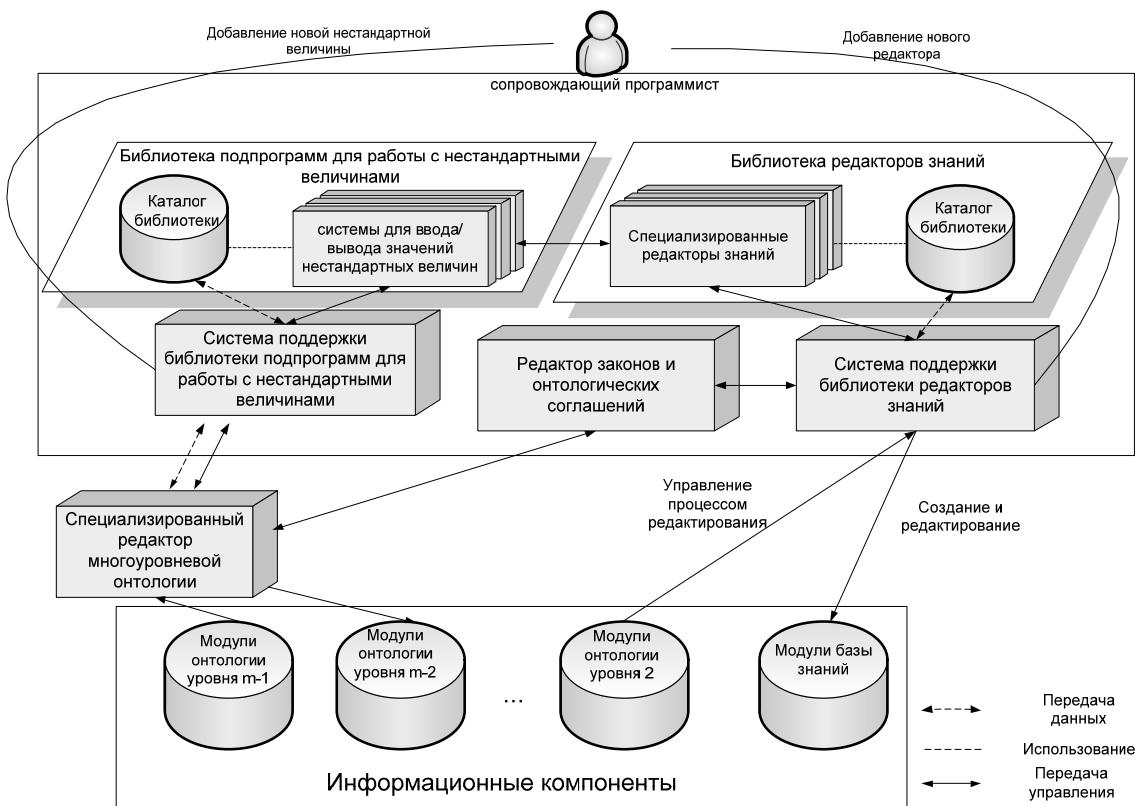


Рис. 2. Состав редакторов информационных компонент

В сложно-структурных предметных областях, связанных с наукой, могут изменяться не только знания, но онтологии, и, как следствие, множество классов решаемых задач. Однако методы создания специализированных оболочек не учитывают данных свойств сложно-структурных предметных областей. Целью данной работы является описание особенностей специализированных оболочек интеллектуальных систем для сложно-структурных предметных областей.

Информационными компонентами специализированной оболочки для сложно-структурной ПО [11] являются многоуровневая модульная онтология и модульная база знаний. Создание и редактирование информационных компонент осуществляется многоуровневым редактором онтологий и редактором знаний, разработка которых основывается на онтологии уровня n.

Редакторы многоуровневых онтологий и знаний должны позволять создание и редактирование модульных онтологий и знаний, а также обеспечивать возможность повторного использования модулей при создании онтологий и знаний новых разделов и подразделов области, причем процесс создания и редактирования модуля онтологии уровня i-1 должен управляться онтологией уровня i, а процесс создания и редактирования модуля знаний – онтологией уровня 2.

Редактор онтологии должен обеспечивать возможность выбора того из существующих модулей онтологии уровня i, который управляет процессом редактирования создаваемого модуля. Аналогично при редактировании модуля знаний должна обеспечиваться возможность выбора «управляющего» модуля онтологии уровня 2.

Редакторы онтологии и знаний должны обеспечивать возможность задания структурированной и неструктурной части онтологии, а также структурированной и неструктурной части знаний, т.е. программным компонентом этих редакторов должен быть специализированный редактор утверждений, позволяющий вводить онтологические соглашения и законы предметной области.

Редактор знаний должен обеспечивать возможность ввода/вывода значений нестандартных величин при редактировании знаний. Для значений нестандартных величин в предметной области может существовать способ их графического представления. Например, для химии [5] графически может быть задана краткая структурная формула или структурная формула химического соединения. Поэтому редактор знаний должен обеспечивать возможность использования принятого в предметной области графического способа представления значений нестандартных величин при создании и редактировании знаний. Величина,

которой принадлежит значение некоторого свойства, задается онтологией уровня 2. Поэтому редактор знаний должен обеспечивать автоматический выбор (управляемый онтологией уровня 2) средств для графического представления значений нестандартных величин при редактировании знаний.

Редактор онтологии интерпретирует онтологию уровня i при создании модуля онтологии уровня i-1. Редактор знаний интерпретирует онтологию уровня 2 при создании модуля знаний. Одна и та же онтология может интерпретироваться разными способами в разных редакторах знаний. Редакторы знаний могут отличаться не только способом интерпретации знаний, но и интерфейсом. Очевидно, что более удобный интерфейс и более понятный эксперту способ интерпретации можно обеспечить для редактора, предназначенного для интерпретации одной онтологии, а не класса онтологий. Поэтому специализированная оболочка должна позволять использование редакторов, поддерживающих разные способы интерпретации модуля онтологии уровня 2 и предоставлять возможность эксперту выбора требуемого ему редактора знаний.

Значения нестандартных величин используются не только при редактировании знаний, но также при вводе исходных данных задач. Графический способ задания исходных данных задач более удобен для специалиста предметной области, поскольку в этом случае отсутствует необходимость громоздкого вербального описания этих данных [5]. Графическое представление результатов решения является более наглядным способом представления. Поэтому оболочка должна обеспечивать возможность ввода/вывода значений нестандартных величин при задании исходных данных задач, а также позволять использование принятого в предметной области графического способа представления значений нестандартных величин при вводе исходных данных задач и выводе результатов их решения.

Как уже отмечалось, величина, которой принадлежит значение некоторого свойства, задается онтологией уровня 2. Оболочка должна обеспечивать автоматический выбор (управляемый онтологией) средств для графического представления значений нестандартных величин при задании исходных данных задач.

Каждый раздел сложно-структурированной ПО характеризуется своим множеством классов прикладных задач, причем разные множества могут содержать как общие классы задач, так и специфичные для раздела. Решатель задач может быть предназначен для решения классов задач одного раздела (в этом случае он использует онтологию и знания этого раздела), либо разных разделов (в этом случае он может использовать разные онтологии и знания). В первом случае используемая решателем онтология определяется

классом задач. Во втором случае требуется дополнительное указание, какие онтологии и знания должны использоваться в процессе решения. Специализированная оболочка интеллектуальных систем для сложно-структурированной предметной области должна обеспечивать возможность решения задач разных классов, причем пользователь должен иметь возможность указания модуля онтологии и модуля знаний, которые надо использовать при решении задач.

Таким образом, специализированная оболочка должна содержать расширяемые библиотеки систем для решения задач разных классов, системы автоматического построения методов решения задач по их спецификации (рис. 3). Метод решения задач может быть представлен либо в виде алгоритма, либо в виде множества правил системы продукции. В первом случае для создания решателя задач используется процессор алгоритмического языка, во втором случае – процессор языка, основанного на правилах, который является одним из программных компонент специализированной оболочки.

Специализированная система обработки текстовых документов "ЛоТА" (Невзорова О.А.)

Специализированная система обработки текстовых документов "ЛоТА" [8] является

системой класса Text Mining. Система предназначена для анализа специализированных текстов "Логика работы", описывающих логику работы сложной технической системы в различных режимах функционирования. Основной задачей анализа является извлечение из данных текстов информационной модели алгоритмов, решающих определенную задачу в определенной проблемной ситуации, и контроль структурной и информационной целостности выделенной схемы алгоритмов.

Информационная модель алгоритма включает:

- описание входного информационного потока (типы информационных сигналов или семантическое описание информационного потока с указанием источника информации - конкретный алгоритм, конкретное измерительное устройство);
- описание процессов преобразования входных данных в выходные (допустимый способ разрешения проблемы);
- описание выходного информационного потока (типы информационных сигналов или семантическое описание информационного потока с указанием точки приема информации).

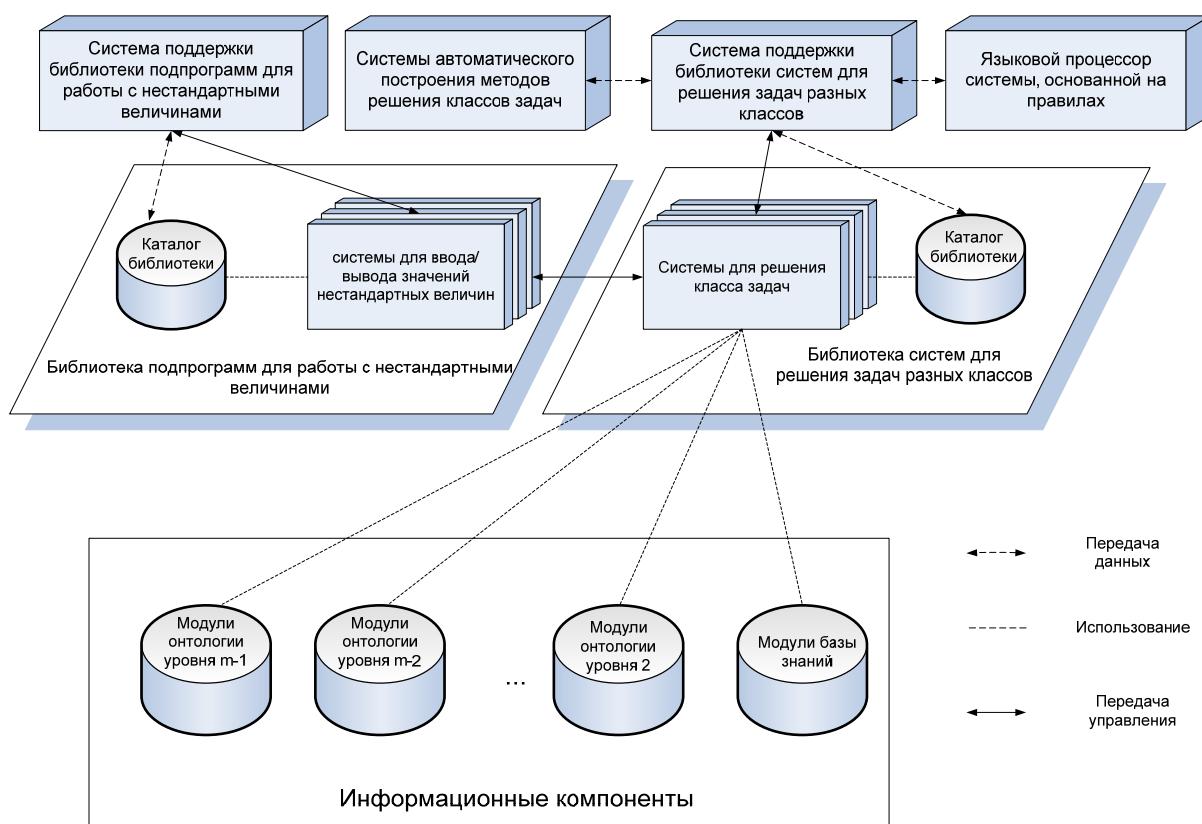


Рис. 3. Системы для решения задач и средства их разработки

Решение основной задачи обеспечивается комплексом технологий обработки текстов, включающих:

- технологии морфосинтаксического анализа;
- технологии семантико-синтаксического анализа;
- технологии взаимодействия с прикладной онтологией.

Указанная сумма технологий формируется на основе центрального ядра – прикладной онтологии (в дальнейшем, авиаонтология), обеспечивающей согласованное взаимодействие различных программных модулей. Авиаонтология концептуально описывает предметную область информационного обеспечения различных полетных режимов антропоцентрических систем [2]. Авиаонтология представляет собой сеть понятий предметной области. Текущий размер онтологии – свыше 1600 понятий (около 5000 текстовых входов понятий). Авиаонтология относится к классу лингвистических (лексических) онтологий и предназначена для встраивания в различные лингвистические приложения.

Программный комплекс состоит из трех взаимодействующих подсистем: подсистемы лингвистического анализа технических текстов "Анализатор", подсистемы ведения онтологии "OntoEditor+" и подсистемы "Интегратор". Взаимодействие подсистем реализовано на базе технологии "клиент-сервер", причем в различных подзадачах подсистемы выступают в различных режимах (режим сервера или режим клиента).

Инструментальная система визуального проектирования "OntoEditor+" [5] является специализированной СУБД. Система предназначена для ручного редактирования онтологий, хранящихся в реляционной базе данных в формате TPS, а также обслуживания запросов пользователей и внешних программ. Новые возможности системы обеспечиваются функциональным набором "Лингвистический инструментарий", посредством которого реализуется встраивание прикладной онтологии в лингвистические приложения. Наиболее типичными задачами, решаемыми с помощью инструментария системы "OntoEditor+", являются: изучение структурных свойств прикладной онтологии с помощью исследовательского инструментария системы "OntoEditor+"; построение лингвистической оболочки прикладной онтологии; задача покрытия текста онтологическими входами; построение выводов по прикладной онтологии и др.

Подсистема "Анализатор" реализует основные этапы лингвистической обработки текста (графематический, морфосинтаксический и частичный синтаксический анализ). В статье будет рассмотрена интегральная технология разрешения многозначности, которая ориентирована прежде всего на разрешение функциональной, морфологической и лексической омонимии.

Подсистема "Интегратор" исполняет внешний запрос на извлечение знаний из текста. Структура внешнего запроса содержит компоненты информационной модели алгоритма. Внешний запрос интерпретируется при взаимодействии с подсистемой "OntoEditor+" как структура, привязанная к прикладной онтологии. Выделение компонент информационной модели происходит на основе механизмов отождествления элементов дерева сегментов входного текста (взаимодействие с подсистемой "Анализатор") и элементов структуры запроса (взаимодействие с подсистемой "OntoEditor+").

Инструментальная система визуального проектирования онтологий "OntoEditor+" включает:

- лингвистический инструментарий (задачи корпусного исследования (загрузка корпуса; сегментация на предложения; автоматическое ведение статистики по различным объектам корпуса), построение лингвистической оболочки онтологии, задача покрытия текста онтологическими входами, построение выводов по онтологии, поддержка протоколов информационного обмена системы "OntoEditor+" с внешними программными модулями, в том числе с внешними информационными ресурсами);

- исследовательский инструментарий;

Основные функции подсистемы "Анализатор":

- графематический анализ
- морфосинтаксический анализ
- покрытие текста онтологическими входами (взаимодействие с системой «OntoEditor+»)

Основные функции подсистемы "Интегратор":

- анализ и исполнение внешнего запроса (информационная модель алгоритма)

- интерпретация внешнего запроса в терминах прикладной онтологии (взаимодействие с системой «OntoEditor+»)

- интерпретация внешнего запроса в структурных компонентах дерева сегментов (взаимодействие с системой «Анализатор»)

- контроль информационной целостности (анализ компонент внешнего запроса).

Метод контекстного разрешения омонимии является базовым методом в интегральной технологии разрешения омонимии в системе "ЛоТА". Однако, практические задачи системы выявили ряд важных аспектов лингвистического анализа, которые стимулировали развитие новых методов разрешения многозначности.

Интегральная технология разрешения многозначности, разрабатываемая в системе "ЛоТА" включает следующие методы:

- метод контекстного разрешения функциональной омонимии;

- метод разрешения функциональной, грамматической и лексической омонимии на основе индексируемой базы устойчивых коллокаций;

- метод разрешения функциональной, грамматической и лексической омонимии на основе лингвистической оболочки онтологии.

Для эффективного встраивания в лингвистические приложения система "OntoEditor+" поддерживает группу протоколов информационного обмена с внешними словарными базами данных, обеспечивая работу в режиме клиент-сервер. Разрешение многозначности (функциональной, морфологической и лексической) во входных текстах происходит на основе механизма распознавания контекстов омонимов, зафиксированных в индексируемой базе контекстов.

Разработаны три основных механизма пополнения индексируемой базы контекстов функциональных омонимов:

- ручной ввод и редактирование данных по типовым контекстам омонимов;
- импорт типовых контекстов омонимов из текстового файла, подготовленного в специальном формате представления данных;
- импорт типовых контекстов омонимов, обнаруженных специальными механизмами поиска подсистемы "Анализатор".

Данный механизм организован как запрос к подсистеме "Анализатор" с передачей ему от подсистемы "OntoEditor+" текстового корпуса, по которому проводится поиск. В процессе обработки подсистема "Анализатор" передает подсистеме "OntoEditor+" информацию об обнаруженных контекстах омонимов, которая записывается либо в индекс омонимов либо в автоматическом режиме, либо в режиме диалога с оператором. Отличительной особенностью режима диалога является режим самообучения, который реализуется с использованием механизма журнала событий. В данном журнале в зависимости от его настройки фиксируются те или иные важные события в системе, например, изменение информации в индексе омонимов или операции взаимодействия с подсистемой "Анализатор". В режиме самообучения сохраняется и контролируется последовательность ранее сгенерированных диалогов, что обеспечивает генерацию только уникальных диалогов на разрешение омонимии без повторений.

Лингвистический инструментарий подсистемы "OntoEditor+" обеспечивает встраивание онтологии в различные приложения, связанные с обработкой текстов. Лингвистический инструментарий реализует функции загрузки корпуса текстов; автоматическое ведение статистики по различным объектам корпуса; функции предсинтаксической обработки текста (сегментация предложений, распознавание аббревиатур, разрешение омонимии на основе специальных протоколов взаимодействия с внешними словарными ресурсами); построение лингвистической оболочки онтологии; распознавание терминов прикладной онтологии во

входном тексте (задача покрытия). Сопряжение онтологического и лингвистического (грамматического) ресурсов реализуется через механизмы лингвистической оболочки онтологии. Лингвистическая оболочка онтологии создается с помощью разработанного программного инструментария, посредством которого фиксируется грамматическая информация об онтологических концептах и их текстовых формах. Каждый онтологический вход (как правило, многословный термин) снабжается соответствующей грамматической информацией, при этом для омонима разрешается соответствующая (функциональная, лексическая, морфологическая) омонимия. Грамматическая информация передается в подсистему "OntoEditor+" от подсистемы "Анализатор" на основе специальных протоколов взаимодействия. Разрешение лексической, функциональной и морфологической омонимии выполняется на основе специальных диалогов с экспертом-лингвистом. Отдельные процедуры реализуют проверки словоформ в составе терминологического входа на согласованность их грамматических характеристик, также осуществляется контроль достоверности словарной информации. Контроль достоверности обеспечивает отслеживание изменений, как в составе грамматического словаря, так и в составе онтологии. Учитывая сложность и многоступенчатость вышеперечисленных процедур, в подсистеме "OntoEditor+" разработан мастер построения лингвистической оболочки, который вызывается командой основного меню.

Подсистема "Анализатор" обеспечивает реализацию метода разрешения омонимии на основе контекстных правил, т.е. фактически используются лингвистические знания системы. Этот метод является универсальным, не зависит от специфики предметной области и обеспечивает в текущей версии точность распознавания не ниже 95%. Однако, для данного метода существуют крайне сложные типы функциональной омонимии, например, тип "частица/союз". Разрешение данной омонимии возможно во многих случаях лишь после завершения полного синтаксического анализа.

Взаимодействие подсистемы "OntoEditor+" и подсистемы "Анализатор" осуществляется на основе специальных протоколов взаимодействия. При применении интегральной технологии разрешение многозначности происходит в два этапа. На первом этапе подсистема "Анализатор" (клиент) передает запрос на разрешение омонимии входного текста подсистеме "OntoEditor+" (сервер). Подсистема "OntoEditor+" возвращает подсистеме "Анализатор" информацию о разрешенных омонимах на основе своих методов. На втором этапе подсистема "Анализатор" разрешает омонимию оставшихся неразрешенных омонимов на основе метода контекстных правил.

Интегральная технология разрешения многозначности эффективно применяется на этапе предсинтаксического анализа в системе "ЛоТА". По существу, интегральная технология представляет собой сочетание инженерного и лингвистического подхода к решению поставленной задачи. В основе проектирования интегральной технологии лежат процессы скоординированного взаимодействия различных языковых уровней, прежде всего онтологического уровня (обеспечивающего системные модели знаний о мире) и различных языковых уровней (морфологического и синтаксического). В системе реализован эффективный механизм взаимодействия различных подсистем, обеспечивающих реализацию различных методов в составе интегральной технологии.

Интеллектуальная система извлечения данных и их Анализа(на основе текстов) ИСИДА-Т.

Целью ИСИДА-Т [10, 11], является извлечение значимой информации определенного типа из (больших массивов) текста для дальнейшей аналитической обработки. Результатом работы систем является получение структурированных данных и отношений на них.

Основные компоненты ИСИДА-Т:

- Инфраструктурные службы (конфигурирование, параллельная обработка, взаимодействие модулей);
- Лингвистический процессор;
- Модули работы со знаниями ПдО;
- Интерпретатор правил извлечения информации;

Разработанные в рамках проекта Исида-Т технологии, инструменты и продукты позволяют:

- обнаруживать в электронных документах, извлекать и структурировать информацию о представляющих интерес фактах, событиях, объектах и отношениях;
- выполнять мониторинг сайтов в сети Интернет на предмет появления там значимой для пользователя информации.

Основные рабочие характеристики технологии и продуктов:

- поддержка русского языка;
- быстрая настройка на предметную область при помощи эффективных инструментальных средств;
- высокая точность и полнота анализа за счет использования предметных знаний;
- наличие встроенных средств визуализации результатов анализа в виде диаграмм и схем;
- легкая интегрируемость в другие информационные системы на любом уровне (программный или сетевой интерфейс, БД);
- функционирование под управлением ОС Windows и большинства Linux-систем;
- близкая к линейной масштабируемость при параллельной архитектуре анализа. Возможность работы на вычислительных машинах кластерного типа.

Некоторые области применения технологий семантического анализа и структурирования текстовой информации:

- информационная поддержка бизнеса (business intelligence) и управление знаниями (knowledge management);
- маркетинговые исследования;
- финансовая аналитика;
- военная и коммерческая разведка и мониторинг;
- информационная поддержка органов государственной власти (в рамках направления "Электронное правительство");
- работа библиотек, издательств и СМИ.

Рассмотрим общую организацию инфраструктуру системы ИСИДА-Т. Краеугольным камнем системы ИСИДА-Т является точная настройка на предметную область и конкретную задачу извлечения. С одной стороны, это достигается за счет редактирования лингвистических ресурсов, ресурсов знаний, правил извлечения и правил трансформации. С другой стороны, настройка может потребовать включения в процесс обработки дополнительных специализированных методов обработки текста. Кроме того, для каждой задачи необходимо подобрать наиболее подходящие алгоритмические средства анализа из набора имеющихся. Эти аспекты требуют создания такой архитектуры, при которой легко могут добавляться и замещаться алгоритмические компоненты процесса извлечения.

Проблема конфигурирования на алгоритмическом уровне потребовала создания модульной архитектуры и декларативного подхода к определению процесса извлечения. Модули получили название обрабатывающих ресурсов в противовес лингвистическим ресурсам и ресурсам знаний. В конфигурации декларируется порядок обработки документа аналитическими модулями, потоки данных между ними, а также параметры их работы.

Обрабатывающие ресурсы можно разделить на следующие группы.

- Ресурсы предобработки. Сюда относятся средства определения кодировки документа, извлечения текста и стилевой разметки из документа, предварительной фильтрации.

- Ресурсы лингвистического анализа. Осуществляют разбор текста на отдельные слова, морфологический анализ (в том числе специализированные варианты для различных категорий имен собственных), поверхностный синтаксический анализ и определение границ предложений.

- Ресурсы извлечения. Осуществляют поиск в документе целевой лексики и синтаксических конструкций, а также первичное структурирование информации.

– Ресурсы унификации знаний и вывода. Осуществляют унификацию и отождествление элементов знаний, вывод производных знаний.

– Ресурсы подготовки результата. Осуществляют приведение извлеченной информации к определенному формату и передачу за пределы последовательности обработки (в БД, глобальный ресурс знаний, файл, приложение).

В системе ИСИДА-Т все модули, в том числе средства общего лингвистического анализа, используют структуру данных – аннотация. Аннотация — объект, который приписывается фрагменту текста (например, слову, словосочетанию, предложению, ссылке на сущность предметной области и т.д.) и описывает свойства этого фрагмента. Аннотации разбиты на конечное множество классов. Каждый класс аннотаций описывает текст в определенном аспекте. Информация о фрагменте представлена значениями именованных атрибутов аннотации. Наборы классов и атрибутов аннотаций намеренно не специфицированы, чтобы можно было использовать произвольный набор обрабатывающих модулей и представлять необходимую лингвистическую и предметную информацию. Обмен данными между модулями тоже идет в терминах аннотаций: новые аннотации могут строиться на основании полученных на предыдущих этапах анализа [5]. В реализации системы ИСИДА-Т модель аннотаций была дополнена некоторыми полезными средствами. В частности, было снято ограничение на атомарность атрибутов и добавлена возможность устанавливать ссылки между аннотациями.

Для распознавания текстовых ситуаций используется набор правил, описывающих характерные для конкретной задачи способы выражения ситуации в тексте. Эти правила задают образец для сопоставления и действия, которые должны быть произведены после успешного сопоставления. Ряд современных систем извлечения информации (в том числе, система ИСИДА-Т) берут за основу различные диалекты языка CPSL [6]. Использование этого языка подразумевает разметку текста при помощи аннотаций.

Язык правил, используемый в системе ИСИДА-Т, является расширением CPSL. Предлагаемые расширения преследуют две цели: 1) обеспечить возможность описывать более сложные контексты, в которых встречается целевая информация, и 2) снизить объем рутинной работы при создании системы правил за счет более компактного описания контекста [2].

Отличия от других реализаций, например, JAPE [7] или диалекта CPSL состоят в следующем.

– Реализована встроенная поддержка расширенного спектра типов данных, в том числе, ссылок на аннотации и множественных значений. Данные этих типов могут использоваться в качестве

значений переменных и значений атрибутов аннотаций.

– Логика работы интерпретатора правил приведена в максимальное соответствие поведению интерпретатора обычных регулярных выражений. Отличия от современной реализации JAPE и Montreal transducer [8] заключаются в поддержке «жадных» и «нежадных» квантификаторов и опережающей проверки.

– Поддерживаются кванторы существования (по умолчанию) и всеобщности, связывающие элементарные тесты. К кванторам может добавляться отрицание.

– Существуют языковые средства, позволяющие гибко проверять взаимное расположение аннотаций, рассматриваемых в контексте сопоставления, и прочих аннотаций во входной коллекции.

– В тестах могут использоваться функции для обращения к ресурсу знаний, например, проверки таксономической принадлежности элементов. Для более сложных запросов к ресурсу знаний используется предметно-ориентированный язык, совпадающий с языком описания левой части правил трансформации.

– Для передачи информации между элементарными тестами, а также в правую часть правил могут использоваться именованные переменные, значения которых присваиваются явно в ходе сопоставления. Множество значений переменных входит в контекст сопоставления.

– Инstrumentальное средство проектирования онтологий Protégé

Protégé [12] – локальная, свободно распространяемая Java-программа, разработанная группой медицинской информатики Стэнфордского университета. Программа предназначена для построения (создания, редактирования и просмотра) онтологий прикладной области. Её первоначальная цель – помочь разработчикам программного обеспечения в создании и поддержке явных моделей предметной области и включение этих моделей непосредственно в программный код. Protégé включает редактор онтологий, позволяющий проектировать онтологии разворачивая иерархическую структуру абстрактных или конкретных классов и слотов. Структура онтологий сделана аналогично иерархической структуре каталога. На основе сформированной онтологии, Protégé может генерировать формы получения знаний для введения экземпляров классов и подклассов. Инструмент имеет графический интерфейс, удобный для использования неопытными пользователями, снабжен справками и примерами.

Protégé основан на фреймовой модели представления знания OKBC (Open Knowledge Base Connectivity) [12] и снабжен рядом плагинов, что позволяет его адаптировать для редактирования

моделей хранимых в разных форматах (стандартный текстовый, в базе данных JDBC, UML, языков XML, XOL, SHOE, RDF и RDFS, DAML+OIL, OWL).

#### Используемые формализмы и форматы

Изначально единственной моделью знаний, поддерживаемой Protégé, была фреймовая модель. Этот формализм сейчас является "родным" для редактора, но не единственным.

Protégé имеет открытую, легко расширяемую архитектуру и помимо фреймов поддерживает все наиболее распространенные языки представления знаний (SHOE, XOL, DAML+OIL, RDF/RDFS, OWL). Protégé поддерживает модули расширения функциональности (plug-in). Расширять Protégé для использования нового языка проще, чем создавать редактор этого языка "с нуля".

Protégé основан на модели представления знаний OKBC (Open Knowledge Base Connectivity). Основными элементами являются классы, экземпляры, слоты (представляющие свойства классов и экземпляров) и фасеты (задающие дополнительную информацию о слотах).

#### Пользовательский интерфейс

Пользовательский интерфейс состоит из главного меню и нескольких вкладок для редактирования различных частей базы знаний и ее структуры. Набор и названия вкладок зависят от типа проекта (языка представления) и могут быть настроены вручную. Обычно имеются следующие основные вкладки: Классы, Слоты (или Свойства для OWL), Экземпляры, Метаданные.

#### Инструментальный комплекс автоматизированного построения онтологий ПдО

Инструментальный комплекс онтологического назначения для автоматизированного построения онтологий в произвольной предметной области [1] является системой, реализующей одно из направлений комплексных технологий Data & Text Mining, а именно – анализ и обработку больших объемов неструктурированных данных, в частности лингвистических корпусов текстов на украинском и/или русском языке, извлечение из них предметных знаний с последующим их представлением в виде системно-онтологической структуры или онтологии предметной области. ИКОН предназначен для реализации множества компонентов единой информационной технологии:

- поиск в сети Internet и/или в других электронных коллекциях (ЭлК) текстовых документов (ТД), релевантных заданной ПдО, их индексацию и сохранение в базе данных;
- автоматическая обработка естественноязыковых текстов (Natural Language Processing);
- извлечение из множества ТД знаний, релевантных заданной ПдО, их системно-онтологическая структуризация и формально-логическое представление на одном (или нескольких) из общепринятых языков описания онтологий (Knowledge Representation). Кроме того, внутри этой технологии реализуется процедура построения,

визуализации и проверки семантических структур синтаксических единиц ТД и понятийных структур заданной ПдО в виде несильно связанного онтографа, названного начальной онтологией ПдО (НО ПдО);

- создание, накопление и использование больших структур онтологических знаний в соответствующих библиотеках;

- системная интеграция онтологических знаний как одна из основных компонент методологии междисциплинарных научных исследований;

- другие процедуры, связанные с автоматизацией приобретения знаний из множества естественно-языковых объектов.

ИКОН состоит из трёх подсистем и представляет собой интеграцию разного рода информационных ресурсов (ИР), программно-аппаратных средств обработки и процедур естественного интеллекта (ЕИ), которые, взаимодействуя между собой, реализуют совокупность алгоритмов автоматизированного, итерационного построения понятийных структур предметных знаний, их накопления и/или системной интеграции. Обобщённая блок-схема ИКОН представлена на рис. 4.

Подсистема Информационный ресурс включает блоки формирования лингвистического корпуса текстов, баз данных языковых структур и библиотек понятийных структур. Первый компонент представляет собой различные источники текстовой информации, поступающей на обработку в систему. Второй компонент представляет собой различные базы данных обработки языковых структур, часть из которых формируется (наполняется данными) в процессе обработки ТД, а другая часть формируется до процесса построения О ПдО и, по сути, является ЭлК различных словарей. Третий компонент представляет собой совокупность библиотек понятийных структур разного уровня представления (от наборов терминов и понятий до высокоинтегрированной онтологической структуры междисциплинарных знаний) и является результатом реализации некоторого проекта (проектирования онтологии ПдО и/или системной интеграции онтологий).

Подсистема Программно-аппаратные средства включает блоки обработки языковых и понятийных структур и управляющую графическую оболочку (УГО). Последняя, во взаимодействии с инженером по знаниям, осуществляет общее управление процессом реализации связанных информационных технологий.

Подсистема Естественный интеллект осуществляет подготовку и реализацию процедур предварительного этапа проектирования, а на протяжении всего процесса осуществляет контроль и проверку результатов выполнения этапов проектирования, принимает решение о степени их

завершённости (и в случае необходимости – повторении некоторых из них).

Результаты системного анализа приведены в таблице.

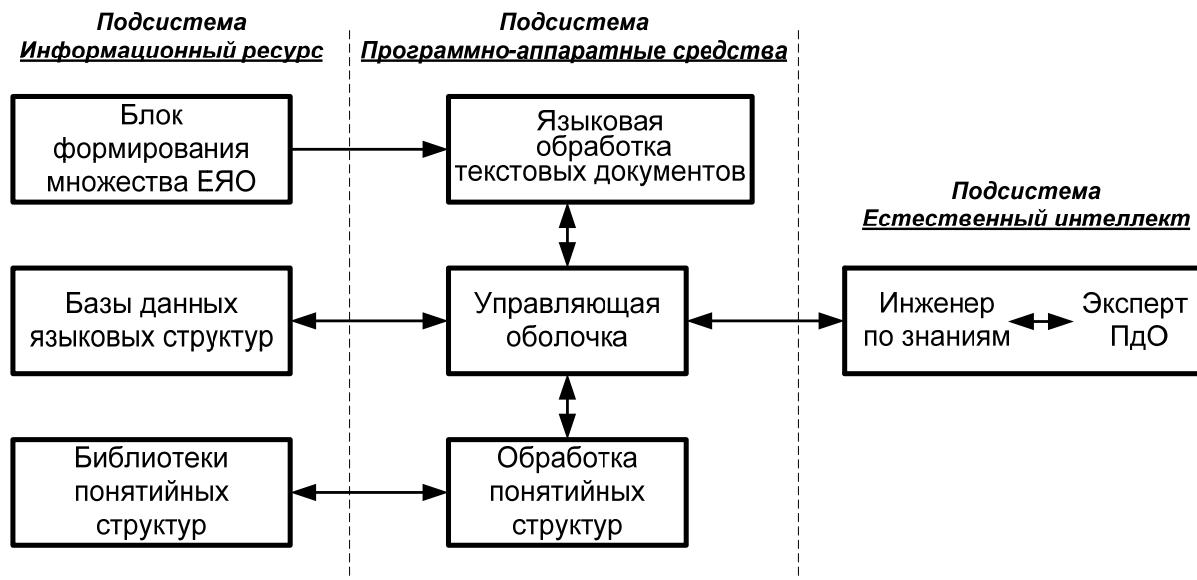


Рис. 4. Обобщённая блок-схема ИКОН

## Таблица

## **Результаты системного анализа инструментальных средств инженерии онтологий**

*Продовження табл.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система интеграции онтологий	+	-		-	+	-	-	+	+
Система поиска ТД (Поиск ТД во внешних и внутренних информационных ресурсах)	+	-		-	-	+			-
Визуальное проектирование, редактирование онтологических структур	+	+		+	+	+		+	+
Автоматизированное построение онтологии ПдО	+-	-		-	-	-		-	-
Ручное построение онтологии ПдО	+	-		+	+	+		+	+
Автоматический лингвистический анализ ТД, описывающих заданную ПдО (синтаксико-семантический, морфо-синтаксический анализ)	+	+		+	-	-		-	-
Формально-логическое представления и интеграция онтологических структур в онтологическую базу знаний ПдО	+	+		+	+	+		+	+
Хранение и управление электронными коллекциями энциклопедических и толковых словарей, тезаурусов	+	+		+	-	+		-	-
Лингвистический корпус текстов (ЛКТ) (База данных ТД)	+	+		+	-	-		+	-
Эксперт ПдО	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Инженер по знаниям	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Интероперабельность									
Конвертация файлов описания онтологий	+	-	-	-	+	KIF, Prolog, Ontolingua LOOM, CLIPS, IDL	Экспорт в OWL	Импорт из UML 2.0, Database schemas (Oracle, MySQL), Excel tables,	Импорт из OXML, RDF(S) DAML+O IL, FLogic Экспорт в OXML, RDF(S)
Интеграция с другими инструментальными средствами	Protégé	?	?	?	Возможна по средствам плагинов	OKBC, Chimaera		Protégé	OntoAnnotate, OntoMat, Semantic-Miner
Интеграция с базой знаний WolframAlpha	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Интеграция с Google, Bing		-	-	-	-	-	-	-	-
Параллельная обработка данных	+	-	-	+	-	-	-	-	-

### Л и т е р а т у р а

1. Палагин А. В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний / А.В. Палагин, С. Л. Крывый, Н.Г. Петренко. – [монография] – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 323 с.
2. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. // Учебник для вузов. – СПб, Изд-во “Питер”, 2000. – 384 с.
3. Палагин А. В. Системно-онтологический анализ предметной области / Палагин А. В., Петренко Н. Г. // УСиМ. – 2009. – № 4. – С. 3 – 14.
4. Палагин А. В. К анализу естественно-языковых объектов / Палагин А. В., Крывый С. Л., Величко В. Ю., Петренко Н. Г. // "Intelligent Processing" International Book Series "INFORMATION SCIENCE & COMPUTING", Number 9, Supplement to the International Journal "INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE". – V. 3. – 2009. – pp. 36 – 43.
5. Овдєй О. М. Обзор инструментов инженерии онтологий / О. М. Овдєй, Г. Ю. Прокудина. – Российский научный электронный журнал «Электронные библиотеки» [Электронный ресурс]. – 2004. – т. 7. – Вып. 4. – Режим доступа : <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op>.
6. Noy N. SMART: Automated Support for Ontology Merging and Alignment / N. Noy, M. Musen. – Stanford Medical Informatics, Stanford Univ [Электронный ресурс]. – 1999. – 24 р. – Режим доступа: <http://ais-portal.ru/2009/03>.
7. Филатов В. А. Разработка высокоэффективных средств создания и обработки онтологических баз знаний / Филатов В. А., Щербак С. С., Хайрова А. А. // Системи обробки інформації [Электронный ресурс]. – Вип. 8 (66), 2007. – С. 120 – 124. – Режим доступа: [www.nbuu.gov.ua/portal/natural/soi/2007\\_8/Filatov.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/soi/2007_8/Filatov.pdf).
8. Невзорова О. А. Система анализа технических текстов "ЛоТА": основные концепции и проектные решения / Невзорова О. А., Федунов Б. Е. // Изв. РАН. Теория и системы управления . – 2001. – № 3. – С. 138 – 149.
9. Артемьева И. Л. Интеллектуальная система, основанная на многоуровневой онтологии химии / Артемьева И. Л., Рештаненко Н. В. // Программные продукты и системы. – 2008. – № 1. – С. 84 – 87.
10. Кормалев Д. А. Развитие языка правил извлечения информации в системе ИСИДА-Т / Кормалев Д. А., Куршев Е. П. // Труды международной конференции «Программные системы: теория и приложения». – Т. 2. – М. : Физматлит. – 2006. – С. 365 – 377.
11. Киселев С. Л. Поиск фактов в тексте естественного языка на основе сетевых описаний / Киселев С. Л., Ермаков А. Е., Плещко В. В. // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: труды Международной конференции Диалог'2004. – М. : Наука. – 2004.
12. OKBC: A Programmatic Foundation for Knowledge Base Interoperability / V. Chaudhri, A. Farquhar, R. Fikes P. Karp J. Rice // Fifteenth National Conf. on Artificial Intelligence. AAAIPres [Электронный ресурс]. – The MIT Press, Madison. – Р. 600 – 607. – Режим доступа : [1998.http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/index.html](http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/index.html).

### R e f e r e n c e s

1. Palagin A. V. Ontologicheskie metody i sredstva obrabotki predmetnyh znanij / A.V. Palagin, S. L. Kryvyj, N.G. Petrenko. – [monografija] – Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dalja, 2012. – 323 s.
2. Gavrilova T. A. Bazy znanij intellektual'nyh sistem / Gavrilova T. A., Horoshevskij V. F. // Uchebnik dlja vuzov. – SPb, Izd-vo “Piter”, 2000. – 384 s.
3. Palagin A. V. Sistemno-ontologicheskij analiz predmetnoj oblasti / Palagin A. V., Petrenko N. G. // USiM. – 2009. – № 4. – S. 3 – 14.
4. Palagin A. V. K analizu estestvenno-jazykovyh ob#ektov / Palagin A. V., Kryvyj S. L., Velichko V. Ju., Petrenko N. G. // "Intelligent Processing" International Book Series "INFORMATION SCIENCE & COMPUTING", Number 9, Supplement to the International Journal "INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE". – V. 3. – 2009. – pp. 36 – 43.
5. Ovdej O. M. Obzor instrumentov inzhenerii ontologij / O. M. Ovdej, G. Ju. Proskudina. – Rossijskij nauchnyj jelektronnyj zhurnal «Jelektronnye biblioteki» [Jelektronnyj resurs]. – 2004. – t. 7. – Vyp. 4. – Rezhim dostupa : <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op>.
6. Noy N. SMART: Automated Support for Ontology Merging and Alignment / N. Noy, M. Musen. – Stanford Medical Informatics, Stanford Univ [Jelektronnyj resurs]. – 1999. – 24 p. – Rezhim dostupa: <http://ais-portal.ru/2009/03>.
7. Filatov V. A. Razrabotka vysokojeffektivnyh sredstv sozdaniya i obrabotki ontologicheskikh baz znanij / Filatov V. A., Shherbak S. S., Hajrova A. A. // Sistemi obrobki informacij [Jelektronnyj resurs]. – Vip. 8 (66), 2007. – S. 120 – 124. – Rezhim dostupa: [www.nbuu.gov.ua/portal/natural/soi/2007\\_8/Filatov.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/soi/2007_8/Filatov.pdf).
8. Nevzorova O. A. Sistema analiza tehnicheskikh tekstov "LoTA": osnovnye konsepcii i proektnye reshenija / Nevzorova O. A., Fedunov B. E. // Izv. RAN. Teoriya i sistemy upravlenija . – 2001. – № 3. – S. 138 – 149.
9. Artem'eva I. L. Intellektual'naja sistema, osnovannaja na mnogourovnevoj ontologii himii / Artem'eva I. L., Reshtanenko N. V. // Programmnye produkty i sistemy. – 2008. – № 1. – S. 84 – 87.
10. Kormalev D. A. Razvitiye jazyka pravil izvlechenija informacii v sisteme ISIDA-T / Kormalev D. A., Kurshev E. P. // Trudy mezhdunarodnoj konferencii «Programmnye sistemy: teoriya i prilozhenija». – T. 2. – M. : Fizmatlit. – 2006. – S. 365 – 377.
11. Kiselev S. L. Poisk faktov v tekste estestvennogo jazyka na osnove setevyh opisanij / Kiselev S. L., Ermakov A. E., Pleshko V. V. // Komp'juternaja lingvistika i intellektual'nye tehnologii: trudy Mezhdunarodnoj konferencii Dialog'2004. – M. : Nauka. – 2004.
12. OKBC: A Programmatic Foundation for Knowledge Base Interoperability / V. Chaudhri, A. Farquhar, R. Fikes P. Karp J. Rice // Fifteenth National Conf. on Artificial Intelligence. AAAIPres [Jelektronnyj resurs]. – The MIT Press, Madison. – Р. 600 – 607. – Rezhim dostupa : [1998.http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/index.html](http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/index.html).

**Малахов К.С., Семенков В.В. Аналіз комплексних інструментальних засобів інженерії онтологій**

У статті представлений огляд актуальних спеціалізованих інструментальних засобів інженерії онтологій (Інструментальний комплекс онтологічного призначення, Лота, SIMER+MIR, ICIDA-T, Protégé, Ontolingua, InTenz, OntoSTUDIO, OntoEdit) для побудови і об'єднання онтологій, а також засобів анотування на основі онтологій. Розглянуті основні функції і можливості цих інструментальних засобів, їх достоїнства і недоліки, а також даний системний порівняльний аналіз.

**Ключові слова:** онтологія, інструментальний комплекс онтологічного призначення, ІКОП, спеціалізований інструментальний засіб, інженерія знань, проектування дисципліни

**Malakhov K., Semenkov V. Analysis of the complex software systems for ontological engineering purpose**

The article presents an overview of current specialized ontology engineering tools (Tool Complex Ontological Destination, LoTA, SIMER+MIR, ICIDA-T, Protégé, Ontolingua, InTenz, OntoSTUDIO, OntoEdit) for the construction and integration of ontologies and annotation tools based on ontologies. The main features and capabilities of these tools, their advantages and disadvantages, as well as a comparative analysis of the data system.

**Key words:** ontology, Instrumental Complex Ontological Destination, ICON, custom tool, knowledge engineering, design discipline

**Семенков Віталій Васильович** – аспірант кафедри ІТС, Луганського національного університету ім. Тараса Шевченко; e-mail: semvitaliy@gmail.com

**Малахов Кирило Сергійович** – младший науковий співробітник, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України; e-mail: malahovkirill@gmail.com

Рецензент: **Данич В.М.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 27.05.14

УДК 681.3

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Мельников А. Ю., Кравченко К. В., Петренко А. А.

## THE DEVELOPMENT OF DATA MINING MODULE AT DISTANCE LEARNING SYSTEM

Melnikov A. Y., Kravchenko K. V., Petrenko A. A.

Рассмотрена проблема интеллектуального анализа данных системы дистанционного обучения. Описано функционирование одной существующих систем дистанционного обучения. Спроектирована на языке моделирования UML подсистема, состоящая из двух частей – модуля анализа активности пользователей и модуля анализа результатов тестирования. Описана программная реализация системы на языке Perl.

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ данных, дистанционное обучение, информационная модель, унифицированный язык моделирования UML, веб-сайт.

**Введение.** В настоящее время все большее распространение получает Data Mining – интеллектуальный анализ данных – технология, которая предназначена для поиска в больших объемах данных неочевидных, объективных и полезных на практике закономерностей [1]. Очевидно, что модуль для такого анализа может стать весьма полезным и неотъемлемым элементом любой информационной системы. Решение таких задач интеллектуального анализа данных, как классификация, кластеризация, прогнозирование позволит сделать процесс принятия любого решения более обоснованным.

Дистанционное обучение – одна из форм организации образовательного процесса, основанная на использовании новейших телекоммуникационных и информационных технологий, а также на принципах индивидуального обучения и самоконтроля. В настоящее время создано множество систем дистанционного обучения. Как правило, основным элементом любой из них является веб-сайт, позволяющий разграничить доступ к образовательным ресурсам и организовать, с одной стороны, управление содержанием (со стороны преподавателя), а с другой – собственно учебный процесс.

**Целью работы** является разработка модуля интеллектуального анализа данных системы

дистанционного обучения и внедрение этого модуля в существующую систему.

### Изложение основных материалов.

Рассматриваемая система дистанционного обучения [2] выполнена в виде веб-сайта на языке программирования Perl и соответствует большинству предъявляемым требованиям. Она обеспечивает работу пользователей трех уровней – администратора, преподавателя и студента, которым доступны функции:

- работа с личными данными – изменение пароля, электронного адреса;
- работа с предметами – список дисциплин, ресурсов и тестов;
- работа с преподавателями – фамилии, списки предметов;
- работа со списком групп – название, списки предметов;
- работа с группами – список студентов своей группы;
- работа с сообщениями – дистанционное общение (внутренняя почта).

В процессе своей деятельности система обеспечивает ведение следующих файлов данных:

- entry.dat – информация о посетителях системы (дата посещения сайта, ФИО, группа, уровень доступа, IP-адрес);
- messages.dat – информация о сообщениях, которыми обмениваются пользователи системы;
- testlist.dat – информация о перечне тестов;
- testresult.dat – информация о прохождении тестирования пользователями системы.

Накопленные системой данные могут быть подвергнуты интеллектуальному анализу.

Всех пользователей в зависимости от их активности необходимо разбить на группы, причем число групп может изменяться администратором. Таким образом, имеем задачу кластеризации, которую целесообразно решать итеративным методом k-средних [1]. К показателям активности

пользователей можно отнести, во-первых, сам факт входа в систему и вытекающие из него действия, во-вторых, пользование модулем обмена сообщениями и, в-третьих, прохождение тестирования. Анализ файлов данных привел к выводу 12-ти факторов, характеризующих активность пользователя:

1. сколько раз человек вообще был на сайте – число посещений
2. частота посещений в день
3. сколько дней прошло с последнего визита
4. сколько разных ip-адресов было для входа
5. сколько всего сообщений отправлено
6. сколько сообщений отправлено другим пользователям своего уровня
7. сколько сообщений отправлено другим пользователям уровня выше
8. сколько сообщений отправлено другим пользователям уровня ниже
9. число сообщений с приложениями
10. сколько всего сообщений получено
11. сколько всего проходил тестирований
12. среднее время, которое требовалось для ответа на один вопрос теста

Число сообщений, которые содержат приложения, берутся отдельно из-за того, что в приложениях содержатся решенные задачи, а этот показатель имеет отдельный вес для построения кластеров.

Еще одна задача, которая может быть здесь поставлена – прогнозирование. Исходя из имеющихся данных об активности пользователей, можно аппроксимировать эти данные для возможности получения прогноза будущей активности пользователей. В качестве системной единицы лучше взять не отдельного пользователя, а группу в целом. Данными будут сумма действий пользователей данной группы за сутки. К действиям можно отнести факт авторизации в системе (файл «entry.dat») и факт отправки какого-либо сообщения другому пользователю (файл «messages.dat»). Поскольку прохождение тестирования связано, в первую очередь, с учебным планом, а не с желанием пользователя, факт прохождения теста здесь не учитывается. Самый простой метод для решения задачи – метод наименьших квадратов.

Для проектирования модуля интеллектуального анализа данных используем нотацию языка UML [3-

4]. Диаграмма вариантов использования, отображающая работу администратора (предполагаем, что студенту данный раздел сайта будет недоступен), представлена на рис. 1. Структурно-логическая схема нашего модуля представлена в виде диаграммы классов на рис. 2. Файлы исходных данных изображены в виде классов условно – они представляют собой исключительно файлы данных и связаны с управляющим классом ассоциативно.

Реализация спроектированного модуля осуществлялась внедрением в уже имеющийся файл нового блока программного кода. В главное меню системы был добавлен новый пункт «Анализ» (рис. 3), который, в свою очередь, предоставляет ряд возможностей (рис. 4).

**Результаты.** Пользователь может выбрать следующее:

- «Посетители» – вывести общую информацию о посещениях системы с возможностью фильтрации;
- «Статистика посещений» – вывести информацию о посещениях каждого пользователя системы, по умолчанию сортировка осуществляется по полю «пользователь»;
- «Статистика сообщений» – вывести информацию о сообщениях, отправленных и принятым каждым активным пользователем системы;
- «Кластеризация пользователей» – объединить пользователей системы в несколько групп в зависимости от их активности;
- «Активность групп» – выявить закономерности в действиях групп и попытаться спрогнозировать этот фактор. Практическое применение данного раздела будет возможно после накопления достаточного объема статистических данных.

Еще одно направление работы – анализ результатов тестирования, который позволяет работать со списками успеваемости (включая показатели качества), с данными (кластерный анализ – разбиение студентов по группам успеваемости – лучшие, средние, худшие), с рейтингом по результатам тестирования

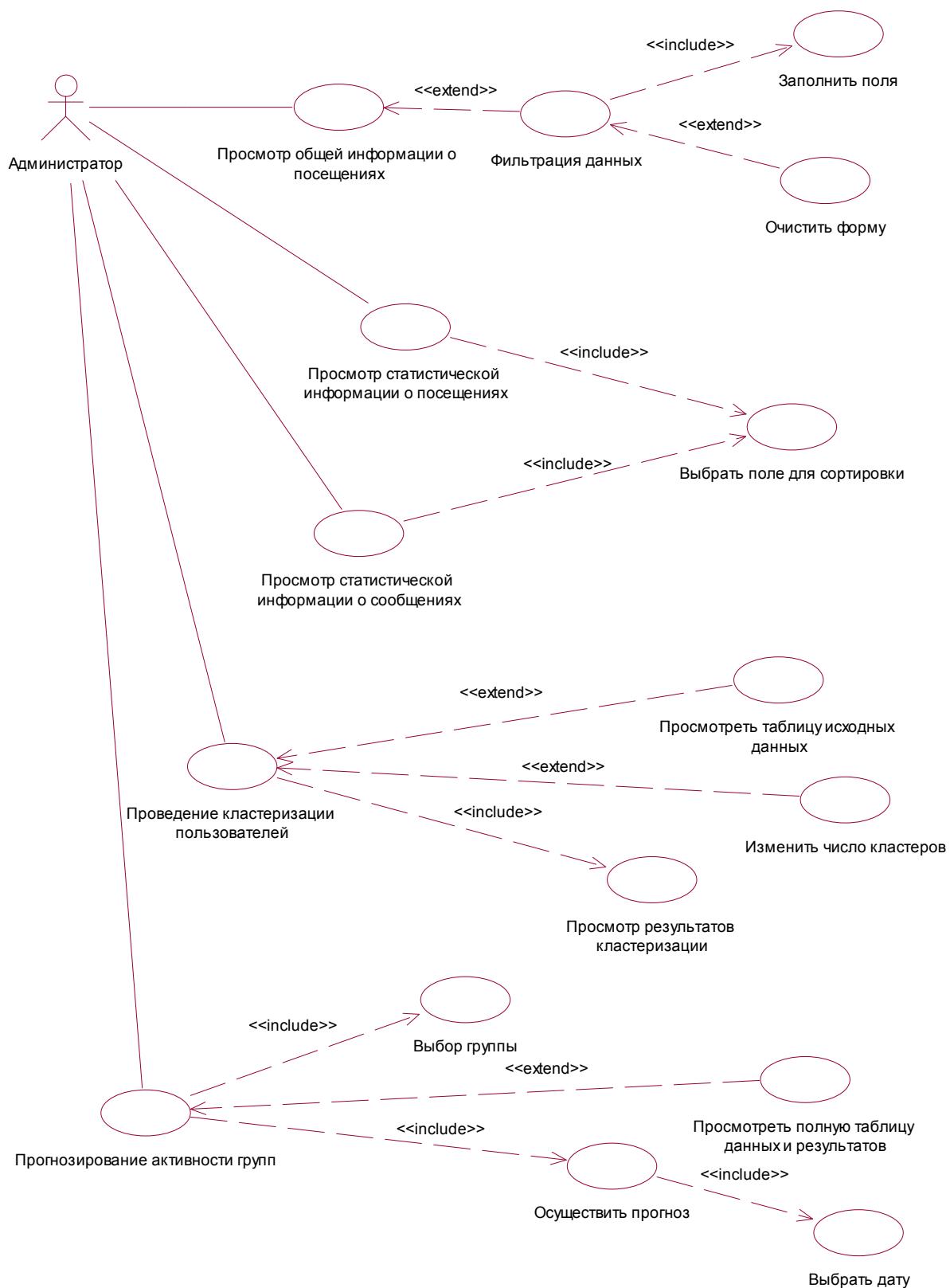


Рис. 1. Диаграмма варіантів використання

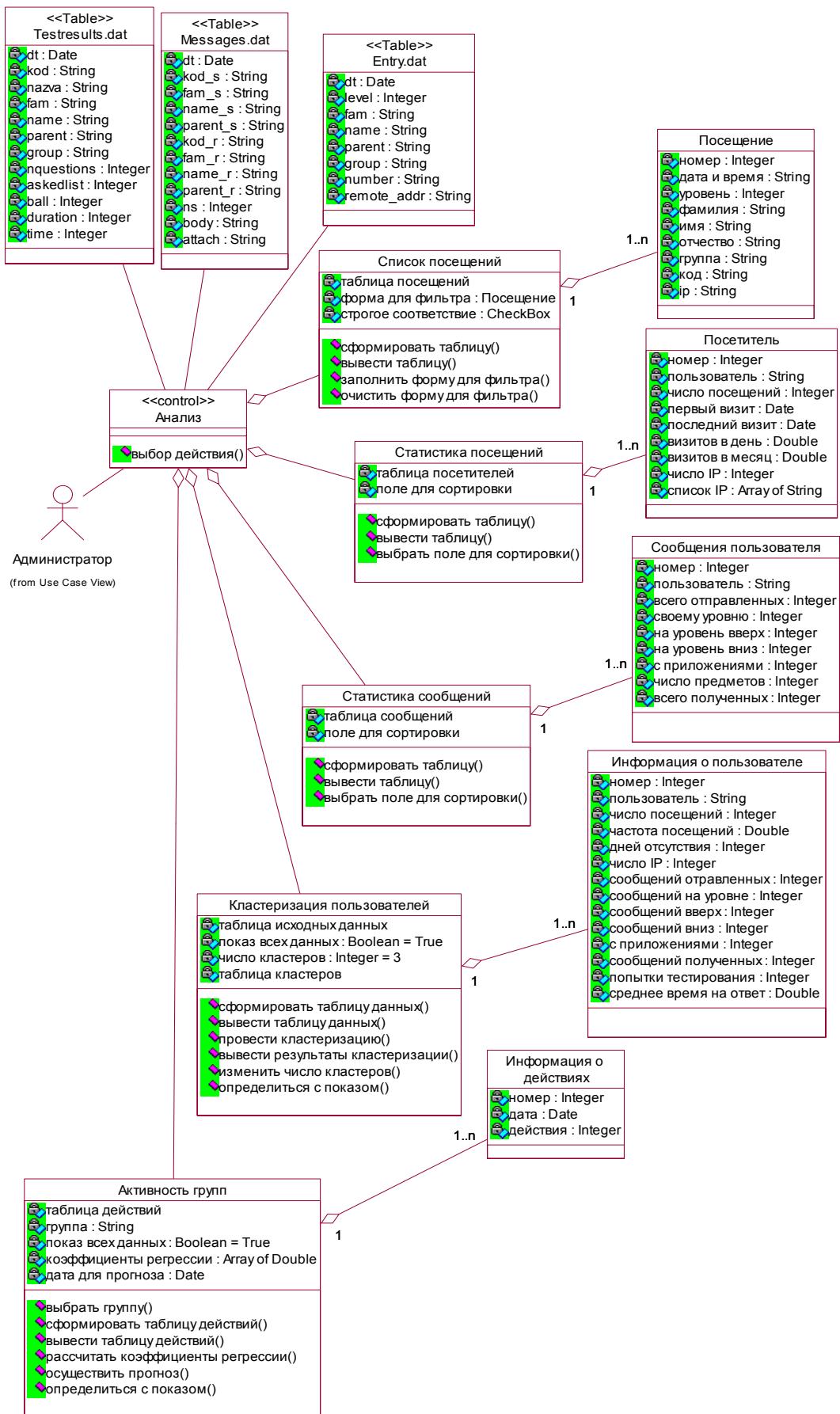


Рис. 2. Диаграмма класов

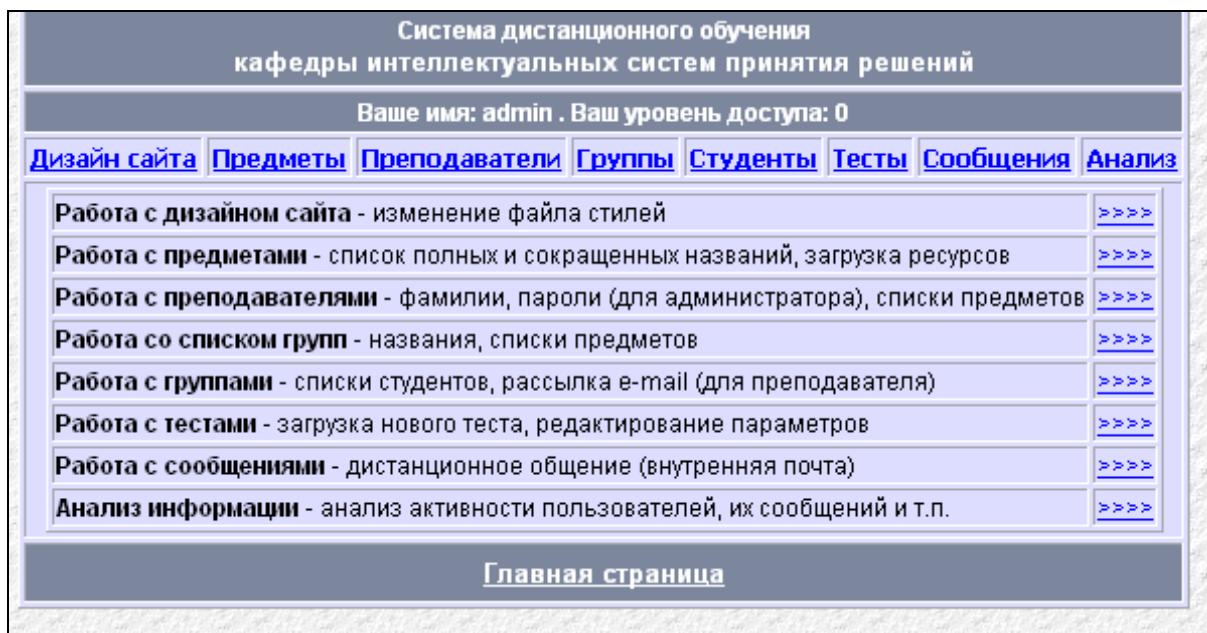


Рис. 3. Измененное главное меню системы

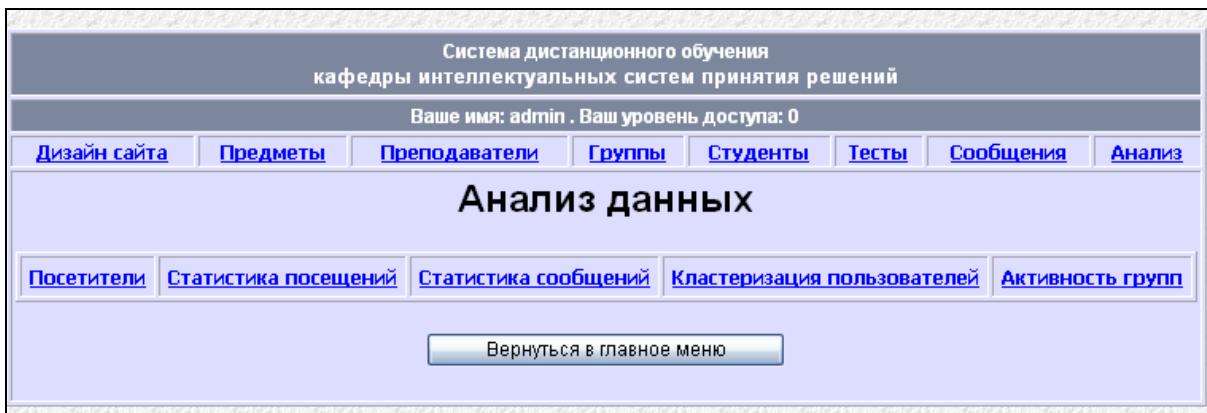


Рис. 4. Меню анализа данных

**Выводы.** Таким образом, был спроектирован и реализован модуль интеллектуального анализа данных для системы дистанционного обучения, позволяющий решать задачи кластеризации и прогнозирования при анализе активности пользователей и анализе результатов тестирования. Созданный модуль в настоящее время функционирует в системе дистанционного обучения кафедры интеллектуальных систем принятия решений ДГМА.

#### Л и т е р а т у р а

- Чубукова И.А. Data Mining: Учебное пособие / И. А. Чубукова. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 382 с.
- Мельников А. Ю. Информационная система для организации работы студентов заочной формы обучения с использованием интернет-технологий / Мельников А. Ю., Кушнир Ю. В. // Восточно-

Европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2010. – № 3/4 (45). – С. 25 – 29.

- Мельников А. Ю. Объектно-ориентированный анализ и проектирование информационных систем: учебное пособие / А. Ю. Мельников. – Ізд. 2-е, перераб. и доп. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 172 с.
- Мельников А. Ю. Проектирование подсистемы интеллектуального анализа данных для системы дистанционного обучения / Мельников А. Ю., Кравченко К. В., Петренко А. А. // Качество образования: управление, сертификация, признание : сборник научных работ международной научно-методической конференции, 20–22 ноября 2013 года, г. Краматорск / под общ. ред. С. В. Ковалевского, д-ра техн. наук., проф. – Краматорск: ДГМА, 2013. – С. 99 – 101.

#### R e f e r e n c e s

- Chubukova I. A. Data Mining: Textbook / I. A. Chubukova. – M.: Internet University of information technologies; BINOM. Knowledge Laboratory, 2006. - 382.

2. Melnikov A. Y. Information system for the organization of the students of correspondence courses using Internet technologies / Melnikov A.Y., Kushnir Y. V. // East European Journal of advanced technology. - Kharkov, 2010. - № 3/4 (45). - P. 25-29.
3. Melnikov A.Y. Object-oriented analysis and design of information systems: tutorial / A.Y. Melnikov. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – Kramatorsk: DSEA, 2012. – 172 s.
4. Melnikov A. Y. Designing data mining subsystem for distance learning system / Melnikov A. Y., Kravchenko K. V., Petrenko A. A. // Quality of education: management, certification, recognition: the digest of scientific works of the international scientific conference, 20-22 November 2013, Kramatorsk / under total. ed. S.V. Kovalevsky, dr. tehn. sciences., prof. - Kramatorsk: DSEA, 2013. - P. 99 – 101.

**Мельников О.Ю., Кравченко Х.В.,  
Петренко А.О. Розробка модуля інтелектуального  
аналізу даних для системи дистанційного навчання**

Розглянуто проблему інтелектуального аналізу даних системи дистанційного навчання. Спроектовано на мові моделювання UML підсистему, яка містить модуль аналізу активності користувачів і модуль аналізу результатів тестування. Наведено опис програмної реалізації системи.

**Ключові слова:** інтелектуальний аналіз даних, дистанційне навчання, інформаційна модель, уніфікована мова моделювання, UML, веб-сайт.

**Melnikov A. Y., Kravchenko K. V., Petrenko A. A.  
The development of data mining module at distance  
learning system**

*Distance education as a form of organization of educational process based on the use of advanced telecommunications and information technology, as well as on the principles of individual learning and self-control is described. The problem of data mining of distance learning system is considered. A functioning of one of the existing systems of distance learning, which provides the user three levels – administrator, teacher and student, is described. The available functions are lists. The data files required for operation of the system are lists too. The 12 factors that characterize the activity of the user are identified and listed. The possibility of solving the problem of predicting future user activity is considered. The information model of new system on unified modeling language UML is described. This system contains the user activity analysis module and the testing results' analysis module. The program implementation of created model is described.*

**Key words:** data mining, distance learning, information model, Unified Modeling Language, web-site.

**Мельников Олександр Юрійович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА), al\_mel@mail.ru

**Кравченко Христина Вікторівна**, студентка спеціальності «Системи і методи прийняття рішень» Донбаської державної машинобудівної академії

**Петренко Артем Олександрович**, студент спеціальності «Системи і методи прийняття рішень» Донбаської державної машинобудівної академії

Рецензент: **Даніч В.М.**, д.т.н., професор.

Стаття подана 03.03.14

УДК. 621.38; 536.5

## ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШЕРОХОВАТОСТИ

**Мирошниченко И. В.**

**PROBABILISTIC CHARACTERISTICS STATIC MATHEMATICAL MODEL  
OF ROUGHNESS**

**Miroshnichenko I. V.**

*Вычисление первых четырех моментов статических математических моделей шероховатости: математического ожидания; второго центрального момента – значения Ra или Rz; третьего начального момента – асимметрии закона распределения и четвертого центрального момента – погрешности вычисления Ra или Rz, позволяет идентифицировать вид закона распределения. Отличие от нуля математического ожидания и третьего момента свидетельствует о нестационарности процесса и необходимости формирования динамической математической модели шероховатости, описывающей последовательности этих состояний.*

**Ключевые слова:** вычисление первых четырех моментов, математическая модель, асимметрия закона распределения, математическое ожидание.

**Вступление.** Необходимость модернизации машиностроения и, в особенности, станкостроения, являющегося, по сути, ядром машиностроения, определяющим его качественный уровень, требует использования новых информационно-сетевых технологий проектирования, изготовления управления и планирования на всех этапах жизненного цикла LT (Life cycle Time) технических систем (ТС). Уменьшение сроков разработки и снижение стоимости высокотехнологичных ТС может быть осуществлено применением CALS-технологий непрерывной информационной поддержки (Continues Acquisition and Life cycle Support – CALS).

В различных сферах человеческой деятельности (проблемных предметных областях – Problem area – PRAR) научной основой проектирования ТС является *математическая модель* (ММ) – формальное описание этих PRAR. Закономерности создания, преобразования, передачи и использования этой информации о PRAR может быть определены как триединство

“математическая модель–алгоритм–программа”, а набор приёмов, использующих математические модели, программы и алгоритмы, называется *информационной технологией* (ИТ). ММ, описывающие состояния PRAR, называются *статическими*, а описывающие последовательности этих состояний – *динамическими*. Несоответствие реальных процессов в PRAR приписываемым им ММ, особенно динамическим, характеризуется *погрешностями классификации* [6], оценка которых является основной задачей большинства научных исследований.

**Постановка проблемы.** Анализ результаты измерений параметров электрических, акустических, оптических и других сигналов  $x(t)$ , несущих информацию о процессах в PRAR [6], даёт основания полагать, что ММ процессов во многих PRAR могут быть случайные процессы  $\xi(t)$ . В такой постановке целью научных исследований является получение оценок  $\Theta^*[x(t)]$  значений  $\Theta[x(t)]$  вероятностных характеристик (ВХ) этих  $\xi(t)$ . Оценки  $\Theta^*[x(t)]$ , называемые также статистическими характеристиками (СХ) или числовыми характеристиками  $\xi(t)$ , вычисляются в системах обработки экспериментальных данных (СОЭД) по результатам измерения параметров  $x(t)$ .

Поэтому основными проблемами при проектировании СОЭД являются выбор ММ PRAR или, иначе говоря, выбор вида ВХ, обработка  $x(t)$  по алгоритму  $\langle q[x(t)] \rangle$  вычисления  $\Theta^*[x(t)]$  и оценка погрешности классификации.

**Цель работы.** В машиностроении одним из параметров, определяющих качество реальной

поверхности изделия, является шероховатость, статической ММ которой чаще всего принимается стационарный  $\xi(t)$ . При представлении шероховатости такими ММ [12], на практике чаще всего встречаются  $\xi(t)$  с дифференциальными законами распределения (плотностью вероятности)  $W\{x(t)\}$ , имеющими конечные значения случайных отклонений ординат у профиля шероховатости: нормальным усеченным (Гаусса); равнобедренного треугольника (Симпсона); равномерным (равной вероятности).

Поэтому целью работы является выбор ВХ, обеспечивающей минимум погрешности классификации с учётом погрешностей измерения параметров  $x(t)$  и погрешностей алгоритма  $\langle q[x(t)] \rangle$  (процедуры) вычисления СХ при разработке ИТ проектирования СОЭД для контроля качества.

**Результаты.** По межгосударственному стандарту [1] шероховатость оценивается в нормальном поперечном сечении в пределах базовой длины  $l$  по результатам измерений ординат у случайных отклонений (высот неровностей) от средней линии профиля  $m$  – базовой линии, проведенной по номинальному профилю так, что в пределах  $l$  СКО её отклонение от профиля минимально. Для количественной оценки отклонений у профиля от линии  $m$  и нормирования шероховатости поверхностей установлено 6 параметров:

1). Три высотных СХ –  $Ra$  (предпочтительный),  $Rz$  и  $Rmax$ :

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad \text{– среднее арифметическое}$$

значение абсолютных отклонений неровностей у профиля, вычисляемое как среднее арифметическое для  $n$  выбранных точек профиля на базовой длине  $l$ ;

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{rmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}, \quad \text{– высота}$$

неровностей у профиля по 10 точкам, сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов  $y_{rmi}$  и глубин  $y_{vmi}$  пяти наибольших впадин профиля в пределах  $l$ ;

2). Два шаговых параметра для оценки характерных точек неровностей, характеризующих взаимное расположение (расстояние):  $S_{i,j}$  – между максимумами  $Rmax$  профиля,  $S_{mi}$  – между точками пересечения профиля со средней линией  $m$  (нулей профиля);

3). Параметр  $t_p$  относительной опорной длины профиля характеризует высоту и форму неровностей профиля, содержит наибольшую информацию о высотных свойствах профиля, позволяя судить о фактической площади контакта шероховатых

поверхностей на заданном уровне  $p$ , аналогичен функции распределения выбросов случайных процессов над порогом [10].

При вычислении параметров шероховатости стандарт [2] рекомендует термины: “Идеальный оператор” (Ideal operator), под которым понимается алгоритм  $\langle q[\xi(t)] \rangle$  или процедура получения исходного, теоретически “точного значения”  $\Theta[x(t)]$  и “Реальный оператор” (Real operator) – практически реализованный оптимальный оператор (Optimum operator) – алгоритм  $\langle q[x(t)] \rangle$  вычисления оценок  $\Theta^*[x(t)]$  двух ВХ параметров шероховатости –  $Ra$  и  $Rz$ .

В аналого-цифровых СОЭД вычисление  $Ra$  и  $Rz$  шероховатости производится по результатам измерений характеристик сигналов  $x(t)$  первичных измерительных преобразователей (ПИП), далее – датчиков. Чаще всего применяются аналоговые контактные индукционные датчики профиля у шероховатости [3,4], выходные  $x(t)$  которых через усилители, устройства нормировки и аналого-цифрового преобразования в цифровом виде должны поступать на вход СОЭД. При этом в сигнал  $x(t)$  будут добавляться помехи  $n(t)$  – шумы усилителя и активных фильтров, шумы, обусловленные другими физическими эффектами, а также и шумы квантования АЦП и канала связи СОЭД [5]. Влияние измерительного усилия при движении иглы по шероховатой поверхности тоже будет случайным.

Таким образом, можно считать, что методы вычисления характеристик шероховатости по оптимальному оператору – алгоритму  $\langle q[x(t)] \rangle$  предполагают работу с вероятностными ММ сигналов  $x(t)$ , полученных контактным профильным методом [3] и помех  $n(t)$ . Выбор ВХ  $k$ -го порядка  $\Theta_k[x(t)]$  и погрешностей вычисления их  $\Theta_k^*[x(t)]$  определяют структуру СОЭД.

Если в качестве ММ шероховатости принят случайный процесс  $\xi(t)$  с плотностью вероятности  $W(x)$ , удовлетворяющей условиям  $W(x) \geq 0$  для

всех  $x$  при нормировке  $\int_{-\infty}^{\infty} W(x)dx = 1$ , тогда среднее значение функции  $\Theta[x(t)]$  определяется [7] как  $\Theta^*[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)W(x)dx = \Theta_{cp}$

*Начальными моментами*  $\alpha_K$   $k$ -го порядка ( $k \in \overline{1, \infty}$ ) называют значения интегралов вида  $\alpha_K$

$$= \langle q[x(t)] \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^K(t) W(x) dx, \quad (1)$$

Центральными моментами  $\mu_K$  центрированного  $x_0(t)$  называют значения интегралов вида

$$\mu_K = \langle q[x_0(t)] \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x_0^K(t) W(x) dx, \quad (2)$$

Моменты  $\alpha_K$  и  $\mu_K$  являются однозначными характеристиками  $\xi(t)$ , однако не у всякого  $\xi(t)$  существуют (т.е. являются конечными) все  $\alpha_K$  [7]. В предположении, что  $\alpha_K$  и  $\mu_K$  однозначно определяют  $\xi(t)$  с заданным  $W(x)$ , вместо  $\xi(t)$  можно рассматривать бесконечный ряд  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$  или  $\mu_1, \mu_2, \mu_3 \dots$  и в этом случае говорят о моментном представлении  $\xi(t)$ .

Поскольку  $W(x)$  любого  $\xi(t)$  всегда абсолютно интегрируема, поскольку всегда существует, функция, сопряженная по Фурье, называемая характеристической функцией

$$\Theta(u) = \int_{-\infty}^{\infty} W(x) e^{jux} dx = \langle e^{jux} \rangle, \quad (3)$$

Обратное преобразование от  $\Theta(u)$  к  $W(x)$  выражается как

$$W(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Theta(u) e^{-jux} du, \quad (4)$$

причем этот интеграл может и не обладать сходимостью.

Пара Фурье-преобразований (3) и (4) позволяет говорить о  $\Theta(u)$  как о тождественном представлении  $W(x)$ , при этом  $\Theta(u)$  должна обладать следующими свойствами [8]:

$\Theta(0) = 1$ ;  $\Theta(u)$  непрерывна для всех  $u$ ;  
 $\int_{-\infty}^{\infty} \Theta(u) e^{jux} du \geq 0$ ;  
 $|\Theta(u)| \leq \Theta(0)$ ;  $\Theta(-u) = \Theta^*(u)$  – т.е. являются комплексно сопряженными.

Отсюда следует, что моменты  $\alpha_K$  можно получить  $k$ -кратным дифференцированием

$$\Theta(u) \text{ как } \alpha_K = j^{-k} \left[ \frac{d^k \Theta(u)}{du^k} \right]_{u=0}, \quad (5)$$

Иначе говоря, коэффициенты разложения  $\Theta(u)$  в степенной ряд

$$\Theta(u) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_k}{K!} (ju)^n, \quad (6)$$

определяются именно моментами распределения, а  $\Theta(u)$  можно записать в виде  $\Theta(u) = \exp[B(u)]$ , где  $B(0) = 0$ .

При разложении  $[B(u)]$  в степенной ряд

$$B(u) = \ln \Theta(u) = \sum_{K=1}^{\infty} \frac{C^K}{K!} (ju)^K, \quad (7)$$

а его коэффициенты – кумулянты  $C$  (или семиинварианты) так же, как и моменты  $\alpha_K$  и  $\mu_K$ , являются характеристиками  $W(x)$

$$C_K = j^{-K} B^K(0) = J^{-K} \left[ \frac{d^K \ln \Theta(u)}{du^K} \right]_{u=0} \quad (8)$$

Таким образом,

$$\Theta(u) = \exp \left[ \sum_{K=1}^{\infty} \frac{C_K}{K!} (ju)^K \right] \quad (9)$$

Если ряд (8) сходится, то набор  $C_K$  тождественно представляет  $W(x)$ .

При известных  $\alpha_K$  и  $\mu_K$  кумулянты могут быть найдены [8] как:

$$\begin{aligned} C_1 &= \alpha_1 = M; C_2 = \alpha_2 - \alpha_1^2 = D; \\ C_3 &= \alpha_3 - 3\alpha_1\alpha_2 + 2\alpha_1^3; \\ C_4 &= \alpha_4 - 3\alpha_1^2 - 4\alpha_1\alpha_3 + 12\alpha_1^2\alpha_2 - 6\alpha_1^4 \end{aligned} \quad (10)$$

В свою очередь, моменты  $\alpha_K$  и  $\mu_K$  выражаются через кумулянты:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= C_1; \alpha_2 = C_2 = C_1^2; \\ \alpha_3 &= C_3 + 3C_1C_2 + C_3^3; \\ \alpha_4 &= C_4 + 3C_2^2 + 4C_1C_3 + 6C_1^2C_2 + C_1^4 \end{aligned} \quad (11)$$

Взаимосвязь  $C_K$  и  $\mu_K$  получается аналогично при  $\alpha_1 = C_1 = 0$

Первые два кумулянта имеют физический смысл – это математическое ожидание и дисперсия, третий кумулянт  $C_3$  можно называть асимметрией,  $C_4$  – эксцессом. Иногда вводят безразмерные кумулянты – *кумулятивные коэффициенты*

$$\gamma_n = \frac{C_n}{C_2^{n/2}} = \frac{C_n}{D^{n/2}} = \frac{C_n}{\sigma^n} \quad (12)$$

Например,  $\gamma_3$  и  $\gamma_4$  называются коэффициентами асимметрии и эксцесса при описании степени отклонения  $W(x)$  нормального  $W_N(x)$

$$W_N(x) = (2\pi D)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-(x - M)^2 / 2D\right] \quad (13)$$

у которого  $C_1 = m$  и  $C_2 = D$ , а

$$C_3 = C_4 = \dots = C_n = 0 \quad (14)$$

При представлении  $W(x)$ , обладающую в общем случае всеми  $C_K$ , через характеристическую функцию вида

$$\Theta(u) = \exp\left[jmu - \frac{D}{2}u^2\right] \left[1 + \sum_{K=3}^{\infty} \frac{(ju)^K}{K!} \beta_K\right], \quad (15)$$

где

$$\left[1 + \sum_{K=3}^{\infty} \frac{(ju)^K}{K!} \beta_K\right] = \exp\left[\sum_{K=3}^{\infty} \frac{(ju)^K}{K!} C_K\right] \quad (16)$$

коэффициенты  $\beta_K$ , вычисленные как  $\alpha_K$  при условии  $C_1 = 0$  и  $C_2 = 0$ , являются по сути *квазимоментами* и тогда можно записать, что:

$$\begin{aligned} \beta_3 &= C_3; \beta_4 = C_4; \beta_5 = C_5; \beta_6 = C_6 + 10C_3^2; \\ \beta_7 &= C_7 + 35C_3C_4; \beta_8 = C_8 + 56C_3C_5 + 35C_4^2; \dots \end{aligned} \quad (17)$$

Производя над (15) Фурье-преобразование, согласно [8], получим ряд

$$W(x) = W_N(x) + \sum_{K=3}^{\infty} (-1)^K \frac{\beta_K}{K!} W_N^{(K)}(x), \quad (18)$$

который дает разложение произвольной плотности  $W(x)$  по  $(K)$ -м производным нормального распределения  $W_N(x)$

Сравнивая между собой (6), (9) и (16), можно также заметить, что  $\alpha_K, \beta_K$  и  $C_K$  образуют ряд вида  $\mu_S = \alpha_S$  при условии  $C_1 = 0$  и  $\beta_S = \alpha_S$  при условии  $C_1 = C_2 = 0$ . Для первых моментных функций имеются названия [7]:

$C_1(t) = \alpha_1(t) = M[x(t)]$  – среднее значение;  
 $C_2(t) = B[t_1 t_2] = D[x(t)]$  – дисперсия;  
 $C_2(t_1 t_2) = B[t_1 t_2]$  – ковариационная функция;  $\alpha_2(t_1 t_2) = R[t_1 t_2]$  – корреляционная функция,  $C_4(t_1, t_2, t_3, t_4)$  – *эксцессная функция* [8]

Кумулянты  $C_K$  более удобны, чем  $\alpha_K$  и  $\mu_K$ , при аналитических выкладках, т.к. высшими кумулянтами часто можно пренебречь, однако при аппаратурной реализации более простыми оказываются устройства измерения  $\alpha_K$  и  $\mu_K$  [9, 11]. В этом случае принято говорить о моментном представлении  $\xi(t)$ , которое даёт возможность классификации  $\xi(t)$  по результатам вычисления в СОЭД оценок  $\alpha_K$  и  $\mu_K$ .

Например, на практике шероховатость может быть представлении ММ в виде  $\xi(t)$  с такими законами распределения отклонения ординат у профиля:

а) нормальный усеченный (Гаусса), который описывает, в частности, рассеяние размеров в партии деталей средней точности (9...12 квалитетов), а также погрешности результатов измерений;

б) равнобедренного треугольника (Симпсона) – при обработке деталей с точностью 6...8 квалитетов;

в) равномерный (закон равной вероятности) – при обработке высокоточных деталей (4...5 квалитеты).

Для идентификации таких  $\xi(t)$  достаточно вычисления первых четырёх моментов:  $C_1(t) = \alpha_1(t) = M[x(t)]$  – математического ожидания, которое представляет собой ординату  $m$  средней линии профиля, для центрированного  $x_0(t)$  ордината  $m = 0$ ;  $\mu_2 = \Theta^*[x(t)]$  – вычисляемое значение  $Ra$  ( $Rz$ );  $\alpha_3 = 0$  для стационарного  $\xi(t)$ ;  $\mu_4 = \Delta\Theta^*[x(t)]$  – погрешность вычисления  $Ra$  ( $Rz$ ). Отличие от нуля  $m$  и  $\alpha_3$  свидетельствует о нестационарности

случайных процессов [7, 8] – т.е. о необходимости формирования динамической ММ шероховатости.

**Выводы.** Приведенные формулы могут позволить оценить погрешность классификации статических математических моделей шероховатости, представляемых в виде стационарных, в том числе и негауссовых, случайных процессов, по результатам вычисления начальных и центральных моментов до четвёртого порядка. Предлагаемая методика может упростить процедуру проектирования СОЭД контроля качества изделий при реализации CALS-технологий.

### Л и т е р а т у р а

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 2789-73 "Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики" (введен постановлением Госстандарта СССР от 23 апреля 1973 г. N 995)
2. ГОСТ 27964-88 Измерение параметров шероховатости. Термины и определения
3. ГОСТ 19300-86 Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные Типы и основные параметры
4. Марчук М. О. Проблематика разработки информационных технологий контроля якості шорсткості поверхні / Марчук М. О., Мирошниченко І. В. // Науковий журнал Технологічні комплекси № 1, 2 (5, 6) 2012, Луцький національний технічний університет, С. 57 – 61.
5. Детлинг В.С. Система измерения шероховатости поверхностей / Детлинг В. С., Мирошниченко И. В. // V Международная научно-техническая конференция "Гиротехнологии, навигация и управление движением" – Сборник докладов, Киев 21-22 апреля 2005 г. – С. 356 – 360.
6. Цветков Э. И. Основы теории статистических измерений.-2-е изд., перераб. и дополн. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 286 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М.: Наука, 1969. – 576 с
8. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ негауссовых процессов и их преобразований. – М.: Советское радио, 1978 – 376 с.
9. Мирошниченко В. С. К вопросу об измерении числовых характеристик случайных процессов / Мирошниченко В. С., Тугуз Ю. Р. // Автоматика и электроприборостроение; Вестник Киев. политехн. ин-та. – 1976, вып. 19.
10. Тихонов В. И. Выбросы траекторий случайных процессов / Тихонов В. И., Хиленко В. И. – М.: Наука, 1987 – 303 с.
11. Мирошниченко В. С. О выборе параметров измерителей числовых характеристик случайных процессов / Мирошниченко В. С., Пономаренко В. К. // Радиоэлектроника; Изв. ВУЗов, 1971, № 7. – С. 822 – 824.
12. Детлинг В. С. Математическая модель шероховатости протяженных объектов / Детлинг В. С., Зинченко В. П., Мирошниченко И. В. // Шоста науково-технічна конференція "Приладобудування 2007: стан і перспективи" – Збірник тез доповідей, Київ, 24-25 квітня 2007 р. – С. 151 – 152.

### R e f e r e n c e s

1. Mezhgosudarstvennyj standart GOST 2789-73 "Sherohovatost' poverhnosti. Parametry i harakteristiki" (vveden postanovleniem Gosstandarta SSSR ot 23 aprelja 1973 g. N 995)
2. GOST 27964-88 Izmerenie parametrov sheroхovatosti. Terminy i opredelenija
3. GOST 19300-86 Sredstva izmerenij sheroхovatosti poverhnosti profil'nym metodom. Profilografy-profilometry kontaktne Tipy i osnovnye parametry
4. Marchuk M. O., Miroshnichenko I. V. Problematika rozrobki informacijnh technologij kontrolju jakosti shorstkosti poverhnji // Naukovij zhurnal Tehnologichni kompleksi № 1, 2 (5, 6) 2012, Luc'kij nacional'nij tehnicnj universitet, S. 57-61
5. Detling V.S., Miroshnichenko I. V. Sistema izmerenija sheroхovatosti poverhnostej // V Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija "Girotehnologii, navigacija i upravlenie dvizheniem" – Sbornik dokladov, Kiev 21-22 aprelja 2005 g. – S. 356-360
6. Cvetkov Je.I. Osnovy teorii statisticheskikh izmernij.-2-e izd., pererab. i dopoln. – L.: Jenergoatomizdat, 1986, 286 s.
7. Ventcel' E.S. Teoriya verojatnostej. – M.: Nauka, 1969– 576 s
8. Malahov A.N. Kumuljantnyj analiz negaussovyh processov i ih preobrazovanij. – M.: Sovetskoe radio, 1978 – 376 s.
9. Miroshnichenko V.S., Tuguz Ju.R. K voprosu ob izmerenii chislovyh harakteristik sluchajnyh processov // Avtomatika i elektropriborostroenie; Vestnik Kiev. politehn. in-ta, 1976, vyp. 19
10. Tihonov V.I., Hilenko V.I. Vybrosy tracktorij sluchajnyh processov – M.: Nauka, 1987 – 303 s.
11. Miroshnichenko V.S., Ponomarenko V.K. O vbyore parametrov izmeritelej chislovyh harakteristik sluchajnyh processov // Radioelektronika; Izv. VUZov, 1971, № 7, S. 822-824
12. Detling V.S., Zinchenko V.P., Miroshnichenko I.V. Matematicheskaja model' sheroхovatosti protjazhennyyh ob'ektov // Shosta naukovo-tehnichna konferencija "Prila-dobuduvannja 2007: stan i perspektivi" – Zbirnik tez do-povidej, Kiev, 24-25 kvitnya 2007 r., S. 151-152.

### Мирошниченко І. В. Імовірнісні характеристики статичної математичної моделі шорсткості

Статичними математичними моделями шорсткості, що описують стан поверхні, можуть бути стаціонарні випадкові процеси з кінцевими значеннями випадкових відхилень ординат профілю шорсткості з законами розподілу: усіченим нормальним, рівномірним і Сімпсона. Для ідентифікації цих процесов машинобудуванні досить обчислення первих чотирьох моментів: математичного очікування - ординати середньої лінії профілю шорсткості, рівній нуль для центрованого процесу; другого центрального моменту - значення  $Ra$  або  $Rz$ , третього початкового моменту - асиметрії розподілу і четвертого центрального моменту - похибки обчислення  $Ra$  або  $Rz$ . Відмінність від нуля математичного сподівання і третього моменту свідчить про нестаціонарності процесу та необхідності формування динамічної математичної моделі шорсткості, яка описує послідовності станів поверхні.

**Ключові слова:** обчислення перших чотирьох моментів, математична модель, асиметрія закону розподілу, математичне очікування.

**Miroshnichenko I. V. Probabilistic characteristics static mathematical model of roughness**

Static mathematical model of rough, describing the state of the surface can be stationary random processes with finite values of the random variation of the roughness profile ordinates with the laws of distribution: truncated normal, uniform, and the identification of these enough engineering calculation of the first four moments: the expectation - ordinates of the center line roughness profile, equal centered process, the second central moment - the value Ra or Rz; third entry point - the asymmetry of the distribution, and fourth central moment - the calculation error or Ra Rz. Nonzero

mean and third moment indicates non-stationary process and the necessity of dynamic mathematical model of roughness, describing the sequence of states of the surface.

**Key words:** evaluation of the first four moments, the mathematical model, the asymmetry of distribution law, the expectation.

**Мірошніченко І. В.** ст. викладач кафедри АПЕПС ТЄФ НТУУ «КПІ», goodgod@ukr.net

Рецензент: **Носко П.Л.**, д.т.н., професор.

Статья подана 21.03.14

УДК 004.93:519.71

## ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОНИЖЕНИЯ ШУМА В ИЗОБРАЖЕНИЯХ СКАНИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

**Молчанова В.С.**

**THE EFFECTIVE METHOD OF NOISE REDUCTION IMAGES OF THE SCANNED  
ENGINEERING DRAWINGS**

**Molchanova V.S.**

*В статье предлагается метод адаптивного подавления шума на изображениях технических чертежей. Этот метод учитывает специфические особенности технических чертежей, а также распределение и уровни шума, присущие им. В отличии от существующих подходов, предложенный метод предполагает предварительный анализ исходного изображения, на основании которого, выбирается соответствующая комбинация медианного и морфологического фильтров, а также их параметры, наиболее подходящие для выбранного изображения. Проведенные эксперименты показали эффективность данного метода.*

**Ключевые слова:** инженерный чертеж, адаптивное подавление шума, распределение шума, уровень шума, толщина линии

### **Введение**

В процессе автоматизированного анализа и распознавания инженерных чертежей одной из основных проблем является проблема подавления шума [1-3], возникающего в процессе их сканирования с бумажных носителей. Шум на изображении негативно оказывается на результате распознавания и снижает общую производительность программных систем анализа инженерных чертежей.

Описанные в литературе методы подавления шума в зависимости от математического аппарата, на основании которого построены, могут быть классифицированы следующим образом:

- Статистические методы (медианный фильтр [1], ранжирующий фильтр [1]),
- Методы преобразования областей [2];
- Нечеткие методы [2,3].

Однако все эти подходы не учитывают специфические особенности сканированных инженерных чертежей, а также возможные типы и уровни шума, присущие изображениям такого типа. Поэтому в процессе обработки инженерных

чертежей этими методами, результат не всегда удовлетворительный.

Целью работы является разработка метода шумоподавления, более точно учитывающего особенности изображений технических чертежей, в частности распределение на них шума, что на наш взгляд повысить производительность анализа инженерных чертежей.

Работа имеет следующую структуру: во 2 разделе анализируются особенности инженерных чертежей и классифицируются уровни и типы шумов, присущие им; в 3 разделе описан метод оценки толщины линий; в 4 разделе описаны методы оценки распределения и уровня шума; в 5 разделе предлагается адаптивный метод подавления шума; в разделе 6 представлены результаты экспериментов; выводы представлены в разделе 7.

### **Особенности шума на инженерных чертежах**

В целях достижения полноты описания проблемы необходимо выделить специфические особенности инженерных чертежей, не позволяющие в полной мере использовать традиционные методы подавления шума на изображениях. Наиболее значимыми среди них являются следующие:

- 1) толщина линий примитивов ограничена несколькими дискретными значениями;
- 2) края примитивов (например, линии и углы) гладкие;
- 3) фон и примитивы монохромные.

На рисунке 1а показано исходное изображение инженерного чертежа, не содержащее каких-либо помех и шума. На рисунках 1б-1в к исходному изображению добавлен шум. На рисунке 1б шум распределен равномерно по площади изображения, а на рисунке 1в- шум присутствует лишь в окрестностях контура.

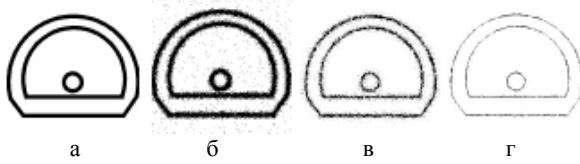


Рис. 1. Примеры инженерных чертежей

Для бинарных технических чертежей характерно 3 типа шума: Гауссов шум, высокочастотный шум и шум «твердого карандаша». Независимо от типа шума, степень зашумленности изображения характеризуется уровнем шума. Оценка качества изображения выполняется с учетом характеристик, как примитивов, так и шума. Наиболее важной характеристикой примитива является толщина его линии.

#### Оценка толщины линии примитива

В работе [4] предлагается метод оценки толщины линии, основанный на вычислении максимума локальных минимумов толщины объекта. Оценка толщины объекта  $O$  в точке  $(x, y)$  определяется как минимальное расстояние  $d$  от границы объекта до точки фона (рисунок 2). Прямая, определяющая это расстояние должна пересекать объект и быть параллельна одной из координатных осей.

$$D = \min(d_{l_{y,p}}, d_{l_{x,p}}), W_{line} = \max\{D_{l_p}\}, p \in O$$

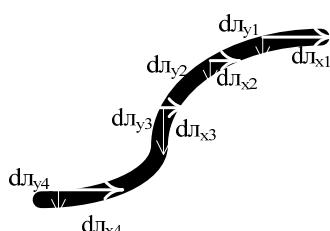


Рис. 2. Оценка расстояния от контура до фона

Необходимость в оценке толщины линии контура обусловлена тем, что дальнейшая фильтрация предполагает следующие ограничения: все примитивы на изображении имеют контур одинаковой толщины; уровень шума изображений умеренный; расстояние между примитивами намного больше толщины линий; геометрические размеры искаженных шумом областей меньше, чем средняя толщина линии примитивов на чертеже. В противном случае, отфильтровать полезные данные и шум автоматизированным путем будет затруднительно, а в некоторых случаях сложно даже для человека.

#### Распределение шума и оценка уровня шума

Для получения достоверной оценки шума нам представляется необходимым его описать в двух аспектах: 1) распределение шума, которое оценивается блочным методом; 2) уровень шума, который оценивается как сигнал коэффициента шума.

#### Оценка распределения шума

На инженерных чертежах встречается два основных типа распределения шума: равномерное распределение шума на изображении (рисунок 1б); распределение шума в окрестностях примитива (рисунок 1в). Назовем их ТИП1 и ТИП2 соответственно. Для определения, к какому типу относится шум на изображении, предлагается использовать блочный медианный фильтр [1]. Суть этого метода состоит в том, что изображение делится на локальные блоки размером 10×10 пикселов как показано на рисунке 3. Размер «окна» фильтра примем равным 3×3. Будем считать, что блок содержит шум, если хоть одна его точек искажена. Предположим изображение содержит  $M \times N$  блоков, из которых  $Z$  искажены шумом. Можно рассчитать распределение шума  $D_{noise}$  по формуле:

$$D_{noise} = \frac{Z}{M \times N}$$

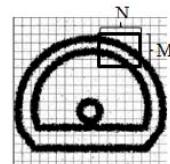


Рис. 3. Блочный метод для оценки распределения шума

Задается некоторый порог распределения  $T_{distrib} \approx 0,4-0,6$ , для которого будет справедливым: если  $D_{noise} \geq T_{distrib}$ , то изображение искажено шумом типа ТИП1, во всех остальных случаях шум относится к типу ТИП2.

#### Оценка уровня шума

Далее необходимо оценить уровень шума. Необходимость данного этапа состоит в том, что для различных уровней шума, используются различные методы его подавления, а при некорректном использовании методов фильтрации, фильтр может вместе с шумом удалить и полезную информацию.

Для описания уровня шума на изображении предлагается использовать отношение сигнал-шум (*ОСШ*). Для расчета *ОСШ* используется медианный фильтр, размер шаблона которого составляет  $1,5W_{line} \times 1,5W_{line}$ . Такой фильтр позволяет уменьшить шум, сохранив при этом все примитивы. Предположим, что все примитивы окрашены в черный цвет, а фон - в белый. Для начала подсчитаем количество всех черных пикселов на изображении и обозначим их как  $Q$ . Затем для удаления шума однократно применяется медианный фильтр и количество черных пикселов снова пересчитывается. Обозначим это число как  $P$ .  $P$ - это количество точек, принадлежащих примитивам, это значение отражает уровень сигнала.  $Q-P$ - количество шумовых точек, которые были удалены в процессе фильтрации, это значение

отражает уровень шума. Если  $Q-P=0$  это значит, что изображение не содержит шума. При  $Q-P\neq0$  ОСШ определим как:

$$OCШ = \frac{P}{Q - P}$$

Обычно низкое значение  $OCШ$  отражает высокий уровень шума. Например,  $OCШ$  изображений 1б и 1в составляют 2,399 и 1,443 соответственно. Это значит, что уровень шума на рисунке 1в выше, чем на рисунке 1б.

Существует и другая форма повреждения изображений инженерных чертежей, как показано на рисунке 1г, где примитивы слишком тонкие и прерывистые. При применении медианного фильтра к таким типам изображений, примитивы также рассматриваются как шум и поэтому удаляются с изображения. В результате  $OCШ$  у них очень мала (меньше 0,3), что показывает необходимость

использования различных методов фильтрации для каждого типа шума.

#### Адаптивная система шумоподавления

Большинство методов снижения шума заменяют каждый пиксель с определенным значением функции на значение пикселов окрестности. Поскольку как полезный сигнал, так и многие типы шумов имеют одинаковые частотные компоненты, их нельзя классифицировать по частоте. Таким образом, применение линейных фильтров для удаления шума на изображениях инженерных чертежей невозможно.

Для различия шума и полезного сигнала используются адаптивные алгоритмы шумоподавления, особенность которых состоит в сохранении или усилении полезного сигнала в процессе удаления шума. Наиболее популярными среди таких фильтров являются медианный фильтр и морфологический фильтры [1]. Их эффективность зависит от размера структурирующего элемента. Таким образом, очень важно выбрать его правильно.

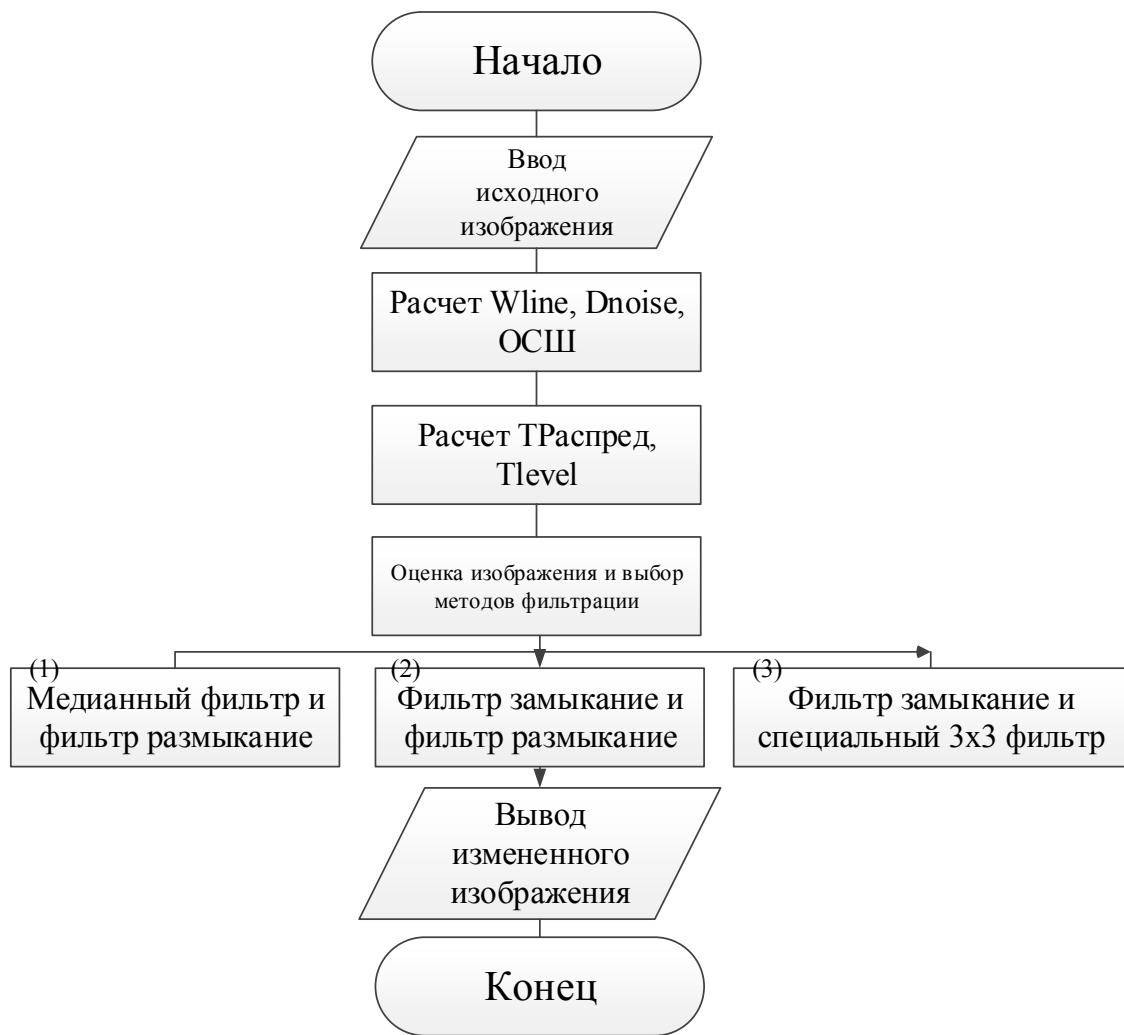


Рис. 4. Блок-схема АПШ

На основании характеристик примитивов и шума, полученных в разделах 3 и 4 разработан адаптивный метод подавления шума (АПШ). Блок-схема метода АПШ показана на рисунке 4. Этот метод использует медианный и морфологический фильтры, а также регулировку размера шаблона и структурирующего элемента, исходя из индивидуальных характеристик обрабатываемого изображения. Обозначим как  $W_{line}$ ,  $D_{noise}$  и  $OSШ$  толщину линии, распределение шума и уровень шума на изображении. Пусть  $T_{распред}$ ,  $T_{level}$  заданные пороги для  $D_{noise}$  и  $OSШ$ ,  $dse$ - диаметр структурирующего элемента. Рассмотрим следующие ситуации:

(1) Если  $D_{noise} > T_{распред}$  и  $OSШ > T_{level}$ , то на изображении преобладает Гауссов шум, скомбинированный с высокочастотным шумом, в этом случае целесообразно использовать медианный фильтр с окном  $1,5W_{line} \times 1,5W_{line}$  для удаления Гауссова шума, а затем фильтр размыкание со структурирующим элементом  $dse=0,8W_{line}$  для уменьшения высокочастотного шума и сглаживания примитивов [1].

(2) Если  $D_{noise} < T_{распред}$  и  $OSШ > T_{level}$ , то шум преимущественно распределен вокруг примитива и преобладающим является шум «твердого карандаша» и высокочастотный шум, скомбинированный с Гауссовым шумом. Для удаления пробелов, вызванных шумом «твердого карандаша», используется морфологический фильтр замыкание со структурирующим элементом  $dse=0,5W_{line}$ , а для удаления высокочастотного шума- фильтр размыкание со структурирующим элементом  $dse=0,8W_{line}$  [1].

(3) Если  $OSШ < T_{level}$  это значит, что примитивы на изображении слишком тонкие и могут быть повреждены. В таком случае сначала используется фильтр-замыкание со структурирующим элементом  $dse=W_{line}$  для соединения примитивов, затем во избежание потери полезной информации для удаления шума используется специальный фильтр  $3 \times 3$ , который для бинарных изображений изменяет значение центрального элемента, только когда значения всех остальных 8 соседей отличаются от него. Это позволяет удалить все шумовые точки, сохранив при этом примитив, даже если его ширина составляет 1 пиксел [1].

### Результаты экспериментов

Разработан прототип системы, основанной на предложенном методе. Тестирование метода проводилось на примере нескольких зашумленных изображений инженерных чертежей, взятых с базы международного конкурса распознавания символов [5].

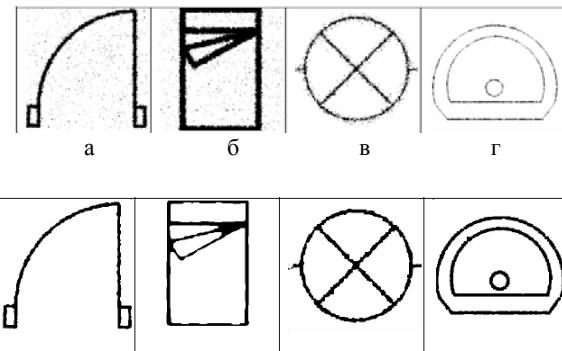


Рис. 5. Сравнение исходного и отфильтрованного изображения

На рисунке 5 показаны результаты эксперимента для четырех изображений. В верхней строке содержатся изображения, содержащие различные типы и уровни шума, а в нижней- результат применения разработанного адаптивного метода снижения шума при  $T_n=0.25$ ,  $T_{распред}=0.5$ ,  $T_{level}=0.5$ .

Таблица  
Результаты оценки шума изображений на рисунке 5

	$W_{line}$	$D_{noise}$	$OSШ$
Рис 5(а)	5,7	0,646	3,678
Рис 5(б)	9,77	0,648	7,937
Рис 5(в)	3,00	0,386	1,414
Рис 5(г)	2,5	0,229	0,285

В таблице представлены значения  $W_{line}$ ,  $D_{noise}$ ,  $OSШ$ , рассчитанные предложенным методом. Из результатов, полученных в результате экспериментов, можно увидеть, что предложенный в работе метод, может эффективно снижать шум, сохраняя полезную информацию.

### Выводы

В данной работе проанализированы особенности различных типов и уровней шума на инженерных чертежах. Предложен метод оценки толщины линии, оценки распределения и уровня шума. На их основании разработан метод адаптивного подавления шума (АПШ). В сравнении с другими методами шумоподавления, этот метод позволяет регулировать размер шаблона медианного фильтра и структурирующего элемента морфологического фильтра в соответствии с различными типами и уровнями шума. Метод позволяет удалять шум, сохраняя при этом полезную информацию о примитиве как показано выше. Экспериментальные результаты показали эффективность предложенного метода.

Дальнейшее развитие предложенной методики целесообразно выполнять в следующих направлениях: устранение ограничения на одинаковую толщину линии примитива, устранение шума на границе примитива, сохраняя при этом мелкие детали примитива. Возможным путем ее решения является выделение доминантной толщины

лини. После того, как это значение определено, можно сфокусировать внимание на подгонке параметров предложенного метода для различных примитивов с учетом толщины их линий на одном чертеже. Результаты, полученные в ходе выполнения данной работы, будут использованы как одна из составляющих автоматизированной системы распознавания и векторизации конструкторских чертежей, разрабатываемой автором в рамках диссертационной работы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Абламейко С. В. Обработка изображений: технология, методы, применение/ Абламейко С. В., Лагуновский Д.М. – Минск: Амальфея, 2000. – 304 с.
2. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений / Павлидис Т. – М.: Радио и связь, 1986. – 198 с.
3. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие / Красильников Н. Н.– СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 608 с
4. Молчанова В. С. Задача классификации сложных специфических объектов на растровых изображениях конструкторских чертежей / Молчанова В. С. // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2014.- №1. – [В печати].
5. GREC2003 Symbol Recognition Contest [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.cvc.uab.es/grec2003/SymRecContest/images.htm>.

#### R e f e r e n c e s

1. Ablamejko S. V. Obrabotka izobrazhenij: tehnologija, metody, primenie/ Ablamejko S. V., Lagunovskij D.M. – Minsk: Amalfeja, 2000. – 304 s.
2. Pavlidis T. Algoritmy mashinnoj grafiki i obrabotki izobrazhenij / Pavlidis T. – M.: Radio i svjaz', 1986. – 198 s.
3. Krasil'nikov N. N. Cifrovaja obrabotka 2D- i 3D-izobrazhenij: ucheb. posobie / Krasil'nikov N. N.– SPb. : BHV-Peterburg, 2011. – 608 s
4. Molchanova V. S. Zadacha klassifikacii slozhnyh specificheskikh obektov na rastrovyh izobrazhenijah konstruktorskikh chertezhej / Molchanova V. S. // Radioelektronika, informatika, upravlenie. – 2014.- №1. – [V pechat].
5. GREC2003 Symbol Recognition Contest [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa :

<http://www.cvc.uab.es/grec2003/SymRecContest/images.htm>.

#### Молчанова В. С. Ефективний метод пониження шуму в зображеннях сканувати інженерних креслень

У статті запропоновано метод адаптивного зниження шуму на зображеннях технічних креслень. Цей метод враховує специфічні особливості технічних креслень, а також розподіл і рівень шуму, властиві їм. У відмінності від існуючих підходів, запропонований метод передбачає попередній аналіз вихідного зображення, на підставі якого, вибирається відповідна комбінація медіанного і морфологічного фільтрів, а також їх параметри, найбільш відповідні для вибраного зображення. Проведені експерименти показали ефективність даного методу.

**Ключові слова:** інженерне креслення, адаптивне придушення шуму, розподіл шуму, рівень шуму, товщина лінії.

#### Molchanova V.S. The effective method of noise reduction in images scanned engineering drawings

In this paper, we propose a method of adaptive noise reduction in images of technical drawings. This method takes into account the specific features of engineering drawings, as well as the distribution and levels of noise inherent in them. Unlike existing approaches, the proposed method involves a preliminary analysis of the original image, based on which, to select the appropriate combination of median and morphological filters and their parameters that are most appropriate for the selected image. The experiments have shown the effectiveness of this method.

**Key words:** engineering drawing, adaptive noise reduction, distribution noise, noise level, line thickness

**Молчанова Вера Сергеевна**, ст. преподаватель, г. Мариуполь, Донецкая область, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», факультет информационных технологий, кафедра информатики, [vp24@yandex.ru](mailto:vp24@yandex.ru).

Рецензент: **Данич В.М.**, д.т.н., профессор.

Статья подана 11.03.14

УДК 004.415

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ОБРАЗОВАНИИ

**Палагин А. В., Петренко Н. Г., Тихонов Ю. Л., Могильный Г. А.,  
Величко В. Ю., Семенков В. В., Онопченко С. В.**

### THE QUESTION OF ONTOLOGICAL APPROACH TO EDUCATION

**Palagin A., Petrenko N., Tikhonov Y., Mogilny G.,  
Velichko V., Semenkov V., Onopchenko S.**

*В работе рассмотрены концептуальные положения системологии междисциплинарных научных исследований и предложены средства ее реализации в виде архитектуры знание-ориентированной информационной системы. В соответствии с междисциплинарным подходом к исследованию комплексных научно-технических проблем, в том числе в системе образования, предлагается системно-онтологический подход центральной идеей которого является разработка онтологических средств поддержки решения прикладных задач. В работе описан пример построения онтологии электронного курса для указанной предметной дисциплины, представлена блок-схема алгоритма автоматизированного синтеза тестов.*

*Предложен онтологический подход к оценке знаний использующий иерархичность онтографа. Показано, как результаты онтологизированного теста могут быть использованы для оценки качества электронного курса.*

**Ключевые слова:** управление знаниями, междисциплинарные исследования, компьютерная онтология, электронный курс.

**Введение.** Разработка методологии междисциплинарных научных исследований, включая новые перспективные архитектуры интеллектуальных компьютерных систем, обусловлена необходимостью современного этапа развития науки и ее приложений, которые носит явно междисциплинарный характер.

Междисциплинарная парадигма предполагает построение единой междисциплинарной системы знаний, обеспечивающей формализованные постановку и решение конкретных задач при выполнении перспективных научных исследований. Наука не в состоянии решить сложные междисциплинарные проблемы вследствие разобщенности научных дисциплин и их специализации, слабой координации научных коллективов и их тематики, отсутствием системного мониторинга и общего формализованного языка представления знаний [1].

Междисциплинарные исследования, захватывая зоны пограничных (демаркационных) ареалов научных дисциплин, интегрируют сущностные основы последних, образуя так называемые *клusterы конвергенции*, в которых происходит мощное синергетическое взаимодействие за счет взаимопроникновения парадигм и конкретных текущих результатов каждой из дисциплин, входящих в тот или иной клuster. Указанное взаимодействие отражает целостность реального мира, являясь стимулом и одновременно гарантией успешности междисциплинарных исследований и связанных с ними практических проектов, нетривиальности и значимости их результатов.

Одной из главных задач междисциплинарных исследований является обеспечение эффективного междисциплинарного взаимодействия на всех этапах жизненного цикла решения фундаментальных и прикладных научных проблем. На первый план выходят задачи методологического сопровождения и обеспечения процессов интеграции и унифицированного формализованного представления междисциплинарных знаний и операций над ними при решении научных и практических проблем анализа и синтеза сложных систем, установления принципов междисциплинарного взаимодействия в виде согласования понятий, методов исследований и интерпретации их результатов [2]. Таким образом, путь к междисциплинарности лежит через создание *системологии междисциплинарного взаимодействия* как самостоятельной отрасли знаний либо отдельного раздела информатики, имея в виду ее системообразующую функцию.

*Сущность междисциплинарного подхода к исследованию комплексных научно-технических проблем состоит в эффективном обеспечении двуединства концепций углубления конкретных*

знаний в предметній області (ПдО), с однієї сторони, і розширення охвата проблеми, исходя із реальності єдності світу, і стисливого відроджувати цілісну наукову картину світу, – з іншої.

Его реалізація складається в виявленні нових закономірностей по результатам системної інтеграції початкових наукових теорій через обмін поняттями і методами різних наук, формуванням нових понять, категорій, нових наукових теорій, обобщюючих початкові та розширяючих діапазон междисциплінарності в напрямку побудови **глобальної інтегрованої системи знань**, яка не просто фіксує наукову картину світу, але і є активною средою, забезпечуючою вирішення конкретних науково-техніческих завдань (поміж погружання в неї формалізованих завдань) та розвиток самої системи знань [2].

Следует отметить нетривиальность и высокую сложность самого перехода от прямых методов научных исследований к исследованиям на основе профессионального управления знаниями (knowledge management) и, конечно же, средств их методологической и информационно-технологической поддержки. Такими средствами могут быть знание-ориентированные информационные системы с онтологически-управляемой архитектурой.

Конструювання механізма, лежащого в основі методології наукових досліджень, непосредственно пов’язано з створенням концептуально-понятійного каркаса відповідаючих наукових теорій, в якості якого може служити сукупність формальних комп’ютерних онтологій конкретних предметних областей досліджень.

*Комп’ютерні онтології* являються інтенсивно розвиваючися в наявні часі разделом інформатики як теоретичної, так і практичної, виник навіть раздел інженерії знань, названий онтологічним інженерингом. Актуальність даного напрямлення представляється очевидною та обґрунтованою [1].

Общая задача онтологии – скомпенсировать отсутствие стандартов на представление знаний при взаимодействии пользователя с информационными системами и последних между собой.

Сказанное выше в полной мере относится и к системе образования.

Разобщенность, несогласованность и субъективизм предметных дисциплин (ПдД) требуют, в свою очередь, поиска новых подходов к существенному повышению эффективности манипулирования (начиная от формування дослідження курса преподавателем до перевірки усвоєних знань обучаючимися) дослідженнями курсами в ВУЗе. Також необхідно розробити *системологію междисциплінарного взаимодействия* предметних дисциплін на кафедре, факультеті, інституті, університеті та в перспективі – системе ВУЗів країни. Одним із

можливих підходів для реалізації цих цілей може бути *онтологічний підхід*, а точніше, його інтерпретація, зображення в [1].

**Основна частина.** Рассмотрим процесс “жизненного цикла” учебного курса, начиная от системного анализа ПдД преподавателем до составления системы тестов для проверки усвоенных знаний обучающимися. Ввиду ограниченного объема статьи этапы указанного процесса будут рассмотрены с разной степенью детализации.

*Системно-онтологический анализ предметной дисциплины.*

Под системным анализом обычно понимается вид исследования, при котором реальный или мыслимый объект расчленяется на составляющие части (элементы) и затем исследуются эти элементы и связи между ними. Анализ ПдО представляет особый вид научной деятельности, в результате которой строится интерпретационная модель предметных знаний (в широком смысле). В процессе анализа последние делятся на инвариантные и прагматические знания, концептуальные составляющие которых представляют онтологические знания.

Некоторые идеи по разработке методологии проектирования онтологии ПдД берут свое начало в литературе по объектно-ориентированному подходу, возникшему как технология программирования больших программных продуктов. Однако разработка онтологий как иерархической структуры терминов (понятий) отличается от проектирования объектов как классов и отношений в объектно-ориентированном программировании. Последний сосредотачивается главным образом на методах описания классов – программист принимает проектные решения, основанные на *операторных* свойствах класса, тогда как разработчик онтологии принимает эти решения, основываясь на *структурных* свойствах класса. В результате структура терминов и отношений между ними в онтологии отличаются от структуры классов объектов подобной ПдО в объектно-ориентированной программе. Кроме того, при разработке онтологии внутреннее содержимое понятия эксплицируется всегда, в то время как в объектно-ориентированном программировании зачастую применяется метод инкапсуляции как способ ограничения доступа к внутреннему содержимому объекта.

Системный подход к познанию ориентирует аналитика на рассмотрение любой ПдО с позиций закономірностей системного целого та взаимодействия составляющих його частей. Системність знань исходить зі многоуровневої ієрархичної організації будь-якої сущності, та є все об'єкти, процесси та явища можна розглядати як множину більш малих підмножеств (признаків, деталей) та, навпаки,

любые объекты можно (и нужно) рассматривать как элементы более высоких классов обобщений.

**Центральной идеей системно-онтологического подхода** является разработка онтологических средств поддержки решения прикладных задач – *полифункциональной онтологической системы*. Такая система (точнее, ее концептуальная часть) описывается двойкой (1), включающей онтологию ПдО (состоит из онтологии объектов и онтологии процессов) и онтологию задач [1].

$$O_{nC} = \langle O^{PdO}(O^o, O^p), O^3 \rangle \quad (1)$$

На рис. 1 представлена схема онтологий-компонентов предметной области и *проблемного пространства*. ПрП – это модель всех таких аспектов или компонент ПдО, с которыми связаны (опосредственно или непосредственно) знания, необходимые для решения различных задач в этой ПдО. Всякое ПрП состоит из двух блоков: инвариантной (относительно неизменной) части и множества изменяемых частей, соответствующих отдельным задачам.

$O^o$  – онтология множества объектов (понятий, концептов) ПдО, которая рассматривается как иерархическая структура классов, подклассов и элементов классов;

$O^p$  – онтология множества процессов ПдО, которая рассматривается как иерархическая структура процессов, подпроцессов, действий и операций;

$O^3$  – онтология совокупности задач (типовых наборов), которые могут быть поставлены и решены в ПдО. Рассматривается как иерархическая структура задач, подзадач, процедур и операторов.

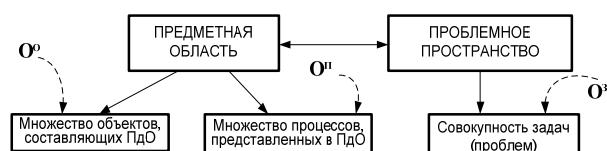


Рис. 1. Схема онтологий-компонентов предметной области

С точки зрения некоторой учебной дисциплины схема для ПдО (рис. 1) редуцируется в схему, представленную на рис. 2.

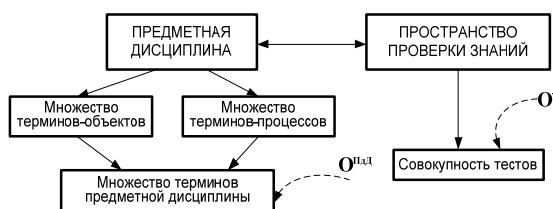


Рис. 2. Схема онтологий-компонентов предметной дисциплины

Такая система также описывается двойкой (2), включает онтологию ПдД и онтологию обобщенных тестов.

$$O_{nC} = \langle O^{PdD}, O^T \rangle \quad (2)$$

$O^{PdD}$  – онтология множества терминов ПдД. При этом в множество терминов включены термины-объекты и термины-процессы. Такое объединение корректно, потому что последние рассматриваются как абстрактные сущности и не предполагают интерпретации.

$O^T$  – онтология совокупности обобщенных тестов для разных контингентов обучающихся, которые могут быть сформированы в ПдД. Рассматривается как иерархическая структура обобщенных тестов разного уровня сложности.

Такие онтологии могут быть и простыми, т. е. составленными вручную, если ПдД не содержит большое количество терминов. Но с практической точки зрения представляет интерес многократно используемая, формальная или компьютерная онтология, построенная автоматизированным способом на основе компьютерной обработки всевозможных текстовых источников информации по заданной ПдД (энциклопедии, толковые словари, монографии, учебники и пр.). Инструментом для обработки может быть применен “Инструментальный комплекс онтологического назначения”, описанный в [1]. Особо выделим такой источник текстовой информации как “Толковый онтографический словарь” домена близких ПдО, который, по сути, представляет собой системно интегрированное множество онтологий ПдО.

Кратко рассмотрим предлагаемое нами понятие модели компьютерной онтологии ПдО, при этом уделив особое внимание отличительным признакам такой онтологии от общезвестных моделей онтологий.

В общем случае модель онтологии некоторой ПдО представляют упорядоченной тройкой [1, 3]:

$$O = \langle X, R, F \rangle, \quad (3)$$

где  $X, R, F$  – конечные множества соответственно понятий, семантических терминов и функций интерпретации.

Полная (компьютерная) онтология является (формальным) выражением концептуальных знаний о предметной области и по своей значимости сопоставима с базой знаний ЗОИС, а ее построение является специфической формой творчества. Творческий процесс при этом можно представить совокупностью операций-процедур с суждениями, утверждениями, понятиями и отношениями между ними, а его результат – основой для построения составной части научной теории – онтологической

базы знаний в заданной предметной области, описанной в декларативной форме.

Ниже дано предлагаемое описание и модель онтологии ПдО [1].

**Компьютерная онтология ПдО** – это:

1) иерархическая структура конечного множества понятий, описывающих заданную предметную область;

2) структура представляет собой онтограф, вершинами которого являются понятия, а дугами – семантические отношения между ними;

3) понятия и отношения интерпретируются в соответствии с общезначимыми функциями интерпретации, взятыми из электронных источников знаний заданной ПдО;

4) определение понятий и отношений выполняется аксиомами и ограничениями области действия;

5) формально онтограф описывается на одном из языков описания онтологий;

6) функции интерпретации и аксиомы описаны в некоторой подходящей формальной теории.

Схема формальной модели полной онтологии описывается четверкой:

$$O = \langle X, R, F, A(D, Rs) \rangle, \quad (4)$$

где  $X$  – множество концептов;

$R$  – множество концептуальных отношений между ними;

$F : X \times R$  – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях;

$A$  – конечное множество аксиом, которые используются для записи всегда истинных высказываний (определений и ограничений);

$D$  – множество дополнительных определений понятий;

$Rs$  – множество ограничений, определяющих область действия понятийных структур.

Рассмотрим отличительные особенности моделей (3) и (4).

1. Для множества  $X$ . В модели (3) это множество строго ориентировано на решаемую задачу (задачи). В модели (4) множество  $X$  максимально полное, строится автоматизированным способом, в идеале включает все понятия заданной ПдО. Такое допущение принято из-за того, что, если изменяется типовой набор задач, то онтология объектов не должна изменяться.

2. Для множества  $R$ . В модели (3) это множество субъективно. В модели (4) множество  $R$  также строится автоматизированным способом, верифицируется на лингвистическом корпусе текстов и проверяется инженером по знаниям и (возможно) экспертом в заданной ПдО.

3. Для множества  $F$ . В модели (3) функции интерпретации выбираются исследователем в

соответствии с его “профессиональным вкусом”, дать собственную интерпретацию или воспользоваться толковым словарем. В модели (4) это множество формируется исключительно из общезначимых источников текстовой информации – энциклопедий и толковых словарей, причем согласованных определений понятий может быть несколько.

4. Множество  $A$  включает подмножества дополнительных определений  $D$  понятий и ограничений на интерпретацию  $Rs$  модели ПдО. Подмножество  $D$  включает определения понятий, не вошедшие в  $F$ , уточняющие или доопределяющие данное понятие и/или отношение в соответствии с мнением некоторого круга сообщества исследователей. Подмножество  $Rs$  включает только значимые ограничения на интерпретацию модели ПдО, оно может быть и пустым. Например, в [1] принято ограничение на компьютерную обработку текстовой информации только “Научно-технический стиль” и/или “Деловая проза”.

В итоге, рассмотренные выше отличительные особенности моделей (3) и (4) позволяют сделать следующий вывод.

**Модель (3):**

- содержит только декларативные знания предметной области;
- описывает только фрагмент предметной области;
- концептуализирует (не обязательно) часть научной теории;
- специфицирует (субъективно) указанный фрагмент;
- не может одновременно выступать и результатом и инструментом спецификации.

**Модель (4):**

- содержит как декларативные, так и процедурные знания предметной области, что позволяет решать задачи пользователя;
- описывает всю предметную область, построена на основе компьютерной обработки максимально полного лингвистического корпуса текстов, описывающего знания заданной ПдО, а потому является *общезначимой*;
- предполагается формальное описание на языке OWL, зафиксированном международным стандартом, с помощью упомянутого выше Инstrumentального комплекса;
- определяет общеупотребительные, семантически значимые “понятийные единицы знаний”. Она отделяет “статические” и “динамические” компоненты знаний предметной области от операционных знаний. В отличие от знаний, закодированных в алгоритмах, она обеспечивает их унифицированное и многократное использование на разных компьютерных платформах, при решении разных задач;
- в онтологию предметной области включены объекты и процессы или статистические знания, а в онтологию задач включены классы задач, методы их

решения и соответствующие алгоритмы. При такой схеме, если изменяется класс решаемых задач, то онтологии объектов и процессов готовы к повторному использованию, перепроектируется же только онтология задач.

Только формальная (компьютерная, полная) онтология ПдО позволяет реализовать все те функции, о которых говорилось во введении, в том числе и построение знание-ориентированных информационных систем с онтолого-управляемой архитектурой. Модель (3) онтологии ПдО позволяет же строить только онтолого-знающие информационные системы (согласно классификации, предложенной в [3]).

#### *Розробка електронного курса (ЭК) “Общие основы построения знание-ориентированных компьютерных систем”*

Ниже описан пример построения онтологии ЭК для указанной предметной дисциплины, взятого из [3].

Онтология ЭК содержит две составляющие: первая представляет собой структурированное семантическое пространство всех форм знаний электронного курса, а вторая – онтологическую иерархию концептов – терминов, связанных одним концептуальным отношением «выше-ниже». Системная интеграция указанных составляющих должна обеспечить построение полной онтологии электронного курса, в которой реализуется онтолого-информационная связь, как внутри самого курса, так и с другими, близкими по тематике курсами.

Рассмотрим детальнее указанные онтологические составляющие.

Первая составляющая, по сути, представляет собой содержание всех форм знаний (аналитической, табличной, графической и текстовой), которые содержатся в ЭК. Первые три формы представлены в виде отдельных полных списков аналитических выражений, таблиц и рисунков, имена которых соответствуют именам-обозначениям в тексте ЭК.

Текстовая форма представления знаний формируется следующим способом. Вершина структуры соответствует имени ЭК. Ниже дерево разветвляется соответственно делению текста на разделы, подразделы и т. д. При этом возможны три варианта:

- один раздел соответствует одной лекции (а имя раздела соответствует имени одной лекции);
- один раздел соответствует нескольким лекциям, тогда имена подразделов будут соответствовать именам лекций;
- несколько подразделов соответствуют одной лекции, тогда следует сформировать новый узел, который будет соответствовать имени лекции.

Формирование структуры первой составляющей онтологии в основном учитывает требования SCORM-стандарта к наполнению

электронных курсов. Оттого она названа SCORM-иерархией. Пример SCORM-иерархии электронного курса «Общие основы построения знание-ориентированных компьютерных систем» приведен на рис. 3.

Вторая составляющая онтологии ЭК представляет собой простую онтологию понятий (составленных из общих терминов), которые связаны между собой обобщенным концептуальным отношением «выше – на\_одном\_уровне – ниже». По сути, это есть начальная онтология концептуальных знаний электронного курса. Для среднего по объему электронного курса количество таких концептов равно приблизительно 20-ти.

Далее вокруг каждого такого концепта формируется множество концептов-терминов, элементы которого могут принадлежать как данному ЭК, так и другим курсам. При этом необходимо обеспечить семантическую связь как с SCORM-иерархией ЭК (данного и других, к которым входит выбранный термин-концепт), так и с глобальным глоссарием (в котором наиболее полно приведено определение термина). Таким образом, вторую составляющую онтологии ЭК назовем начальной онтологией электронного курса. На рис. 4 показан пример начальной онтологии для ЭК «Общие основы построения знание-ориентированных компьютерных систем».

Отдельно следует выделить разработку мультимедийной формы представления знаний электронного курса, что полностью зависит от профессионального и педагогического уровня преподавателя.

Кратко опишем схему построения онтологии обобщенных тестов с привязкой к онтологии ЭК «Общие основы построения знание-ориентированных компьютерных систем» (рис. 3). Содержательное наполнение конкретными тестами указанной онтологии оставим преподавателю соответствующей дисциплины.

1. Вершиной  $O^T$  является, как правило, имя самого электронного курса.

2. Так как в подавляющем большинстве ответы на тесты формируются в текстовой форме (письменной или устной), то и тесты следует начинать формировать в ветви онтографа “Текстовое представление” ЭК.

3. Далее ранжирование форм представления знаний ЭК следует как последовательность “Аналитическое представление” → “Графическое представление” → “Табличное представление”.

4. Путь прохождения по онтографу следует начинать сверху вниз, исходя из предположения, что “чем дальше в лес, тем больше дров”.

5. Оценки (или баллы) за выполнение тестов выбираются методом экспертных оценок для разных контингентов обучающихся.

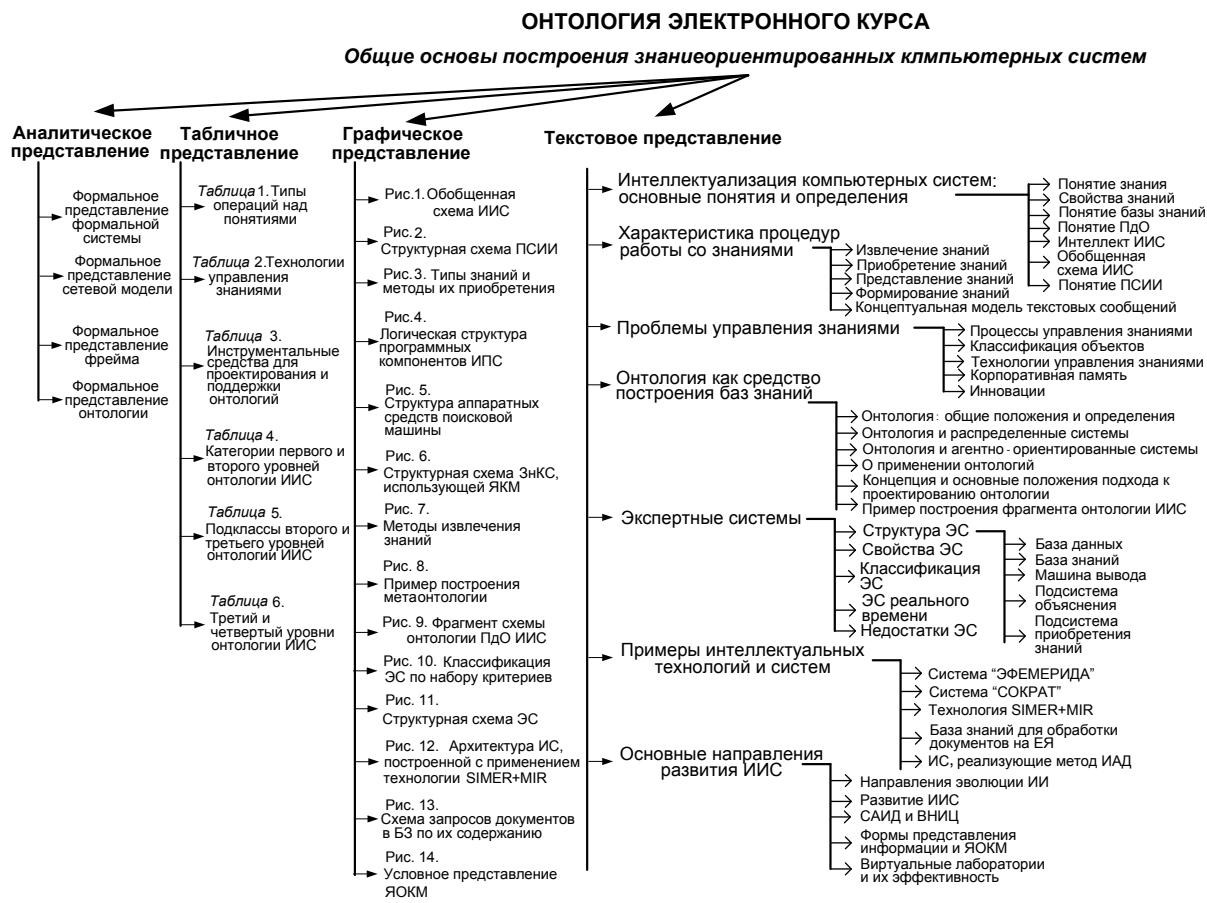


Рис. 3. Пример SCORM-иерархии электронного курса

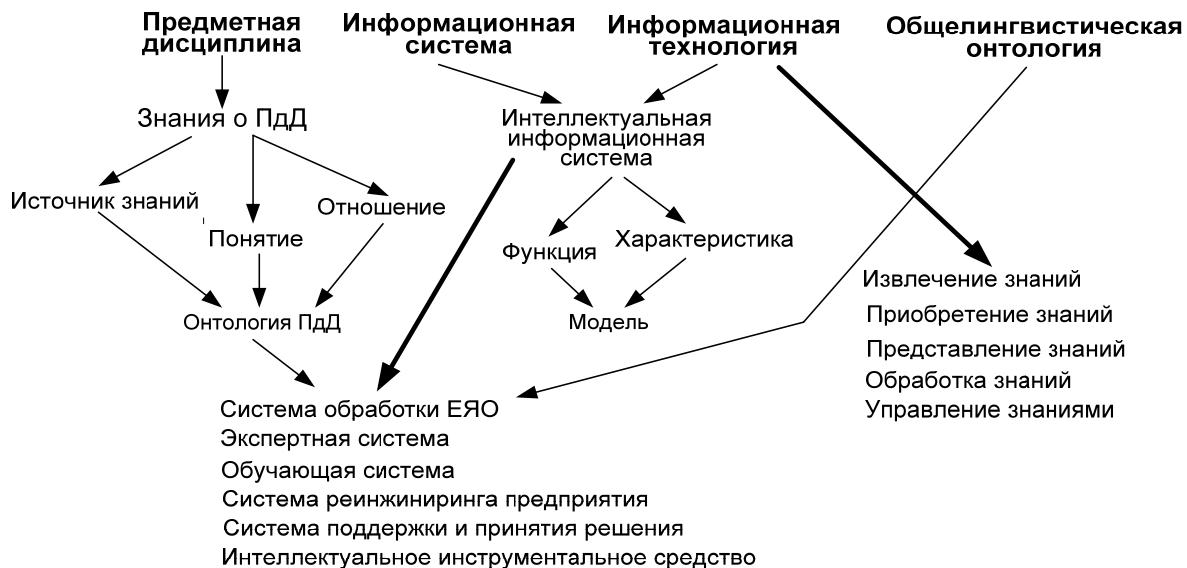


Рис. 4. Пример начальной онтологии электронного курса

Ниже описан еще один вариант составления тестов для предметных дисциплин.

Развитие систем тестового контроля знаний обуславливает актуальность автоматизации подготовки тестовых заданий, характеризующееся формализованностью знаний [4].

В литературе предлагаются подходы к контролю знаний, базирующийся на объективизации оценки учащегося.

В подходе, использующем семантические сети, предметная область тестируемого объекта представлена онтологией [5]. Структура онтологии расширяется дополнительными параметрами, характеризующими истинность фактов онтологической базы знаний для объекта. Задача тестирования сводится к задаче параметрической идентификации модели объекта. Представление онтологии в более общем виде (семантической сети) позволяет описать структуру связей объектов ПдД в виде бинарных предикатов. При этом можно использовать аппарат раскрашенных сетей Петри. Недостатком такого подхода является существенная трудоемкость построения сетей Петри и, как следствие, реализации метода.

В [6] предложена понятийно-тезисная модель представления знаний, на базе которой разрабатывается система автоматизированной генерации тестов для контроля знаний. Вместе с тем, в ней не учитывается полнота такого представления информации и о полноте теста, который должен быть представлен знание обучаемым в качестве ответа.

В [7] предложен структурно-онтологический подход к контролю знаний. Учебный курс (*V*) представляется совокупностью  $V = \langle P, Z, Q, Mo, Me, K, A \rangle$ , где *P* – множество проблем; *Z* – множество целей; *Q* – совокупность задач; *Mo*, *Me* – соответственно множества моделей и методов, описанных в курсе; *A* – множество средств; *K* – совокупность критериев для оценки элементов множеств *Mo*, *Me*, *A*. Реализация такой оценки знаний является трудоемкой и субъективизированной.

Известен метод тестирования знаний с применением так называемой «эталонной» онтологии, построенной с помощью экспертных знаний, либо на основании знаний, полученных от сообщества студентов [8, 9]. Для проверки разности «эталонной» онтологии и онтологии, построенной студентом, используется онтологический тест, в котором терминам присваиваются весовые коэффициенты. По этим значениям онтология строится в виде графического представления, названного онтологическим графом. Далее следует решить задачу сравнения соответствующих онтологических структур. Для их сравнения предлагается использовать метод нечеткого структурного анализа онтологий, реализованный на основе структурного моделирования. При этом интегрированы только два основных типа тестовых

заданий: открытые и закрытые тесты. Следует также учитывать, что «эталонная» онтология, формируемая с помощью эксперта либо сообществом студентов, носит субъективный характер.

По сравнению с известными методами синтеза тестов [10, 11], онтологический подход [12] позволяет ускорить и упростить подготовку ЭК и тестов ПдД за счет использования уже имеющейся в «Библиотеке Онтологий» (БО) соответствующей онтологии и ее описания [1].

Для эффективного применения онтологического подхода для тестирования необходима разработка нового инструментария, обладающего такими характеристиками как: доступность для освоения неспециалистами в инженерии знаний; возможность использования добрых общезначимых онтологий ПдД; эффективная процедура сравнения онтологии построенной студентом с общезначимой онтологией ПдД.

Онтологический подход к синтезу тестов предполагает:

- 1) автоматизированное построение онтологии ПдД из ПдО с использованием БО, хранящейся в упомянутом выше Инstrumentальном Комплексе Онтологического Назначения;

- 2) автоматизированная визуальная разметка исходного учебного материала с выделением базовых терминов и отношений между ними;

- 3) использование описаний выделенных терминов БО ПдД;

- 4) использование шаблонов тестовых высказываний;

- 5) генерация дистракторов тестов (неправильных, но правдоподобных вариантов ответа) на основе терминов того же типа, что и правильный ответ и отношений между терминами;

- 6) определение в режиме реального времени последовательности вопросов в зависимости от предыдущих ответов.

Алгоритм автоматизированного синтеза тестов, реализующий вышеуказанные функции, включает следующие шаги:

- 1) получение из библиотеки онтологий онтологии, соответствующей ПдД;

- 2) визуализация онтологии ПдО и автоматизированный выбор терминов соответствующих ПдД;

- 3) автоматизированная визуальная разметка исходного учебного материала ПдД с выделением в нем базовых терминов теста;

- 4) настройка параметров теста (количество, формы, параметры форм и т. д.);

- 5) автоматизированное заполнение шаблонов тестов;

- 6) построение дистракторов;

- 7) определение логической последовательности вопросов в зависимости от предыдущих ответов;

8) автоматизированная верификация и корректировка тестов и дистракторов;

9) сохранение тестового задания в базе системы тестирования знаний.

Блок-схема алгоритма автоматизированного синтеза тестов представлена на рис. 5.



Рис. 5. Блок-схема алгоритма автоматизированного синтеза тестов

Ниже приводится описание работы алгоритма (рис. 5).

1. Запуск БО Инструментального комплекса, выбор необходимой онтологии, соответствующей ПдД.

2. Выбор онтологии в окне БО из области «Список онтологий».

3. Вывод на экран визуального представления фрагмента онтологии ПдД. Графическое представление онтологии будет представлено в виде онтографа, термины в котором представлены как вершины или узлы графа, а связи между терминами как дуги или ребра.

Автоматизированный выбор терминов соответствующих ПдД. Пользователь выбирает требуемые термины, которые вместе с их описаниями сохраняются для дальнейшего использования при генерации тестовых заданий.

4. Автоматизированная визуальная разметка исходного учебного материала ПдД с выделением в нем базовых терминов теста. Пользователь в диалоговом режиме выбирает требуемый материал для различных базовых терминов проектируемого теста из ранее выбранных понятий (см. п. 3).

5. Настройка параметров теста (количество, формы, параметры форм и т. д.). На этом этапе пользователь должен выбрать следующие параметры и специфику создаваемого теста:

- общее количество вопросов в teste;
- расчет времени отведенного на прохождение тестирования;
- распределение вопросов по каждому из существующих типов тестов. Например: множественный выбор (вопрос имеет несколько ответов, правильными из которых, является один или несколько), на соответствие (требуется правильно сопоставить термины из двух списков), простой ответ (требуется вписать правильный ответ с клавиатуры);

• порядок заданий. Выбор обычного порядка вопросов в teste или случайного. Если выбран обычный порядок, то сначала будут показаны задания одного типа, затем следующего. Если выбран случайный порядок, то все задания в teste будут “перемешаны”.

6. Автоматизированное заполнение шаблонов тестов. Создание теста на основе уже созданной заранее формы-шаблона. Пользователю требуется заполнить следующие поля шаблона для нового теста:

- название создаваемого теста;
- порядковый номер текущего вопроса;
- текст вопроса;
- выбрать из ниспадающего списка тип вопроса;
- количество баллов за правильный ответ на вопрос.

7. Построение дистракторов – неправильных ответов, похожих на правильные по каким-либо критериям. Дистракторы могут формироваться двумя способами. Первый способ: автоматизированный. В диалоговом режиме работы программы предлагается пользователю выбрать автоматически сгенерированные неправильные ответы на основе правильного ответа или ввести свой вариант ответа с клавиатуры. Второй способ основан на результатах прохождения тестовых заданий типа “на дополнение” (вопросы, требующие ввода правильного ответа). Наиболее часто встречающиеся неправильные ответы при прохождении теста помечаются как дистракторы и в

далнейшем используются при формировании тестового задания.

8. Определение логической последовательности вопросов в зависимости от предыдущих ответов (см. пример на рис. 5).

9. Автоматизированная верификация и корректировка тестов и дистракторов. После формирования теста запускается его автоматизированная проверка. Программа проверяет обязательное наличие как минимум одного правильного ответа в вопросе и наличие в вопросах дистракторов.

10. Сохранение тестового задания в базе системы тестирования знаний. Если проверка и корректировка проектируемого теста прошла успешно, то тест сохраняется в общей базе системы тестирования. После этого он становится доступным для прохождения.

Использование исходного учебного материала для синтеза тестов создаст возможности для интеграции информационных технологий и процессов обучения и контроля в e-learning.

В обучении и, в частности в e-learning, малая степень формализации объектов, характерна ситуация неопределенности, что снижает возможности построения математических моделей. Оптимизацию необходимо выполнять по нескольким критериям и иметь возможность компромиссов при их выборе. Моделирование в e-learning, в т. ч. контроля знаний, связано с объемным предварительным анализом объекта, проверкой различных гипотез с разнородными типами моделей, со сложными математическими зависимостями и громоздкими вычислениями.

При тестировании необходимо учесть субъективность оценки знаний и случайных отклонений у построенного проверяемого онтографа ПдД от "эталонного". При онтологическом подходе можно воспользоваться иерархичностью онтографа. Очевидно, что чем больше номер уровня в онтографе, к которому относится изучаемый термин, тем глубже студент должен знать ПдД. Например, на рис.5 изображена ветвь онтографа ПдД БД. Для изучения понятия "Базисные средства манипулирования" студент должен знать все термины, расположенные по ветви выше („Информационные технологии”, „Технология БД”, ..., „Реляционная база данных”, ...). Следовательно, оценки знаний можно связать с номером уровня в онтографе, к которому относится изученный термин. Кроме того, если студент не ответил на вопросы, связанные с понятием "Базисные средства манипулирования" (оценка 50 баллов по 100 бальной шкале), то можно в teste обойти вопросы с более высокими уровнями в онтографе ("Реляционная алгебра", "Замкнутость реляционной алгебры", ..., "Специальные реляционные операции") (рис. 6, 7).

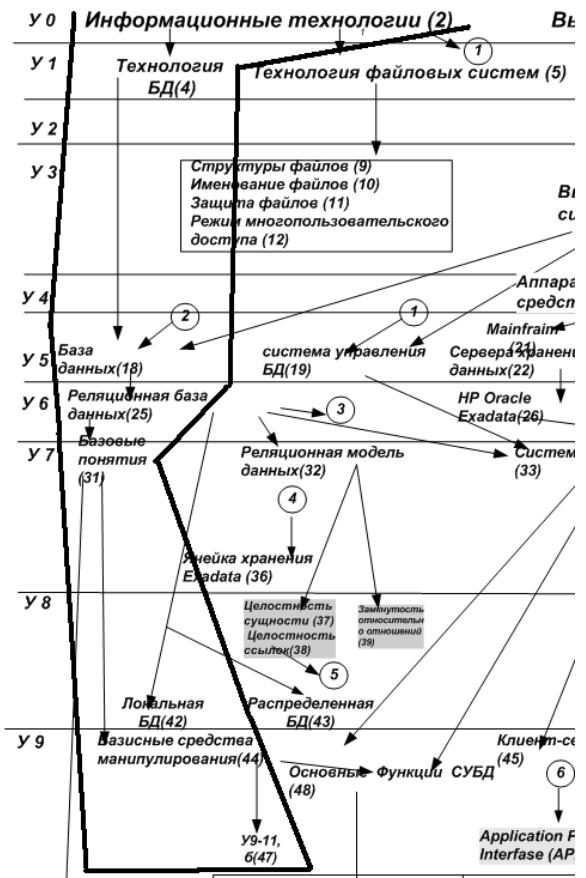


Рис. 6. Ветвь онтографа ПдД БД (Информационные технологии -...РБД-...реляционная алгебра-...замкнутость реляционной алгебры..., „Специальные реляционные операции”))

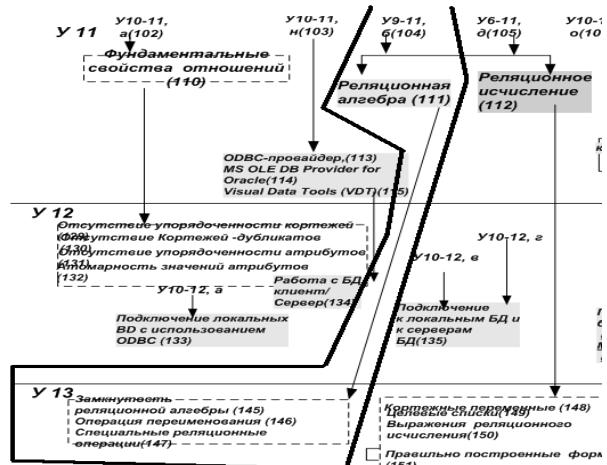


Рис. 7. Продолжение ветви онтографа ПдД БД (Информационные технологии-...РБД-...реляционная алгебра-...замкнутость реляционной алгебры..., „Специальные реляционные операции”))

Кроме того, результаты онтологизированного теста могут быть использованы для оценки качества ЭК. Например, построим графическое изображение распределения баллов по дисциплине, по количеству студентов, получивших этот балл. С увеличением балла уменьшается количество

студентов, его получивших. Эта тенденция объясняется тем, что на высший балл обычно претендует меньшее количество студентов. Такие тенденции можно моделировать зависимостями, графически представленными, как кривые типа кривой Парето (рис. 8) [13].

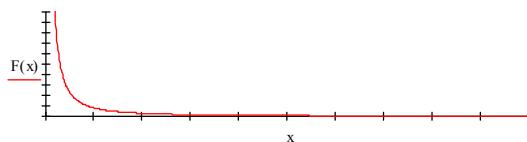


Рис. 8. Кривая Парето

То, что выше говорилось об иерархичности онтографа, относится и к каждой ветви онтографа. Следовательно, при тестировании на группе студентов возникает порожденное онтографом ПдД семейство распределений баллов по ветвям онтографа ПдД, изображаемых семейством кривых типа кривой Парето. При учете частных знаний по ветвям онтографа в общий балл по ПдД общая оценка вычисляется как сумма частных с коэффициентами. Следовательно, графическое изображение распределения баллов по дисциплине, по количеству студентов, получивших этот балл, будет кривая типа кривой Парето. По распределению баллов по количеству студентов с использованием метода наименьших квадратов

(МНК) можно подобрать параметры кривой  $S$  типа Парето, наиболее близкой к этому распределению. Аналогичным образом можно построить семейство кривых типа Парето  $\{V_i\}$ , отвечающих семейству распределений баллов по ветвям онтографа ПдД. Поскольку  $S$  отвечает усредненному по ветвям онтографа распределению баллов по дисциплине, по количеству студентов, то для тех кривых из семейства  $\{V_i\}$ , которые расположены дальше от  $S$ , фрагменты ЭК им соответствующие требуют модификации.

Приведем пример построения кривой Парето. При анализе распределения баллов по дисциплине БД в нескольких группах учащихся получены следующие результаты (рис. 9, рис. 10):

На рис. 9 в строке  $n$  расположены номера баллов, в строке  $b$  – возможные баллы при тестировании по ПдД БД (от полученных минимальных до полученных максимальных), в строке  $St$  – количество учащихся, получивших данный балл.

На рис. 10 по оси  $b$  расположены баллы, по оси  $St$  – количество учащихся, получивших данный балл. Видно, что разброс баллов относительно невелик, что согласуется с данными, описанными в [14].

Для моделирования искомой зависимости нормируем  $S_t$  (см. рис. 11, рис. 12).

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$b$	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
$St$	9	0	0	0	0	16	0	0	0	0	8	0	8	0	0	5	0	4	5	0	0	0	0	0	0

$n$	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
$b$	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
$St$	4	0	0	4	0	0	0	0	5	0	6	4	0	4	0	4	2	3	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 9. Результаты распределения результатов по дисциплине БД

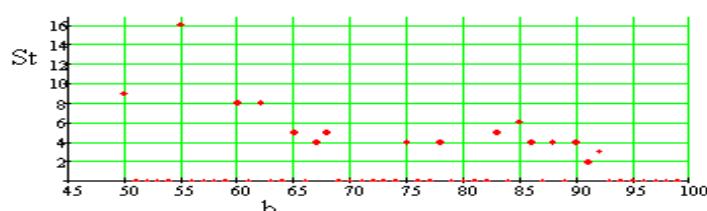


Рис. 10. Результат тестирования

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$S_t/100$	0.09	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0.08	0	0.08	0	0	0.05	0	0.04	0.05	0	0	0	0	0	0	0

$n$	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
$S_t/100$	0.04	0	0	0.04	0	0	0	0	0.05	0	0.06	0.04	0	0.04	0	0.04	0.02	0.03	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 11. Нормированные значения  $S_t$

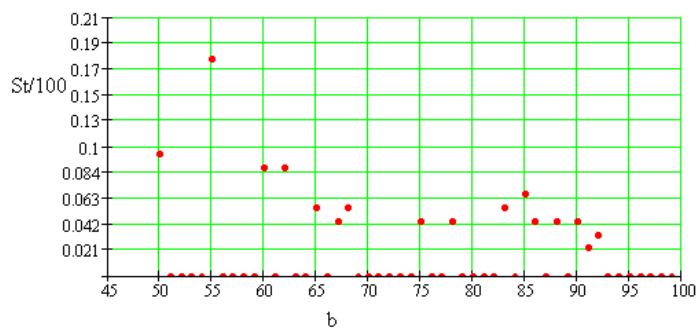


Рис. 12. Нормировочный коэффициент количества учащихся, получивших данный балл

На рисунке 11 в строке п расположены номера тестируемых студентов, в строке St/100 – нормированный коэффициент количества учащихся, получивших данный балл.

Подберем кривую типа Парето по методу наименьших квадратов (рис. 13).

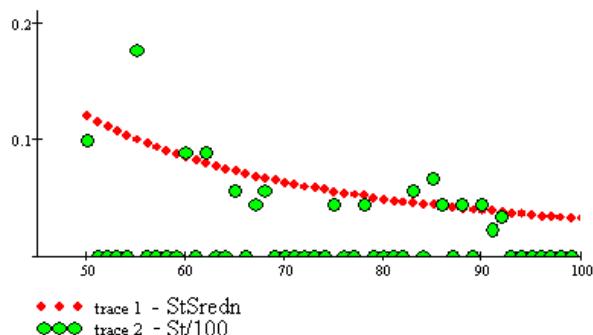


Рис. 13. Кривая типа Парето для нормированного коэффициента количества учащихся, получивших данный балл

На рис. 13 по оси “trace1” – кривая типа Парето, “trace2” – нормированный коэффициент количества учащихся, получивших данный балл.

Кривая на рис.13 показывает усредненное распределение баллов в группе и позволяет определить средний теоретический балл выбранной группы по данной ПдД.

Конечно, эта оценка зависит и от случайности процесса, обусловленного индивидуальными особенностями обучаемых. Кроме того, вид зависимости может уточняться. Однако при наборе статистики случайные отклонения будут учтены и вид зависимости будет более правдоподобен.

Отметим, что при наборе статистики на значительном количестве студентов, вышеуказанные зависимости (кривые Парето) становятся мерой правдоподобия курса для данного контингента учащихся. Во-первых, если средний балл малый, то это показатель недоработки курса под данный контингент. Во вторых, если распределения оценок отклоняются от кривых типа Парето, то курс неадекватен поставленным целям. В третьих, по каждой ветви онтологии ЭК можно

получить подобные распределения и по отклонениям от Парето судить, какой фрагмент ЭК вносит наибольшие отклонения от поставленной цели курса.

Возникает также задача адекватности оценки знаниям и ее объективность в дистанционном обучении. Понятно, что балл неоднозначен для разных контингентов учащихся. «100» по дисциплине «Информатика» для студентов специальности «Документоведение и информационная деятельность» (ДИД) и для специальности «Информатика» подразумевает разные требования. Для студентов специальности «Информатика» более углубленно изучается SQL, с оптимизацией запросов и т. д.

Таким образом «100» – это, с одной стороны оценка наивысшего уровня, доступного данному контингенту, с другой стороны, как уже отмечалось выше, оценка – это проверка адекватности курса на соответствие данному контингенту обучающихся и поставленным целям, а также объективности оценки знаний.

**Выводы.** Рассмотрены концептуальные положения системологии междисциплинарных научных исследований и предложены средства ее реализации в виде архитектуры знание-ориентированной информационной системы. Также рассмотрены концептуальные положения предлагаемой интерпретации онтологического подхода в образовании. Синтезирована концептуальная модель предметной дисциплины, рассмотрен пример построения ее онтологии и онтологии обобщенных тестов.

Структурированность учебно-методических материалов, насыщенность их терминами и дефинициями позволяет эффективно использовать онтологические модели в образовательной технологии, в том числе и в тестовых заданиях. Инструментарий компьютерных онтологий позволяет представить множество ее объектов и отношений между ними в явном виде и автоматизировать часть трудоемких этапов построения учебно-методических тестов.

Полнота охвата предметной области, выраженная в множестве ответов и базирующаяся на общезначимой онтологии предметной области,

объективизирует процесс тестирования. В концепцию моделей оценивания знаний необходимо включать возможность набора и обработки статистики, проверки адекватности курса с использованием распределения баллов, автоматического определения оценки по полученным баллам, а также разнородные типы моделей, со сложными математическими зависимостями и визуализацию результатов моделирования.

### Література

- Палагин А. В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний / А. В. Палагин, С. Л. Крывый, Н. Г. Петренко. – [Монография]. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с.
- К проектированию архитектуры компонент ЗОИС для перспективных научных исследований // [А. В. Палагин, Н. Г. Петренко, В. Н. Кулаковский, М. П. Слабковская]. – Бюліка інтелекта. – 2013. – №2 (81) – С.105 – 109.
- Палагин А. В. Системная интеграция средств компьютерной техники / А. В. Палагин, Ю. С. Яковлев. – Винница : УНІВЕРСУМ. – 2005. – 680 с.
- Давыдова Н. А. Автоматизированный синтез тестовых заданий для систем педагогического контроля знаний / Давыдова Н. А., Рудинский И. Д. // „Информатизация образования и науки”. – 2013. – № 1 (17).
- Копылова Е.В. Тестирование объектов методом адаптивного обхода онтологии // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2005. – № 4. – С. 17 – 23.
- Титенко С. В. Семантична модель знань для цілей організації контролю знань у навчальній системі / Тітенко С. В., Гагарін О. О. // Сб. трудов VI Межд. конф. «Інтелектуальний аналіз інформації – 2006». – Київ. – 2006. – С. 298 – 307.
- Нетавская Е. Т. Структурно-онтологический подход к оптимизации процессов контроля знаний / Нетавская Е. Т. // Штучний інтелект. – Черкаси : Черк. гос техн. ун-т. – 2006. – №4. – С. 541 – 547.
- Tazaki E. Structural modeling in a class of systems using fuzzy sets theory [Text] / Eiichiro Tazaki, Michio Amagasa // Fuzzy Sets and Systems. – 1979. – № 2. – P. 87 – 103.
- Морозова О. И. Метод нечеткого структурного анализа онтологий [Текст] / О. И. Морозова, А. Ю. Соколов, В. М. Хуссейн // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – 2010. – Вип. 5 (86). – С. 104 – 107.
- Сергушичева А. П. Гибридный подход к синтезу тестовых заданий в тестирующих системах / Сергуничева А. П., Швецов А. Н. // МКО. – 2006. – С. 215 – 228.
- Титенко С. В. Практична реалізація технології автоматизації тестування на основі понятійно-тезисної моделі / Тітенко С. В., Гагарін О. О. // Сб. науч. тр. 10-й Межд. конф. Української асоціації дистанціонного образования „Образование и виртуальность”. – Харків – Ялта : УАДО. – 2006. – С. 401 – 412.
- К вопросу автоматизированного построения онтологии предметной дисциплины для электронных курсов обучения / [А.В. Палагин, Н.Г. Петренко, Ю.Л. Тихонов, В.Ю. Величко]. – Вісн. Східноукр. ун-ту ім. В. Даля. – 2010. – №10 (152). – С. 169 – 172.
- Ланге О. Теория статистики / Ланге О., Банасиньский А. – М : Статистика. – 1979. – 399 с.
- Алешин Л. И. Контроль знаний в дистанционном обучении: аспекты проблемы / Алешин Л. И. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://laleshin.narod.ru/kzdo-ap.htm>.

### R e f e r e n c e s

- Palagin A. V. Ontologicheskie metody i sredstva obrabotki predmetnyh znanij / A. V. Palagin, S. L. Kryvyyj, N. G. Petrenko. – [Monografija]. – Lu-gansk: izd-vo VNU im. V. Dalja, 2012. – 324 s.
- K proektirovaniyu arhitektury komponent ZOIS dlja perspektivnyh nauchnyh issledovanij // [A. V. Palagin, N. G. Petrenko, V. N. Kulakovskij, M. P. Slabkovskaja]. – Bionika intelektu. – 2013. – №2 (81) – C.105 – 109.
- Palagin A. V. Sistemnaja integracija sredstv kompjuternoj tehniki / A. V. Palagin, Ju. S. Jakovlev. – Vinnica : UNIVERSUM. – 2005. – 680 s.
- Davydova N. A. Avtomatizirovannyj sintez testovyh zadanij dlja sistem pedagogicheskogo kontrolja znanij / Davydova N. A., Rudinskij I. D. // „Informatizacija obrazovanija i nauki”. – 2013. – № 1 (17).
- Kopylova E.V. Testirovanie ob#ektorov metodom adaptivnogo obhoda ontologii // Sb. nauch. tr. NGTU. – 2005. – № 4. – С. 17 – 23.
- Titenko S. V. Semanticna model' znan' dlja cilej organizacii kontrolju znan' u navchal'nij sistemi / Titenko S. V., Gagarin O. O. // Sb. trudov VI Mezhd. konf. «Intellectual'nyj analiz informacii – 2006». – Kiev. – 2006. – S. 298 – 307.
- Netavskaja E. T. Strukturno-ontologicheskij podhod k optimizacii processov kontrolja znanij / Netavskaja E. T. // Shtuchniy intelekt. – Cherkasi : Cherk. gos tehn. un-t. – 2006. – №4. – S. 541 – 547.
- Tazaki E. Structural modeling in a class of systems using fuzzy sets theory [Text] / Eiichiro Tazaki, Michio Amagasa // Fuzzy Sets and Systems. – 1979. – № 2. – P. 87 – 103.
- Morozova O. I. Metod nechetkogo strukturnogo analiza ontologij [Tekst] / O. I. Morozova, A. Ju. Sokolov, V. M. Hussejn // Sistemi obrobki informacii : zb. nauk. pr. – 2010. – Vip. 5 (86). – S. 104 – 107.
- Sergushicheva A. P. Gibridnyj podhod k sintezu testovyh zadanij v testirujushhih sistemah / Sergushicheva A. P., Shvecov A. N. // MKO. – 2006. – S. 215 – 228.
- Titenko S. V. Praktichna realizacija tehnologii avtomatizaciї testuvannja na osnovi poniatijno-tezisnoї modeli / Titenko S. V., Gagarin O. O. // Sb. nauch. tr. 10-j Mezhd. konf. Ukrainskoj associacii distancionnogo obrazovanija „Obrazovanie i virtu-al'nost”. – Har'kov – Jalta : UADO. – 2006. – S. 401 – 412.
- K voprosu avtomatizirovannogo postroenija ontologii predmetnoj discipliny dlja jeklektronnyh kursov obuchenija / [A.V. Palagin, N.G. Petrenko, Ju.L. Tiho-nov, V.Ju. Velichko]. – Visn. Shidhoukr. un-tu im. V. Dalja. – 2010. – №10 (152). – S. 169 – 172.
- Lange O. Teorija statistiki / Lange O., Banasin'skij A. – M : Statistika. – 1979. – 399 s.
- Aleshin L. I. Kontrol' znanij v distancionnom obuchenii: aspekty problemy / Aleshin L. I. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupa : <http://laleshin.narod.ru/kzdo-ap.htm>.

**Палагін О. В., Петренко М. Г., Величко В. Ю.,  
Могильний Г. А., Тихонов Ю. Л., Семенков В. В.,  
Онопченко С. В.** До питання застосування  
онтологічного підходу в освіті.

У роботі розглянуті концептуальні положення системології міждисциплінарних наукових досліджень та запропоновані засоби її реалізації у вигляді архітектури знання-орієнтованої інформаційної системи. Відповідно до міждисциплінарним підходом до дослідження комплексних науково-технічних проблем, в тому числі в системі освіти, пропонується системно-онтологічний підхід центральною ідеєю якого є розробка онтологічних засобів підтримки рішення прикладних задач. У роботі описано приклад побудови онтології електронного курсу для зазначеної предметної дисципліни, представлена блок-схема алгоритму автоматизованого синтезу тестів.

Запропоновано онтологічний підхід до оцінки знань, що використовує ієрархічність онтографа. Показано, як результати онтологізованого тесту можуть бути використані для оцінки якості електронного курсу

**Ключові слова:** управління знаннями, міждисциплінарні дослідження, комп'ютерна онтологія, електронний курс.

**Palagin A., Petrenko N., Velichko V., Mogilny G., Tikhonov Y., Semenkov V., Onopchenko S.** The question of ontological approach to education

The paper considers the conceptual provisions of systemology of interdisciplinary scientific research and provides the means of its implementation in the form of knowledge-oriented information system's architecture. In accordance to the interdisciplinary approach to the study of complex scientific and technical problems, also in the education system, system-ontological approach is proposed, the central idea of which is ontological development of decision-support applications. The paper describes the example of ontology e-course's construction for the specified subject discipline. Block diagram's algorithm of the

automated synthesis tests is presented in the paper. We propose the ontological approach to evaluating of knowledge with the use of hierarchical ontograf. It is shown how the results of ontologize's test can be used for the quality assessment of e-learning course.

**Key words:** knowledge management, interdisciplinary research, computer ontology, e-course.

**Палагін Олександр Васильович** – академік НАН України; заступник директора Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України; e-mail: [palagin\\_a@ukr.net](mailto:palagin_a@ukr.net)

**Петренко Микола Григорович** – к.т.н., старший науковий співробітник, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України; e-mail: [petrng@ukr.net](mailto:petrng@ukr.net)

**Величко Віталій Юрійович** – к.т.н., доц., Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України; e-mail: [velychko@aduis.com.ua](mailto:velychko@aduis.com.ua)

**Могильний Геннадій Анатолійович** – к.т.н., доц., завідувач кафедри ІТС, директор Інституту фізики, математики та інформаційних технологій ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”; e-mail: [zavkafinfo@lnpu.edu.ua](mailto:zavkafinfo@lnpu.edu.ua)

**Тихонов Юрій Леонтійович** – к.т.н., доц., доцент кафедри ІТС ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”; e-mail: [t2003i@mail.ru](mailto:t2003i@mail.ru)

**Семенков Віталій Васильович** – аспірант кафедри ІТС ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”; e-mail: [semvitally@gmail.com](mailto:semvitally@gmail.com)

**Онопченко Світлана Володимирівна** – к.п.н., доцент кафедри ІТС ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”; e-mail: [osv260176@rambler.ru](mailto:osv260176@rambler.ru)

Рецензент: **Даніч В.М.**, д.т.н., професор.

Статья подана 27.03.14

УДК 621.9:62-503.56

## ЗАДАЧА КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧЕРНОВОЙ ОБРАБОТКОЙ НА ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Сквирский В. Д.

### THE TASK OF QUASIOPTIMAL CONTROL FOR ROUGHING OF THE HEAVY LATHES

Skvirskiy V.

*В статье приведены результаты оценки возможности упрощения оптимизационных моделей процесса черновой обработки на тяжелых токарных станках. Рассмотрен переход к задаче синтеза и анализа квазиоптиимальной модели управления этим процессом. Предложен алгоритм беспоискового квазиоптиимального управления с контуром вычисления текущего значения параметра повреждаемости инструмента, определяющего степень разрушения инструмента. Для математической имитации реальных процессов изменения глубины резания предложена аппроксимация этих процессов кусочно-линейными функциями.*

**Ключевые слова:** оптимизационная модель, квазиоптиимальное управление, черновая обработка, станок.

**Постановка проблемы.** Большинство оптимизационных моделей устанавливают связь критерии эффективности обработки с режимами резания и стойкостью режущего инструмента как временем работы до полного износа [1-3]. В условиях точения на тяжелых токарных станках (ТТС) эти модели малоэффективны.

С использованием модели процесса разрушения режущего инструмента [4] предложены и исследованы критерии эффективности процесса, а также поисковый и беспоисковый алгоритмы оптимального управления для одно- и двухсупортной обработки на ТТС [5]. Эти, наиболее полные с позиций полученных результатов исследований, модели процесса обеспечивают наилучшие в рассматриваемых условиях режимы обработки. В то же время сложность алгоритмов предопределяет сложность реализующих их средств и не всегда оправдана при разработке систем автоматического управления для новых станков и, особенно, при модернизации действующего оборудования. Одной из задач, расширяющих возможности реализации управления, является

построение квазиоптиимальных (приближенных) моделей процесса. Во многих случаях простые системы квазиоптиимального управления являются достаточно эффективными, чтобы этим системам было отдано предпочтение при практической реализации.

Общим для предложенных алгоритмов оптимального управления при односупортной обработке [5] является наличие в их структуре двух основных ветвей:

- для вычисления текущего состояния инструмента, которое, в соответствии с принятой моделью процесса разрушения, определяется параметром повреждаемости  $r$  инструмента в "опасном" сечении

$$r(\tau) = \int_0^{\tau} \frac{1}{T_{\Pi}^T(\tau)} d\tau,$$

значение которого рекуррентно связано с текущим значением долговечности инструмента  $T_{\Pi}^T$ , равным ожидаемому при соответствующем  $r$

$$T_{\Pi}^T(\tau) = T_{\Pi}^T[t(\tau), s(\tau), v(\tau), \sigma_b(\tau), r(\tau)],$$

$$T_{\Pi}^T \left[ t(g), r_\mu(g), \bar{s}, \sigma_b^*, n, s \right] = T_{\Pi}^{*T},$$

где:  $t, s, v$  - соответственно глубина резания, подача и скорость резания;  $\sigma_b$  - параметр, характеризующий физико-механические свойства обрабатываемой поверхности;  $*$  - индекс, обозначающий оптимальные значения параметров;

- для дискретного (в  $\mu$ -том обороте детали) формирования управлений как решения задачи статической оптимизации

$$n_{\mu y}^* = n^+ \left[ v_\mu^* \left( \sigma_{\text{в}\mu} \right) \right],$$

$$s_{\mu y}^* = s_{\mu y}^* \left[ t_\mu^*, v_\mu^*, \sigma_{\text{в}\mu}, r_\mu, T_\Pi^{*\text{T}} \right],$$

где:  $n^+$  - ограничение "сверху" скорости вращения детали;  $n_{\mu y}^*, s_{\mu y}^*, v_\mu^*, T_\Pi^{*\text{T}}$  - оптимальные значения режимов резания и среднего за оборот детали значения оптимальной долговечности.

Необходимость периодического решения статической оптимальной задачи объясняется:

- интегральным видом целевых функций;
- инерционностью процесса резания, определяемой постоянной времени  $T_{\text{пп}} \geq \tau_{\text{об}}$  (здесь  $\tau_{\text{об}}$  - время оборота детали);
- затратами времени на решение экстремальной задачи;
- нецелесообразностью непрерывной коррекции управлений, приводящей к неустойчивости системы управления.

**Цель работы** – постановка задачи исследований алгоритмов квазиоптимального управления процессом черновой обработки на ТТС.

Для этого рассмотрим закон однопараметрического оптимального управления [5]

$$s^*(\mu) = s^* \left[ t_\mu(\gamma), v^* \left( \sigma_\epsilon \right), r(\mu, \gamma), T_\Pi^{*\text{T}} \right] \quad (1)$$

(здесь  $\gamma$  - угол поворота детали) как результат первого этапа упрощения полной модели процесса на основании допущения

$$\bar{\sigma}_{\text{bi}} = M(\sigma_{\text{bi}})$$

(здесь  $i$  – индекс детали).

Так как параметр  $T_\Pi^{*\text{T}}$  не подлежит измерению и является результатом вычислений, то в основу построения беспоисковых законов оптимального управления положено численное решение уравнения

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} T_\Pi^T[t(\gamma), r(\gamma), \sigma_{\text{в}}(\gamma), s] d\gamma = T_\Pi^{*\text{T}}. \quad (2)$$

Для стационарных процессов  $t(\gamma)$  решение (1) можно находить из условия постоянства скорости разрушения инструмента

$$\int_{\tau_e}^{\tau_e + \tau_{\text{об}}} \frac{d\gamma}{T_\Pi^T[t(\gamma), r(\gamma), \sigma_{\text{в}}(\gamma), s]} = \Xi^*. \quad (3)$$

Анализ показывает, что при случайных изменениях глубины резания  $t(\gamma)$  и параметра повреждаемости  $r[t(\gamma)]$  аналитическое решение уравнений (2) и (3) относительно  $s$  невозможно. В связи с этим предложено решение задачи путем аппроксимации функции  $t(\gamma)$  стандартными сигналами  $t_c(\gamma)$ , с целью получения зависимостей для квазиоптимальной подачи  $\tilde{s} = \tilde{s}[t_c, r(t_c)]$ .

Учитывая низкую скорость разрушения инструмента  $dr/d\mu$ , будем считать, что параметр повреждаемости меняется ступенчато в функции количества оборотов детали, то есть  $r = r(\mu)$ . Тогда закон квазиоптимального управления динамическим процессом принимает вид:

$$\tilde{s}(\mu) = \tilde{s} \left[ t_{c\mu}(\gamma), v^* \left( \sigma_{\text{в}} \right), r(\mu), T_\Pi^{*\text{T}} \right]. \quad (4)$$

Для  $\mu$ -того оборота [4]

$$r(\mu) = r_\mu = r_{\mu-1} + \Delta r_{\mu-1}, \quad (5)$$

где  $\Delta r_{\mu-1} = \Xi_{\mu-1}$ ;  $\Xi_{\mu-1}$  - скорость разрушения.

Из выражения (5) с учетом накопления повреждаемостей

$$r_\mu = \sum_{i=1}^{\mu-2} \Xi_i + \Xi_{\mu-1}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что для каждого оборота детали параметр повреждаемости определяется по предыдущему значению, суммированному с результатом решения полученного из (3) после перехода  $\tau \rightarrow \gamma$  уравнения

$$\Xi_{\mu-1} = \frac{\tau_{\text{об}}}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\gamma}{T_\Pi^T[t_{c\mu-1}(\gamma), r_{\mu-1}, s_{\mu-1}]} . \quad (7)$$

Таким образом, алгоритмы квазиоптимального управления должны реализовать последовательный

расчет параметров  $s^{\sim}$  и  $r$  из рекуррентных уравнений (4), (6) и (7). Учитывая монотонный характер изменения и требование запоминания промежуточных результатов при вычислении функции  $r(\mu)$ , необходимо также рассмотреть возможность представления ее постоянным эквивалентным значением  $r_s$ . Такая аппроксимация значительно упрощает динамическую модель процесса и аппаратурное решение системы управления.

Для анализа квазиоптимальных процессов аппроксимация функции  $t(\gamma)$  выполнена на основе анализа процесса обработки. Основными источниками колебаний глубины резания в пределах оборота детали являются неточности получения заготовок и установки на станке. По раздельному и совместному влиянию указанных факторов выделены типовые схемы резания и соответствующие им формы процессов  $t(\gamma)$ , вид которых приведен в колонках 1 и 2 таблицы 1. На рис. 1 приведены некоторые реализации, полученные путем измерения силы резания  $P_Z(\tau) = Kt(\gamma)$  при фиксированных параметрах  $s, v, \sigma_b$ .

Их вид подтверждают правомерность такой классификации. Присутствие гармоник основной частоты выше второй вызвано, в основном, наличием раковин, трещин, твердых включений.

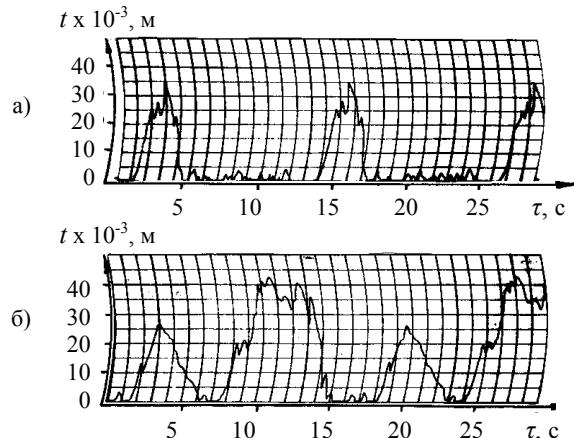


Рис. 1. Реализации  $P_Z(\tau) = Kt(\gamma)$  для типов схем резания 4 (а) и 7 (б) (таблица 1)

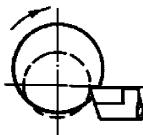
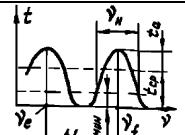
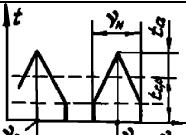
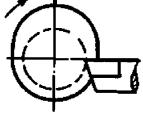
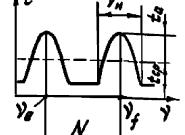
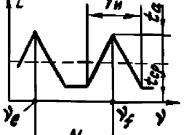
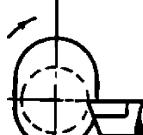
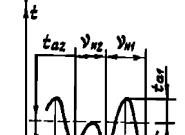
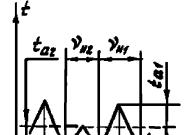
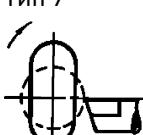
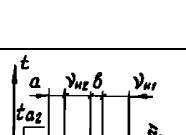
При аппроксимации функций  $t(\gamma)$  ограниченными рядами Фурье аналитическую зависимость  $s^{\sim} = s^{\sim}(t_c)$  получить нельзя. Поэтому для анализа и синтеза квазиоптимальных режимов предложено применить аппроксимацию кусочно-линейными сигналами, вид и математическое описание которых приведены в таблице 1 (колонки 3 и 4).

Таблица 1

Представление реальных возмущений  $t(\gamma)$  кусочно-линейными функциями

Реальный процесс		Приближенный процесс	
Схема резания	Сглаженный сигнал	Аппроксимирующий сигнал	Аппроксимирующая функция
1	2	3	4
Тип 1			$t(v) = t_{cp} \quad \forall v \in [v_e, v_e + N]$
Тип 2			$t(v) = \begin{cases} t_{cp} - t_a + 4 \frac{t_a}{v_n} v & \text{при } v_e \leq v < v_e + \frac{N}{2}; \\ t_{cp} + t_a & \text{при } v_e + \frac{N}{2} \leq v < v_e + N - \frac{v_n}{2}; \\ t_{cp} + t_a - 4 \frac{t_a}{v_n} v & \text{при } v_e + N - \frac{v_n}{2} \leq v < v_e + N. \end{cases}$ $t_{cp} = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2}.$
Тип 3			$t(v) = \begin{cases} t_{cp} + t_a - 4 \frac{t_a}{N} v & \text{при } v_e \leq v < v_e + \frac{N}{2}; \\ t_{cp} - t_a - 4 \frac{t_a}{N} v & \text{при } v_e + \frac{N}{2} \leq v < v_e + N. \end{cases}$ $t_{cp} = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2}.$

Продовження табл.

1	2	3	4
Тип 4 	 Graph 2: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows two triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	 Graph 3: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows two triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	$t(v) = \begin{cases} t_{cp} + t_a - 4 \frac{t_a}{v_n} v & \text{при } v_e \leq v < v_e + \frac{v_n}{2}; \\ 0 & \text{при } v_e + \frac{v_n}{2} \leq v < v_e + N - \frac{v_n}{2}; \\ t_{cp} - t_a + 4 \frac{t_a}{v_n} v & \text{при } v_e + N - \frac{v_n}{2} \leq v < v_e + N. \end{cases}$ $t_{cp} = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2}$
Тип 5 	 Graph 2: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows two triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	 Graph 3: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows two triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	$t(v) = \begin{cases} t_{cp} + t_a - 4 \frac{t_a}{v_n} v & \text{при } v_e \leq v < v_e + \frac{v_n}{2}; \\ t_{cp} - t_a & \text{при } v_e + \frac{v_n}{2} \leq v < v_e + N - \frac{v_n}{2}; \\ t_{cp} - t_a + 4 \frac{t_a}{v_n} v & \text{при } v_e + N - \frac{v_n}{2} \leq v < v_e + N. \end{cases}$ $t_{cp} = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2}$
Тип 6 	 Graph 2: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows three triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	 Graph 3: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows three triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	$t(v) = \begin{cases} t_{cp1} + t_{a1} - 4 \frac{t_{a1}}{v_{n1}} v & \text{при } v_e \leq v < v_e + \frac{v_{n1}}{2}; \\ t_{cp2} - t_{a2} + 4 \frac{t_{a2}}{v_{n2}} v & \text{при } v_e + \frac{v_{n1}}{2} \leq v < v_e + \frac{v_{n1}}{2} + \frac{v_{n2}}{2}; \\ t_{cp2} + t_{a2} - 4 \frac{t_{a2}}{v_{n2}} v & \text{при } v_e + \frac{v_{n1}}{2} + \frac{v_{n2}}{2} \leq v < v_e + N - \frac{v_{n1}}{2}; \\ t_{cp1} - t_{a1} + 4 \frac{t_{a1}}{v_{n1}} v & \text{при } v_e + N - \frac{v_{n1}}{2} \leq v < v_e + N; \end{cases}$ $t_{cp1} = \frac{t_{\min1} + t_{\max1}}{2}; \quad t_{cp2} = \frac{t_{\min2} + t_{\max2}}{2}.$
Тип 7 	 Graph 2: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows four triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	 Graph 3: Feed rate $v$ vs time $t$ . The graph shows four triangular peaks above the baseline $v_e$ . The first peak ends at $t_{min}$ and the second at $t_{max}$ . The time interval between peaks is $N$ .	$t(v) = \begin{cases} t_{cp1} + t_{a1} - 4 \frac{t_{a1}}{v_{n1}} v & \text{при } v_e \leq v < v_e + \frac{v_{n1}}{2}; \\ 0 & \text{при } v_e + \frac{v_{n1}}{2} \leq v < v_e + \frac{v_{n1}}{2} + a; \\ t_{cp2} - t_{a2} + 4 \frac{t_{a2}}{v_{n2}} v & \text{при } v_e + \frac{v_{n1}}{2} + a \leq v < v_e + \frac{v_{n1}}{2} + a - \frac{v_{n2}}{2}; \\ t_{cp2} + t_{a2} - 4 \frac{t_{a2}}{v_{n2}} v & \text{при } v_e + \frac{v_{n1}}{2} + a - \frac{v_{n2}}{2} \leq v < v_e + N - \frac{v_{n1}}{2} - B; \\ 0 & \text{при } v_e + N - \frac{v_{n1}}{2} - B \leq v < v_e + N - \frac{v_{n1}}{2}; \\ t_{cp1} - t_{a1} + 4 \frac{t_{a1}}{v_{n1}} v & \text{при } v_e + N - \frac{v_{n1}}{2} \leq v < v_e + N. \end{cases}$ $t_{cp1} = \frac{t_{\min1} + t_{\max1}}{2}; \quad t_{cp2} = \frac{t_{\min2} + t_{\max2}}{2}.$

На основании описанного подхода к упрощению модели процесса будут разработаны алгоритмы квазиоптимального управления и рассмотрены возможности их реализации посредством систем.

**Выводы.** На основе исследований процесса и моделей оптимизации чернового точения на ТТС предложена модель квазиоптимального управления, которая базируется на следующих положениях:

1. В качестве параметра модели характеризующего физико-механические свойства обрабатываемой поверхности выбрано его среднее значение.

2. В исходном уравнении, из решения которого определяется значение квазиоптимальной подачи инструмента, применено среднее за оборот детали значение оптимальной долговечности.
3. Для дальнейшего анализа и синтеза квазиоптимальных режимов предложены аппроксимирующие кусочно-линейные функции для математической имитации реальных процессов.

**Л и т е р а т у р а**

1. Адаптивное управление станками. / Под ред. Б.С. Балакшина. - М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
2. Грубый С. В. Оптимальное управление скоростью резания при токарной обработке/ С. В. Грубый // Технология металлов. – 2002, № 1. – с. 17 – 24.
3. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров // М. Машиностроение, 1976. – 278 с.
4. Сквирский В. Д. Развитие модели процесса разрушения режущего инструмента как динамической системы с ограниченными ресурсами / В. Д. Сквирский // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. – Луганськ, 2008. № 12 (130) Ч. 2, с. 130 – 135.
5. Сквирский В. Д. Алгоритмы оптимального управления процессом точения на тяжелых станках / В. Д. Сквирский // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. – Луганськ, 2012.-№8 (179). – Ч. 2. –С. 205 – 211.

**R e f e r e n c e s**

1. Adaptivnoe upravlenie stankami. / Pod red. B.S. Balakshina. - M.: Mashinostroenie, 1973. 688 s.
2. Grubyj S.V. Optimal'noe upravlenie skorost'ju rezaniya pri tokarnoj obrabotke/ S.V. Grubyj // Tehnologija metallov. – 2002, №1. – s. 17-24.
3. Makarov A.D. Optimizacija processov rezanija / A.D. Makarov // M. Mashinostroenie, 1976. - 278 s.
4. Skvirskij V.D. Razvitie modeli processa razrushenija rezhushhego instrumenta kak dinamicheskoy sistemy s ogranicennymi resursami / V.D. Skvirskij // Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja. Naukovij zhurnal. - Lugansk', 2008. №12 (130) Ch. 2, s. 130-135.
5. Skvirskij V.D. Algoritmy optimal'nogo upravlenija processom tochenija na tjazhelyh stankah / V.D. Skvirskij // Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja. Naukovij zhurnal. – Lugansk', 2012.-№8 (179). – Ch. 2. –S. 205-211.

**Сквірський В. Д. Задача квазіоптимального керування чорновою обробкою на важких токарних верстатах**

У статті приведені результати оцінки можливості спрощення оптимізаційних моделей процесу чорнової обробки на важких токарних верстатах. Розглянут перехід до завдання синтезу та аналізу квазіоптимальної моделі управління цим процесом. Запропонованій алгоритм безпошукового квазіоптимального управління з контуром обчислення поточного значення параметра пошкоджуваності інструменту, що визначає ступінь руйнування інструменту. Для математичної імітації реальних процесів зміни глибини різання запропонована апроксимація цих процесів кусочно-лінійними функціями.

**Ключові слова:** оптимізаційна модель, квазіоптимальне управління, чорнова обробка, верстат.

**Skvirskiy V. The task of quasioptimal control for roughing of the heavy lathes**

The article presents of the results for the evaluation possibility of simplifying optimization models for roughing of the heavy lathes. The transition to the synthesis and analysis of quasioptimal control model for this process is examined. The algorithm of searchless quasioptimal control with contour of calculation for the current value of the parameter of damageability to the instrument is proposed, which determining the degree of destruction of the instrument. The approximation for these processes of piecewise-linear functions is proposed for math simulation of real processes to change the depth of cut.

**Key words:** optimization model, quasioptimal control, rouging, lathe.

**Сквірський Віктор Давидович** – кандидат технічних наук, доцент, зав. каф. теоретичної і прикладної інформатики ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”.

Рецензент: **Данич В.М.**, д.т.н., професор.

Стаття подана 27.03.14

УДК 531.38

## **КРАТНАЯ СТРАТЕГИЯ НАБЛЮДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ НАБЛЮДЕНИЯ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТОВ**

**Скобцов В.Ю.**

## **MULPTIPLE OBSERVATION TIME STRATEGY AND DEFINING CLOCKS SET IN THE TEST GENERATION PROBLEM**

**Skovtsov V.Yu.**

*В работе исследована проблема выбора множества моментов времени наблюдения выходных сигналов в процессе тестирования цифровых устройств с памятью на построенной тестовой последовательности.. Применяется концепция стратегии кратного наблюдения выходных сигналов последовательностных схем и соответствующие определения обнаружимости неисправностей. Рассмотрено два подхода: подход на основе задачи о покрытии, позволяющий решить данную проблему на базе классического генетического алгоритма с соответствующими генетическими операторами, и аналитический подход на основе понятия различающей функции для последовательностной схемы с учетом применения кратной стратегии наблюдения выходных сигналов. Первый метод является более привлекательным для устройств большей размерности в силу применения недетерминированного эволюционного подхода. Второй подход является более точным аналитическим методом, но тоже применим на практике для схем меньшей размерности.*

**Ключевые слова:** последовательностные цифровые схемы, построение проверяющих тестов, кратная стратегия наблюдения, множество моментов времени наблюдения, задача о покрытии, генетический алгоритм, различающая функция

**Введение.** Несмотря на многочисленные попытки создать автоматические системы генерации проверяющих тестов для последовательностных цифровых схем (ЦС), эта проблема далека от окончательного решения вследствие необходимости в общем случае учитывать произвольные начальные состояния исправной и неисправной схем. Известно, что стандартные методы моделирования неисправных цифровых схем, основанные на логическом моделировании в троичном алфавите с применением одиночной (обычной) стратегии наблюдения выходных сигналов, не позволяют точно оценить полноту проверяющих тестов [1-3].

Альтернативой здесь могут быть методы моделирования и генерации тестов, использующие более точные стратегии наблюдения выходных сигналов, а именно, кратную стратегию наблюдения выходов на всех тахах проверяющей тестовой последовательности [1,2,4,5].

Другой путь повышения точности методов моделирования и построения тестов ЦС – это использование многозначных алфавитов и логик. Универсальным алфавитом и логикой, включающим в себе как подмножества, используемые на сегодняшний день в области тестирования и моделирования ЦС многозначные алфавиты, является 16-значный алфавит  $B_{16}$  [1-3].

Третий путь повышения скорости и эффективности построения тестов последовательностных ЦС, особенно для схем средней и большой размерности, - применение методов поиска искусственного интеллекта. Так, в настоящее время при построении тестов цифровых устройств, а также при их проектировании, широко применяются методы эволюционных вычислений, в частности, последовательные и параллельные генетические алгоритмы (ГА), которые позволяют существенно повысить их качество и быстродействие [1,2,6].

В работе [7] автором был предложен эффективный метод построения тестов для последовательностных цифровых схем на структурном уровне представления, основанный на применении 16-значного моделирования, кратной стратегии наблюдения выходных сигналов цифровых схем и генетических алгоритмов.

Для построенной тестовой последовательности важной задачей является собственно процесс проверки цифровой схемы. В связи с этим **целью данной работы является** исследование задачи определения множества моментов времени

наблюдения выходных сигналов в процессе тестовой диагностики.

**Постановка задачи.** Постановка задачи построения проверяющего теста для заданной неисправности в последовательностной схеме существенно зависит от используемой стратегии наблюдения неисправностей [1,2,4,5].. Пусть исправная последовательностная схема реализует конечный автомат  $A = (Y, X, Z, \delta, \lambda)$ , где  $Y, X, Z$  - конечные множества состояний, входных и выходных сигналов соответственно;  $\delta: Y \times X \rightarrow Y$  - функция переходов, определяющая следующее состояние автомата;  $\lambda: Y \times X \rightarrow Z$  - функция выхода, определяющая выходной сигнал. Функции  $\delta$  и  $\lambda$  реализуются комбинационными схемами, где :

$$Y = (y_1, \dots, y_k), \text{ где } y_i \in \{0,1\} \text{ для } i = \overline{1, k}; \quad (1)$$

$$X = (x_1, \dots, x_n), \text{ где } x_j \in \{0,1\} \text{ для } j = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$Z = (z_1, \dots, z_m), \text{ где } z_j \in \{0,1\} \text{ для } j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Обозначим  $X(1), X(2), \dots, X(p)$  – входную последовательность длины  $p$ . Тогда  $Y_0, Y(Y_0, 1), \dots, Y(Y_0, p)$  – последовательность состояний автомата, которую он проходит из начального состояния  $Y_0 \in Y$  под воздействием входной последовательности  $X(1), X(2), \dots, X(p)$ . Пусть  $Z(Y_0, 1), \dots, Z(Y_0, p)$  – обозначает выходную последовательность, производимую автоматом из начального состояния  $Y_0$  при подаче входной последовательности  $X(1), X(2), \dots, X(p)$ . Обозначим через  $z_j(Y_0, k)$  для  $j = \overline{1, m}$  значение  $j$ -го выхода на  $k$ -м шаге моделирования. Используя эти обозначения, следующее состояние определяется следующим образом:

$$Y(y_0, t) = \begin{cases} Y_0 & \text{для } t = 0 \\ \delta(X(t), Y(Y_0, t-1)) & \text{для } t \neq 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Выход  $Z(Y_0, k)$  определяется функцией  $\lambda$ .

$$Y(y_0, t) = \lambda(X(t), Y(Y_0, t-1)) \text{ для } t > 0. \quad (5)$$

Неисправность  $f$  преобразует автомат  $A$  в  $A = (Y, X, Z, \delta^f, \lambda^f)$ , где функции  $\delta^f, \lambda^f$  состояния  $Y^f$  и  $Z^f$  определяются таким же образом.

**Определение 1.** Неисправность  $f$  называется обнаружимой в последовательностной схеме входной последовательностью  $X(1), X(2), \dots, X(p)$  относительно стратегии одиночного наблюдения выходов (SOT), если

$\exists t \leq p, \exists j \leq m, \exists b \in \{0,1\}$ , такое, что

$$\forall (Y_0, Y_0^f) : (z_j(Y_0, t) = b \wedge z_j^f(Y_0^f, t) = \overline{b}),$$

где  $Y_0$  – начальное состояние исправной схемы и  $Y_0^f$  – начальное состояние неисправной схемы. Это определение говорит, что при данной стратегии неисправность считается обнаружимой, если найдется (по крайней мере один) момент времени (такт)  $t$  такой, что для любой пары состояний  $(Y_0, Y_0^f)$  исправной и неисправной схем некоторый  $j$ -й выход  $z_j$  имеет различные значения в исправной и неисправной схеме. Ключевым моментом является то, что любая пара состояний исправной и неисправной схемы должна выдать различные выходные реакции в один и тот же такт времени.

**Определение 2.** Неисправность  $f$  называется проверяемой в последовательностной схеме входной последовательностью  $X(1), X(2), \dots, X(p)$  относительно стратегии кратного наблюдения выходов (MOT), если и только если:

$\forall (Y_0, Y_0^f) \exists t \leq p, \exists j \leq m, \exists b \in \{0,1\}$  такое, что

$$(z_j(Y_0, t) = b \wedge z_j^f(Y_0^f, t) = \overline{b})$$

Термин «кратная стратегия наблюдения выходных сигналов» формально была введен в работе [5], хотя фактически этот подход был предложен Ю.А.Скобцовым задолго до этой публикации, например, в [4].

Принципиальное отличие между этими стратегиями состоит в следующем. Согласно первой стратегии для тестируемости неисправности необходимо и достаточно, чтобы все пары начальных состояний исправной и неисправной схем различались в один и тот же момент времени. Согласно второй стратегии, кратной, для каждой пары состояний исправной и неисправной схемы может существовать свой момент времени, в который они различаются.

В качестве примера, рассмотрим схему, представленную на рис.1 с одиночной константной неисправностью  $f_2 \equiv 0$ . В табл.1 и табл.2 приведены автоматы, реализуемые схемой рис.1, исправной и содержащей неисправность  $f_2 \equiv 0$  соответственно. Соответственно таблицы 3 и 4 показывают, что входная последовательность  $X=(1,1,1,1)$  проверяет неисправность  $f_2 \equiv 0$  относительно кратной стратегии, поскольку для каждой пары состояний исправной и неисправной схемы существует момент времени, для которого выходные реакции различны.

Однако, не существует одного момента времени, когда различались бы все пары состояний исправного и неисправного устройств. Т.е. данная неисправность не проверяется этой входной последовательностью относительно одиночной стратегии наблюдения выходных сигналов.

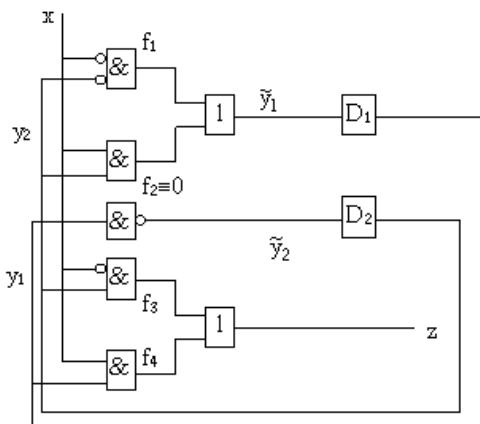


Рис. 1 Пример последовательностной цифровой схемы

Таблица 1

**Исправный автомат**

S	S <sub>сл</sub> , z x=0	S <sub>сл</sub> , z x=1
A	B,0	C,0
B	C,0	B,0
C	D,1	A,1
D	A,1	D,0

Таблица 2

**Неисправный автомат**

S(y <sub>1</sub> y <sub>2</sub> )	S <sub>сл</sub> , z x=0	S <sub>сл</sub> , z x=1
a	b,0	c,0
b	b,0	b,0
c	a,1	a,1
d	a,1	d,0

Таблица 3

**Реакции исправной схемы**

S(y <sub>1</sub> y <sub>2</sub> )	x <sub>1</sub> =1	x <sub>2</sub> =1	x <sub>3</sub> =1	x <sub>4</sub> =1
A(00)	0	0	1	1
B(01)	0	1	1	0
C(10)	1	0	0	1
D(11)	1	1	0	0

Таблица 4

**Реакции неисправной схемы**

S(y <sub>1</sub> y <sub>2</sub> )	x <sub>1</sub> =1	x <sub>2</sub> =1	x <sub>3</sub> =1	x <sub>4</sub> =1
a(00)	0	0	0	0
b(01)	0	0	0	0
c(10)	1	0	0	0
d(11)	1	0	0	0

**Материалы и результаты исследований.**

После того, как тестовая входная последовательность для данной неисправности построена (различает все пары состояний исправной и неисправной схем), необходимо определить множество моментов времени наблюдения выходных сигналов в процессе тестовой диагностики. Кроме этого, необходимо для этих моментов времени определить соответствующее множество выходных реакций исправной схемы (для последующего сравнения с выходными сигналами тестируемой схемы).

Очевидно, что для уменьшения затрат на хранение эталонных сигналов и времени сравнения реальных сигналов с этими эталонами в процессе тестирования желательно минимизировать число тактов наблюдения выходных сигналов. Можно показать, что эта задача сводится к классической задаче о покрытии.

Рассмотрим ее на примере схемы рис.1 с неисправностью  $f_2=0$ . Как говорилось выше, для этой неисправности, входной тестовой последовательностью является последовательность  $X=(1,1,1,1)$ , которая различает каждую пару состояний исправной и неисправной схемы.

В табл.5 показано, в какие моменты (такты) времени различаются все пары состояний исправной и неисправной схемы. При этом каждая строка соответствует паре состояний исправной и неисправной схемы, а столбец - моменту наблюдения выходных сигналов. Знаком '+' отмечены те моменты (такты) времени, на которых пары состояний различаются (дают различные выходные сигналы). Таким образом, выбор минимального числа наблюдений сводится к классической задаче о покрытии.

Таблица 5

**Моменты времени различения пар состояний схемы на рисунке 1**

Пары Состояний	Моменты (такты) времени наблюдения выходных сигналов			
	t=1	t=2	t=3	t=4
(A,a)			+	+
(A,b)			+	+
(A,c)	+		+	+
(A,d)	+		+	+
(B,a)		+	+	
(B,b)		+	+	
(B,c)	+	+	+	
(B,d)	+	+	+	
(C,a)	+	+		
(C,b)	+	+		
(C,c)		+		
(C,d)		+		
(D,a)	+			+
(D,b)	+			+
(D,c)				+
(D,d)				+

Если формулировать более формально, то есть множество элементов пар состояний исправного и неисправного устройств  $S$  (множество строк таблицы), которые различаются в различные моменты времени  $t_i$  (столбцы таблицы). Каждому моменту времени  $t_i$  соответствует свое подмножество множества пар состояний  $S_{t_i}$ . Необходимо найти минимальное число столбцов  $t_i$  и соответствующие им подмножества  $S_{t_i}$  так, чтобы объединение подмножеств покрывало множество  $S$  всех пар состояний минимальным образом. То есть, чтобы каждая пара состояний исправной и неисправной схемы имела ‘+’ в выбранном множестве столбцов, а количество столбцов было минимальным.

Потенциальное решение можно представить двоичным вектором  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } t_i - \text{й столбец входит в покрытие} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

При этом нам необходимо найти:

$$\begin{aligned} & \bigcup_{i=1}^p x_i S_{t_i} \text{ такое, что} \\ & \sum_{i=1}^p x_i \text{ - минимально.} \end{aligned}$$

Известно, что в общем случае задача о покрытии является NP-трудной, то есть для поиска оптимального решения в худшем случае требуется перебор всех вариантов решения. Но в настоящее время разработано множество эвристических алгоритмов, которые дают субоптимальное решение. Поскольку решение задачи представляется двоичным вектором, то при его поиске можно использовать простой генетический алгоритм (ГА) со стандартными операторами кроссинговера и мутации [1,2,8]. Блок-схема классического ГА и классические генетические операторы кроссинговера и мутации приведены соответственно на рисунках 2-4.

ГА берет множество параметров оптимизационной проблемы и кодирует их последовательностями конечной длины в некотором конечном алфавите – в нашем случае – это двоичный алфавит «0» и «1».

Предварительно простой ГА случайным образом генерирует начальную популяцию строк (хромосом). Затем алгоритм генерирует следующее поколение (популяцию), с помощью трех основных генетических операторов:

- Оператор репродукции (ОР);
- Оператор скрещивания (кроссинговера, ОК);
- Оператор мутации (ОМ).

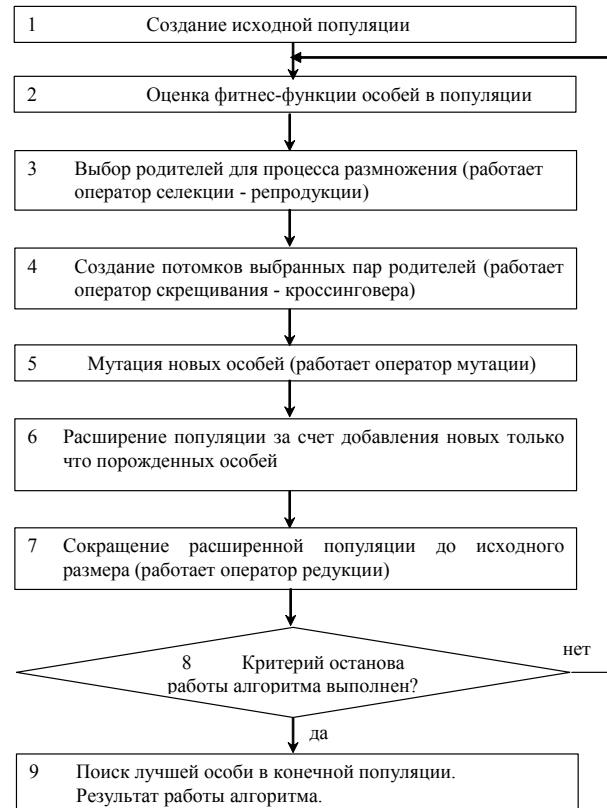


Рис. 2. Простой генетический алгоритм

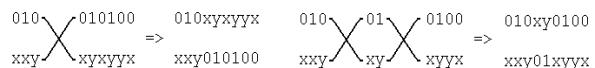


Рис. 3. Одно- и двух-точечный операторы кроссинговера

01001011  $\rightarrow$  01000011

Рис. 4. Классическая мутация бинарной строки

Генетические операторы являются математической формализацией трех основополагающих принципов естественной эволюции и отбора Дарвина, Менделя и де Вре.

ГА работает до тех пор, пока не будет выполнено заданное количество поколений (итераций) процесса эволюции или на некоторой генерации не будет получено заданное качество. В каждом поколении множество искусственных особей создается с использованием старых и добавлением новых с хорошими свойствами. Генетические алгоритмы – не просто случайный поиск, они эффективно используют информацию накопленную в процессе эволюции.

Для нашего примера, очевидно оптимальным решением является выбор для наблюдения двух моментов времени  $t=2$  и  $t=4$ , поскольку, как видно из таблиц 3, 4 и 5, в эти такты различаются все пары состояний исправной и неисправной схемы. Конкретно в момент  $t=2$  различаются следующие пары состояний: (B,a), (B,b), (B,c), (B,d), (C,a), (C,b),

(C,c), (C,d). Аналогично в момент  $t=4$  различаются: (A,a), (A,b), (A,c), (A,d), (D,a), (D,b), (D,c), (D,d).

Элегантным методом решения данной задачи выбора моментов времени является использование математического аппарата различающих функций, который обобщает понятие различающей функции (для комбинационных схем на схемы с памятью [1,2].

**Определение 3.** Определим различающую функцию  $D_{f,X}^{MOT} : B^k \times B^k \rightarrow B$  для стратегии кратного наблюдения согласно [1,2,4] и определению 2 следующим образом:

$$D_{f,X}^{MOT} = \bigvee_{t=1}^p \bigvee_{j=1}^m [z_j(Y,t) \oplus z_j^f(Y^f,t)] \quad (4)$$

для каждой неисправности  $f$  и входной последовательности  $X(1), X(2), \dots, X(p)$ .

При этом необходимо найти минимально число различающих функций  $D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{ip}$  (каждая из которых соответствует своему моменту времени наблюдения), дизъюнкция которых дает тавтологию  $D_{i1} \vee D_{i2} \vee \dots \vee D_{ip} \equiv 1$ . Для примера, представленного рис.1 для последовательности  $X=(1,1,1,1)$  мы получаем:

для первого такта имеем

$$\begin{aligned} \tilde{D}_f &= D_f(t=1) = z(t=1) \oplus z_f(t=1) = \\ y_1 \oplus y_{1h} &= y_1 \overline{y_{1h}} \vee \overline{y_1} y_{1h} \end{aligned}$$

Для второго такта имеем

$$D_f(t=2) = z(t=1) \oplus z_f(t=1) = y_2 \oplus 0 = y_2,$$

что дает

$$D_f^{MOT} = D_f^{MOT}(t=1) \vee D_f^{MOT}(t=2) = y_1 \overline{y_{1h}} \vee \overline{y_1} y_{1h} \vee y_2$$

Для третьего такта получаем

$$D_f(t=3) = z(t=3) \oplus z_f(t=1) = y_1 \oplus 0 = y_1,$$

откуда следует

$$\begin{aligned} D_f^{MOT} &= D_f^{MOT}(t=1) \vee D_f^{MOT}(t=2) \vee D_f^{MOT}(t=3) = \\ y_1 \overline{y_{1h}} \vee \overline{y_1} y_{1h} \vee y_2 \vee y_1 &= y_{1h} \vee y_2 \vee y_1 \end{aligned}$$

Наконец для 4-го такта получаем

$$D_f(t=4) = z(t=4) \oplus z_f(t=4) = \overline{y_2} \oplus 0 = \overline{y_2}$$

что ведет к

$$\begin{aligned} D_f^{MOT} &= D_f^{MOT}(t=1) \vee D_f^{MOT}(t=2) \vee D_f^{MOT}(t=3) \vee \\ \vee D_f^{MOT}(t=4) &= y_{1h} \vee y_2 \vee y_1 \vee \overline{y_2} = 1 \end{aligned}$$

При выборе моментов наблюдения  $t=2$  и  $t=4$  получаем тавтологию  $\tilde{D}_{2,4} = D_2 \vee D_4 = y_2 \vee \overline{y_2} \equiv 1$ .

Таким образом, получаем минимальное множество моментов времени наблюдения.

После выбора моментов наблюдения необходимо определить выходные реакции в эти моменты времени для исправной и неисправной схемы, что решается с помощью многозначного моделирования схемы на полученной тестовой последовательности [1,2]. Для нашего примера выходные реакции на входную тестовую последовательность  $X=(1,1,1,1)$  для моментов наблюдения  $t=2$  и  $t=4$  при каждом возможном начальном состоянии исправной и неисправной схемы представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

**Реакции в  $t=2$  и  $t=4$  исправной схемы**

S(y <sub>1</sub> y <sub>2</sub> )	Z - выходные реакции t=2 и t=4
A(00)	01
B(01)	10
C(10)	10
D(11)	01

Таблица 7

**Реакции в  $t=2$  и  $t=4$  неисправной схемы**

S(y <sub>1</sub> y <sub>2</sub> )	Z <sub>h</sub> - выходные реакции t=2 и t=4
a(00)	00
b(01)	00
c(10)	00
d(11)	00

Из представленных таблиц видно, что в моменты времени исправная схема на входную тестовую последовательность  $X=(1,1,1,1)$  в моменты времени  $t=2$  и  $t=4$  может давать выходные реакции  $Z=(01,10)$ . Эти выходные реакции необходимо хранить в качестве эталонных и сравнивать их при тестировании с выходными реакциями диагностируемой схемы в моменты времени  $t=2$  и  $t=4$ . Необходимость хранить (и сравнивать в процессе тестирования) несколько эталонных выходных реакций, конечно, повышает требования к тестовой аппаратуре, но позволяет поднять полноту покрытия неисправностей при тестировании последовательностных схем.

**Выводы.** Для последовательностных схем число неисправностей, непроверяемых относительно одиночной классической стратегии наблюдения выходных сигналов, может быть достаточно большим. Так, например, для схем каталога ISCAST89 даже для одиночных константных неисправностей число таких неисправностей по некоторым данным [1,2] в среднем достигает 38%. В работе исходя из концепции стратегии кратного наблюдения выходных сигналов, исследована проблема выбора множества моментов времени наблюдения выходных сигналов в процессе

тестирования цифровых устройств с памятью. При этом рассмотрено два подхода:

- подход на основе задачи о покрытии, позволяющий решить задачу применением классического генетического алгоритма и соответствующих генетических операторов;
- подход на основе понятия различающей функции для последовательностных схем с учетом применения кратной стратегии наблюдения.

Можно сказать, что первый подход является более привлекательным для устройств большей размерности в силу применения эволюционного подхода.

Второй подход является более точным аналитическим методом, но тоже применим на практике для схем меньшей размерности.

### Л и т е р а т у р а

1. Скобцов Ю. А. Моделирование, тестирование и диагностика цифровых устройств / Ю. А. Скобцов, Д. В. Сперанский, В. Ю. Скобцов. – Москва: Национальный открытый университет «ИНТУИТ», 2012. – 439с.
2. Скобцов Ю. А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / Ю. А. Скобцов, В. Ю. Скобцов. – Донецк: ИПММ НАНУ, ДонНТУ, 2005. – 436с.
3. Mourad S., Zorian Y. Principles of testing electronic systems. – John Wiley&Sons, 2000. – 420p.
4. Скобцов Ю. А. Структурно-аналитический подход в задачах диагностики синхронных последовательностных схем / Ю. А. Скобцов, Д. В. Сперанский // Электронное моделирование. – 1980. – №4. – С. 32 – 38.
5. Pomeranz I. The multiple observation time strategy / I.Pomeranz, S.M.Reddy // IEEE Transactions on Computers. – 1992. – Vol. 41, No.5. - P.627 – 637.
6. Y.A.Skobtsov, V.Y.Skobtsov Evolutionary test generation methods for digital devices // In Design of Digital Systems and Devices (Eds. Marian Adamski, Alexander Barkalov, and MarekWegrzyn). - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – Lecture Notes in Electrical Engineering. - Volume 79, 2011. - P.331-361.
7. Skobcov Ju. A. Dvuhurovnevyyj algoritm generacii proverjajushhih testov dlja shem s pamjat'ju / Ju.A.Skobcov, V.Ju.Skobcov, Sh. N.Hindi // Radioelektronni i kompjuternisistemi.-HAI:2009. – № 7. – s. 136 – 140.
8. Skobcov Ju. A. Osnovy jevolucionnyh vychislenij / Ju.A.Skobcov. Uchebnoe posobie. – Doneck: DonNTU, 2008. – 326s.

### R e f e r e n c e s

1. Skobcov Ju. A. Modelirovanie, testirovanie i diagnostika cifrovyyh ustrojstv / Ju. A.Skobcov, D. V.Speranskij, V. Ju.Skobcov. – Moskva:Nacional'nyj otkrytyj universitet «INTUIT», 2012. – 439s.
2. Skobcov Ju. A. Logicheskoe modelirovanie i testirovanie cifrovyyh ustrojstv / Ju. A.Skobcov, V. Ju. Skobcov..- Doneck:IPMM NANU, DonNTU, 2005. –436s.

3. Mourad S., Zorian Y. Principles of testing electronic systems. – John Wiley&Sons,2000. – 420p.
4. Skobcov Ju. A. Strukturno-analiticheskij podhod v zadachah diagnostiki sinhronnyh posledovatel'nostnyh shem / Ju. A.Skobcov, D. V.Speranskij // Jelektronnoe modelirovanie. – 1980. – №4. – S. 32 – 38.
5. Pomeranz I. The multiple observation time strategy / I.Pomeranz, S.M.Reddy // IEEE Transactions on Computers. – 1992. – Vol. 41, No.5. - P.627 – 637.
6. Y.A.Skobtsov, V.Y.Skobtsov Evolutionary test generation methods for digital devices // In Design of Digital Systems and Devices (Eds. Marian Adamski, Alexander Barkalov, and MarekWegrzyn). - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – Lecture Notes in Electrical Engineering. - Volume 79, 2011. - P.331-361.
7. Skobcov Ju. A. Dvuhurovnevyyj algoritm generacii proverjajushhih testov dlja shem s pamjat'ju / Ju.A.Skobcov, V.Ju.Skobcov, Sh. N.Hindi // Radioelektronni i kompjuternisistemi.-HAI:2009. – № 7. – s. 136 – 140.
8. Skobcov Ju. A. Osnovy jevolucionnyh vychislenij / Ju.A.Skobcov. Uchebnoe posobie. – Doneck: DonNTU, 2008. – 326s.

### *Скобцов В. Ю. Кратна стратегія спостереження та визначення моментів часу спостереження вихідних сигналів в задачі генерації тестів*

*В роботі досліджена проблема вибору множини моментів часу спостереження вихідних сигналів у процесі тестування цифрових пристрій з пам'ятю на побудований тестової послідовності. Застосовується концепція стратегії кратного спостереження вихідних сигналів послідовністних схем та відповідні визначення тестовності несправностей. Розглянуто два підходи: підхід на основі задачі про покриття, що дозволяє розв'язати дану проблему застосуванням класичного генетичного алгоритму та відповідних генетичних операторів, а також аналітичний підхід на основі поняття розрізняючої функції для послідовністної схеми з урахуванням застосування кратною стратегії спостереження вихідних сигналів. Перший метод є більш привабливим для пристрій більшої розмірності в силу застосування недетермінованого еволюційного підходу. Другий підхід є більш точним аналітичним методом, але також застосовується на практиці для схем меншої розмірності.*

**Ключові слова:** Послідовністні цифрові схеми, побудова перевіряючих тестів, кратна стратегія спостереження, множина моментів часу спостереження, задача про покриття, генетичний алгоритм, розрізняюча функція

### *Skovtsov V.Yu. Multiple observation time strategy and defining clocks set in the test generation problem*

*This paper investigates the problem of defining observation time clocks set of the output signals in the process of testing digital devices with memory on the generated test sequence. The concept of the multiple observation time strategy of the output signals of sequential circuits and the associated definitions of fault testability are used. We consider two approaches: approach of covering problem, allowing to solve this problem by classical genetic algorithm and related genetic operators, and the analytic approach based on the concept of distinguishing functions for sequential circuits applying a multiple observation time strategy of the output signals. The first method is more attractive for devices larger*

*dimension, by application of non-deterministic evolution approach. The second approach is more accurate analytical method, but it is also applicable in practice for circuits of smaller dimension.*

**Key words:** *Sequential digital circuits, test generation, multiple observation time strategy, observation time clocks*

*set, covering problem, genetic algorithm, distinguishing function*

Рецензент: **Рач В.А.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 16.04.14

УДК 378.09 : 004.774

**АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ  
РОЗРАХУНКОМ НАУКОВОГО ТА НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО РЕЙТИНГУ  
ВИКЛАДАЧІВ КАФЕДРИ УНІВЕРСИТЕТУ**

**Смагіна О. О.**

**INFORMATION SUPPORT SYSTEM ANALYSIS OF CONTROL AND MANAGEMENT  
CALCULATION OF SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL RATING OF  
UNIVERSITY CHAIR LECTURERS**

**Smagina O. O.**

У статті розглянуто особливості розробки автоматизованої системи заповнення наукового та навчально-методичного рейтингу викладачів кафедри університету. Описано особливості проведення опитування студентів з приводу оцінки діяльності викладачів засобами інформаційно-комунікаційних технологій, а саме сайту кафедри університету, та занесення результатів он-лайн опитування до показників навчально-методичного рейтингу викладачів.

**Ключові слова:** рейтинг викладачів, автоматизована система, кафедра університету, веб-сайт, он-лайн опитування.

**Вступ.** Заповнення наукового та навчально-методичного рейтингу викладачів – є одним з видів методичної роботи кафедри університету. В межах нашого дослідження ми розглядаємо сайт університету та сайт кафедри як засіб ІКТ, що використовується в науково-педагогічній діяльності кафедри університету та в реалізації методичної роботи зокрема. Чим більше офіційний веб-сайт надає інформації та форм Інтернет-комунікації користувачам, тим більш ефективним буде комунікативний ресурс із погляду кількості відвідувачів і активності користувачів [2]. Комунікативні властивості мережі роблять більш доступним інформування студентів, співробітників та викладачів про роботу університету в цілому та кафедри зокрема (успіхи студентів в навчальній та науковій діяльності, успіхи випускників, можливості працевлаштування, рейтинг викладачів), реалізують спілкування між студентами та керівництвом ВНЗ в формі оцінки студентами діяльності викладача, отримання доступу до розріблених методичних рекомендацій та навчальних посібників, представлення рейтингів викладачів тощо.

Мета статті – обґрунтувати та проаналізувати розробку автоматизованої системи розрахунку наукового та навчально-методичного рейтингу викладачів кафедри університету.

**Виклад основного матеріалу.** З метою автоматизації розрахунку наукового та навчально-методичного рейтингу викладачів кафедри було створено автоматизовану систему, за допомогою якої викладачі заповнюють показники рейтингу, в автоматичному режимі підсумовується кількість балів та складається рейтинг викладачів кафедри.

Розроблена нами Web-система реалізована як трирівнева архітектура. Трирівнева архітектура – це архітектурна модель програмного комплексу, що припускає наявність в ньому трьох компонентів: клієнтського додатку (звичайно званого „тонким клієнтом” або терміналом), серверу додатків, до якого підключений клієнтський додаток, і серверу бази даних, з яким працює сервер додатків [1].

Клієнт – це інтерфейсний компонент, який представляє перший рівень, власне додаток для кінцевого користувача [1]. Перший рівень не має прямих зв'язків з базою даних (на вимоги безпеки), він навантажений основною логікою процесу (на вимогу масштабованості) та зберігає стан додатку (на вимогу надійності). На перший рівень винесено найпростіші процеси: інтерфейс авторизації, алгоритми шифрування, перевірка значень, що вводяться, на допустимість і відповідність формату, нескладні операції (сортування, уgrpування, підрахунок значень) з даними, що вже завантажені на термінал.

Сервер додатків розташовується на другому рівні. На другому рівні зосереджена більша частина процесів. За його межами залишаються фрагменти, що експортуються на термінали, а також розташовані на третьому рівні процедури та трігери.

Сервер бази даних забезпечує зберігання даних і виносиця на третій рівень. У запропонованій Web-системі третій рівень є базою даних разом з процедурами і тригераами, що зберігаються, та схемою, що описує додаток в термінах реляційної моделі, тому другий рівень побудовано як програмний інтерфейс, що пов'язує клієнтські компоненти з прикладною логікою бази даних.

В порівнянні з клієнт-серверною або файл-серверною архітектурою можна виділити наступні переваги трирівневої архітектури [3]:

- конфігурованість – ізольованість рівнів один від одного дозволяє швидко і простими засобами переконфігурувати систему при виникненні збоїв або при плановому обслуговуванні на одному з рівнів;
- висока безпека;
- висока надійність;
- низькі вимоги до швидкості каналу (мережі) між терміналами і сервером додатків;
- низькі вимоги до продуктивності і технічних характеристик терміналів, і як наслідок зниження їх вартості.

Для розробки автоматизованої системи розрахунку наукового та навчально-методичного рейтингу викладачів кафедри було використано такі мови програмування.

1. Для серверної частини використовується мова програмування PHP – скриптована мова програмування загального призначення, що інтенсивно вживається для розробки Web-додатків. На сьогодні підтримується переважною більшістю хостинг-провайдерів і є одним з лідерів серед мов програмування, що застосовуються для створення динамічних Web -сайтів.

2. Для серверу бази даних використано СКБД MySQL – вільна реляційна система керування базами даних.

3. Для клієнтської частини було використано мови HTML, CSS, JavaScript. HTML – стандартна мова розмітки документів в Інтернеті. Мова HTML інтерпретується браузерами і відображається у вигляді документа в зручній для людини формі. Мова HTML є додатком SGML (стандартної узагальненої мови розмітки) і відповідає міжнародному стандарту ISO 8879. CSS (каскадні таблиці стилів) – формальна мова опису зовнішнього вигляду документа, написаного з використуванням мови розмітки і використовується як засіб опису, оформлення зовнішнього вигляду Web-сторінок, написаних з допомогою мови розмітки HTML і XHTML. JavaScript – прототипно-орієнтована сценарна мова програмування, є діалектом мови ECMAScript. JavaScript використано як вбудовану мову для програмного доступу до об'єктів додатків. Зазвичай вона вживається в браузерах як мова сценаріїв для надання інтерактивності Web-сторінкам.

Розроблена Web-система знаходитьться на безкоштовному хостингу [hostinger.com.ua](http://hostinger.com.ua), який

надає послуги безкоштовного хостингу з підтримкою PHP, MySQL, 2 GB місця на диску, 100 GB трафіку і безкоштовним доменом. Безкоштовний хостинг було обрано з причини того, що однією з умов розробки Web-системи для кафедри університету була доступність засобів розробки. На даний момент система знаходиться у тестовому режимі, а в подальшому, в разі збільшення вимог до Web-системи, можливий її перехід на більш потужний хостинг (хостинг з платною підпискою) чи перенесення на один з серверів університету.

Розглянемо детальніше розроблену автоматизовану систему. Серед користувачів системи виділимо адміністратора (завідувача кафедри), менеджера (викладача чи співробітника кафедри, якого призначив завідувач кафедри), викладачів та студентів. Кожен із зазначених типів користувачів після авторизації має різні права, а саме: менеджер має право створювати нових користувачів, вводити до автоматизованої системи дані про викладачів (ПІБ, наукова ступінь, вчене звання, посада) та студентів, заповнювати перелік дисциплін викладача, продивлятися поточний рейтинг. Менеджер також може заповнювати рейтинги в разі, якщо його функції виконує викладач кафедри. Адміністратор (завідувач кафедри) виконує аналогічні функції, проте він має додаткову функцію: може продивлятися та редагувати заповнені рейтинги викладачів. Користувач категорії „Викладач” має право після авторизації заповнити показники рейтингу, продивлятися готовий рейтинг викладачів (місце у рейтингу та суму балів кожного викладача) та редагувати свій розрахований рейтинг. Продивлятися заповнені рейтинги інших співробітників викладач не має права. Студенти також авторизуються в системі, логін студентів визначається за найменуванням групи, а пароль – за порядковим номером студента у журналі. Кожен студент може оцінити кожного викладача за окремою дисципліною тільки один раз та лише по закінченні дисципліни, коли адміністратор чи завідуючий кафедрою відкриє доступ до оцінки дисципліни. Студент також може ознайомитися з розрахованим рейтингом викладачів за поточний рік чи за попередні (в разі наявності такої інформації).

В якості засобу навігації розроблена автоматизована система містить меню. Для адміністратора та завідувача кафедри воно складається з пунктів: головна сторінка, для викладачів, рейтинг, адміністрування, вихід. Для викладачів відсутній пункт меню – „Адміністрування”, а для студентів доступні „Головна сторінка”, „Анкета для слухачів”, „Рейтинг” та „Вихід”.

Для заповнення наукового рейтингу викладач переглядає перелік показників та проставляє бали за окремі види діяльності, які він виконував у поточному році. В разі, якщо викладач проставив

бали чи поставив позначку навпроти одного з показників, то він обов'язково має заповнити текстові пояснення, тобто, наприклад, для показника „Захист кандидатської дисертації” в текстових поясненнях необхідно вказати дату, місце захисту та тему дисертації, для показника „Тези” необхідно вказати назив тез, назив збірника, в якому вони опубліковані та вказати співавторів публікацій в разі їх наявності тощо. Після заповнення викладач

натискає кнопку „Відіслати”, його кількість балів автоматично підсумовується, та він одразу може подивитися, яке місце у рейтингу він займає серед викладачів, які вже заповнили.

У разі, якщо викладач хоче відредактувати або змінити деякі показники він може натиснути на своєму прізвищі у рейтингу і завантажиться сторінка з заповненими показниками (див. рис. 1).

Організація навчального процесу та його навчально-методичне забезпечення	Текстові пояснення
Розробка та корекція навчальних планів — 6 балів	<input type="text" value="6"/>
Розробка «Стандартів якості освіти в університеті» — 10 балів	<input type="text" value="10"/>
Розробка нових навчальних дисциплін, спецсемінарів, семінарів, фахультативів, предметів за вибором — 5 балів	<input type="text" value="0"/>
Розробка навчальних програм і стандартів для загальносоціальних цілей та ВНЗ з грифом МОН: авторських програм — 20 балів участь у складі творчих колективів — 15 балів	<input type="text" value="0"/>
Розробка та впровадження в магістральній підучин	

Рис. 1. Показники навчально-методичного рейтингу викладача

Оцінюваній предмет: Система управління якістю	Викладач: - ОБЕРІТЬ ВИКЛАДАЧА -
Який відсоток занять з дисциплін ви відвідали?	<input type="radio"/> 91-100% <input type="radio"/> 81-90% <input type="radio"/> 71-80% <input type="radio"/> 61-70% <input type="radio"/> 51-60% <input type="radio"/> 41-50% <input type="radio"/> 31-40% <input type="radio"/> 21-30% <input type="radio"/> 11-20% <input type="radio"/> 1-10%
Наскільки складно для засвоєння була ця дисципліна?	<input type="radio"/> Задачі неподані <input type="radio"/> Не дуже складна <input type="radio"/> Складна <input type="radio"/> Дуже складна
Як би ви оцінили рівень викладання дисципліни?	<input type="radio"/> Високий <input type="radio"/> Достатній <input type="radio"/> Недостатній <input type="radio"/> Низкий
Чи допомагали Вам практичні заняття в засвоєнні цієї дисципліни?	<input type="radio"/> Допомагали суттєво <input type="radio"/> В основному допомагали <input type="radio"/> Допомагали в засвоєнні лише пізньому часу

Рис. 2. Фрагмент анкети для слухачів Інституту післядипломної освіти й дистанційного навчання

За допомогою цієї сторінки розробленої автоматизованої системи можна внести та зберегти зміни у підсумковому рейтингу. Протягом року викладач може заповнювати показники, вносити зміни, а після закінчення календарного року усі категорії користувачів мають право лише продивлятися готовий рейтинг.

Наступний вид рейтингу – це навчально-методичний рейтинг. За допомогою пункту меню „Для викладачів” (вкладка „Навчально-методична

робота”) аналогічним чином співробітники заповнюють показники рейтингу.

Один з показників для обчислення рейтингу навчально-методичної роботи викладачів є оцінка викладацької діяльності за результатами опитування студентів (категорія „Організація навчального процесу та його навчально-методичне забезпечення”). Таку оцінку доцільніше проводити через сайт кафедри. За результатами опитування середній бал викладача автоматично перераховується у десятибалльну систему та

заноситься до відповідного розділу обчислення навчально-методичного рейтингу викладачів кафедри. Після того, як студент завантажує сторінку з анкетою, він спочатку обирає дисципліну, яку буде оцінювати, а потім прізвище викладача, який викладав її у студента (перелік дисциплін та викладачів, що їх викладають на кафедрі державної служби, управління та адміністрування дивись у додатку ). Студент не має права оцінити більше одного разу кожну дисципліну, що викладає викладач. Перше питання, на яке відповідає студент (див. рис. 2), стосується відсотку занять, що він відвідав, та в разі, якщо цей відсоток менше 50, то його анкета не враховується при підрахунку кількості балів, що заноситься до НМР викладача, проте студент все одно відповідає на всі питання анкети.

Підсумковий бал у навчально-методичному рейтингу постійно змінюється, тому що протягом року студенти оцінюють різні дисципліни, що в них викладає один і той саме викладач.

**Результати досліджень.** Розроблена автоматизована система розрахунку наукового та навчально-методичного рейтингу дозволяє в автоматичному режимі підраховувати кількість балів кожного викладача, виставляти оцінку діяльності викладача за результатами опитування студентів та заносити отриманий бал до відповідного поля у навчально-методичному рейтингу. Завідуючий кафедрою за допомогою цієї системи має можливість редагувати заповнені показники рейтингу викладачів кафедри та продивлятися актуальну інформацію щодо місяця кожного співробітника у рейтингу та суми його балів.

**Висновки.** До впровадження автоматизованої системи розрахунку наукового та навчально-методичного рейтингу викладачі кафедри заповнювали окремі файли відомостями про свої досягнення у науковій та навчально-методичній роботі, після цього завідувач кафедри чи співробітник, який за це відповідає, мав підраховувати суму балів кожного викладача та будувати рейтинг за цими даними. В разі зміни яких-небудь відомостей, рейтинг потрібно було змінювати вручну. Після впровадження відповідної автоматизованої системи викладач може заповнювати рейтинг через сайт кафедри поступово протягом року та його сума балів та місце у рейтингу буде постійно оновлюватися в автоматичному режимі. Після закінчення календарного року рейтинги не можна редагувати, проте їх можна переглядати, а новий період (календарний рік) додається автоматично. Інформація до розрахунку навчально-методичного рейтингу заноситься також з он-лайн опитування студентів про якість викладання дисциплін викладачами. Сума балів автоматично перераховується у десятибалльну шкалу та постійно змінюється протягом року після чергового

заповнення анкети студентами та магістрантами. До впровадження системи співробітники кафедри мали вручну обробляти анкети в паперовому вигляді, тож, витрати часу були більш значними. Таким чином, сайт кафедри державної служби, адміністрування та управління використовується як комунікативний ресурс, та за рахунок запропонованої автоматизованої системи забезпечується прозорість побудови рейтингів, викладач одразу ж після заповнення рейтингу бачить своє місце серед інших викладачів кафедри, а завідуючому кафедри доступна інформація про кожного викладача за відповідними рейтингами. У свою чергу, представлення рейтингу у відкритому доступі іншим викладачам сприяє активізації наукової та навчально-методичної роботи на кафедрі.

### Література

1. Архітектура приложений с открытым исходным кодом [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rus-linux.net/MyLDP/BOOKS/Architecture-Open-Source-Aplications/index.html>.
2. Коритникова Н. В. Интернет-представництво як комунікативний ресурс державного управління. : дис... канд. наук: 22.00.04 / Коритникова Надія Володимирівна ; Харк. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна. – Харків, 2008. – 193с.
3. Распределенные объектные технологии в информационных системах [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <[http://www.osp.ru/data/www2/dbms/1997/05-06/52.htm#part\\_7](http://www.osp.ru/data/www2/dbms/1997/05-06/52.htm#part_7)>.

### References

1. Arkhitektura prilozhenij s otkrytym iskhodnym kodom [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : <http://rus-linux.net/MyLDP/BOOKS/Architecture-Open-Source-Aplications/index.html>.
2. Koritnikova N. V. Internet-predstavnitstvo yak komunikativnij resurs derzhavnogo upravlinnya. : dis... kand. nauk: 22.00.04 / Koritnikova Nadiya Volodimirivna ; KHarck. nats. un-t im. V. N. Karazina. – KHarckiv, 2008. – 193s.
3. Raspredelennye ob"ektnye tekhnologii v informatsionnykh sistemakh [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : [http://www.osp.ru/data/www2/dbms/1997/05-06/52.htm#part\\_7](http://www.osp.ru/data/www2/dbms/1997/05-06/52.htm#part_7).

**Смагина О. А. Аналіз інформаційної системи підтримки контролю та управління розрахунком наукового та навчально-методичного рейтинга преподавателей кафедри університета**

*В статье рассмотрены особенности разработки автоматизированной системы заполнения научного и учебно-методического рейтинга преподавателей кафедры университета. Описаны особенности проведения опроса студентов для оценки деятельности преподавателей средствами информационно-коммуникационных технологий, а именно сайта кафедры университета, и занесение результатов он-лайн опроса к показателям учебно-методического рейтинга преподавателей.*

**Ключевые слова:** рейтинг преподавателей, автоматизированная система, кафедра университета, веб-сайт, он-лайн опрос.

**Smagina O. A. Information support system analysis of control and management calculation of scientific, educational and methodological rating of university chair lecturers**

*The article deals with the features of the development of the automated system of filling of scientific, educational and methodological rating of lecturers of the university chair. Students' survey features about the estimation of activity of lecturers by means of information and communication technologies, such as the university chair' site, and entering lecturers' educational and methodological rating results of the*

*online survey to the indicators. We described the advantages of the proposed system for different categories of users: head of the chair (administrator), lecturer and manager.*

**Key words:** rating of the lecturers, the automated system, University chair, website, on - line survey.

**Смагіна Ольга Олександрівна**, асистент кафедри інформаційних технологій та систем ДЗ „Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”,  
olga\_smagina@mail.ru

Рецензент: **Рач В.А.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 17.04.14

УДК 631.356.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ КРУПНОЗЕРНИСТИХ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ткаченко Р. Н., Зубков В. Е.

**THE INVESTIGATION OF SEPARATE PROCESS OF LARGE GRAINED FRIABLE AGRICULTURAL PRODUCT**

Tkachenko R. N., Zubkov V. E.

*Работа посвящена исследованию процесса сепарации крупнозернистых сельскохозяйственных материалов, рассмотрению вопроса конструкции сепарирующих устройств и их модернизации. Проведя анализ способов и устройств для вторичной сепарации были выявлены их обобщающие признаки. Определены условия, при которых процесс вторичной сепарации происходит с высокими качественными показателями и минимальной энергоемкостью. В заключении было сделано предположение о конструировании совершенно нового или усовершенствования существующего типа сепарирующего устройства. Так же поставлены задачи о направлении дальнейшего изучения данного вопроса.*

**Ключевые слова:** технологический процесс сепарации, блокированный псевдосжиженный слой, конструкция, эффективность, качество.

**Введение.** В сельскохозяйственном производстве, процесс сепарации, является одним из технологически сложных. Поэтому исследование данного процесса и выявление обобщающих признаков, а так же определение оптимальной конструкции сепарирующего устройства является актуальной задачей.

Вопрос сепарации в псевдосжиженном слое или на основе блокированного псевдосжиженного слоя (БПС), как сложная система, рассмотрены в работах Ю.И. Зиновьева, В.Е. Зубкова, А.Н. Брюховецкого, О.В. Коваленко. Представленные способы разделения, основанные на различии механико-технологических свойств компонентов вороха, решаются в работах [1, 2, 3], при этом целый ряд вопросов остаются нерешенными.

**Изложение основного материала исследования.** Проведя анализ классификации способов и устройств для вторичной сепарации [1] можно считать что, технологический процесс сепарации разделяется на ручной, механизированный и комбинированный. При этом использование ручного зачастую нецелесообразно

из-за высоких трудозатрат и экономических соображений (используется при небольших объемах работ и выделении небольшого количества примесей).

Сочетание двух указанных способов разделения картофельного вороха можно считать комбинированным, то есть когда наряду с механизацией и автоматизацией процесса разделения применяется и ручной труд переборщиков [2]. Соответственно, как уже отмечалось использование ручного труда нецелесообразно, поэтому применение комбинированного способа также не является предпочтительным.

Способы разделения, основанные на различии механико-технологических свойств компонентов вороха, базируются на разности компонентов по плотности, фрикционным свойствам, упругости и твердости поверхности, аэродинамическим свойствам, электропроводности, отражательной способности света и звуковых импульсов, поглощению излучений. При этом необходимо отметить, что полное разделение невозможно при использовании какого-либо одного свойства [1]. Это в первую очередь показывает сложность протекания технологического процесса сепарирования, но является наиболее эффективным и требует более детального изучения.

Разделение сыпучих сельскохозяйственных материалов рассмотрим на фракционном уровне. При этом учитываем размеры сельскохозяйственной продукции, в нашем случае за основу можно принять размеры  $d=30\ldots110$  мм. К данной размерной группе следует отнести картофель, как наиболее ценный сельскохозяйственный продукт.

Анализ существующих технологий разделения сыпучих материалов убеждает в перспективном использовании сепарирующих устройств на основе разделения материалов в псевдосжиженном слое [3].

Использование механического способа рассмотрим на основе существенного различия корнеклубнеплодов и примесей в плотности и

фрикционных свойствах. В результате оценки способов сепарации следует выбрать способ разделения компонентов в блокированном псевдосжиженном слое, как имеющий ряд преимуществ перед известными.

Исследование сепарирующих систем направлено на выявления более совершенной конструкции. Разработанная концептуальная структурно-логическая схема моделирования технических средств сепарации на основе блокированного псевдосжиженного слоя [4] показывает разнообразность всевозможных конструкций, а следовательно массу нерешенных вопросов в данном направлении. Одним из них является разработка такой конструкции сепарирующего устройства, которое позволит снизить показатель энергоемкости и повысит качество разделения без повреждения сельскохозяйственного материала.

Рассмотрим некоторые из систем сепарирования в БПС. Одной из конструкций [2] является использование решетчатого барабана (рис. 1) на котором закреплены гирлянды и осуществляется подвод воздушного потока через воздухораспределительное устройство.

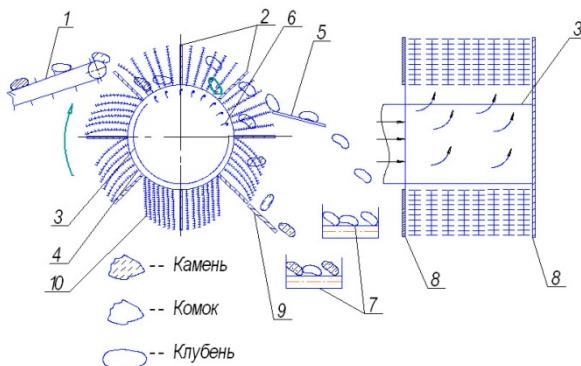


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема сепаратора с блокированным псевдоожиженным слоем:  
1 –транспортер; 2 –перегородка; 3 –нагнетательная камера; 4 –решетчатый барабан; 5 –съемное устройство;  
6 –воздухораспределяющее устройство; 7 –отводные транспортеры; 8 –боковые стенки барабана; 9 - съемное устройство; 10 –гирлянды

Также существует более сложная конструкция, где наряду с использованием пневмофрикционного барабана и создающих воздушный поток вентиляторов, установлено дополнительное устройство первичной сепарации, выполненное в виде пруткового усеченного конуса [1].

Также с подобными принципом сепарирования выполнены устройства [3, стр. 151], [5], в которых решаются вопросы равномерного распределения воздушного потока по площади рабочей поверхности БПС и снижение затрат на его создание.

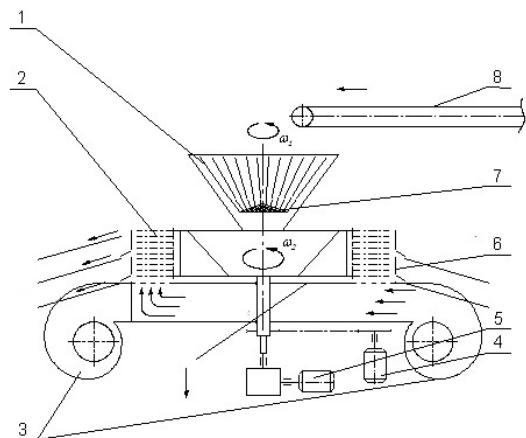


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема пневмофрикционного сепаратора: 1 –усеченный конус; 2 –пневмофрикционный барабан; 3 –вентиляторы; 4, 5 –электроприводы; 6 –разноуровневый съемник; 7 –рассредоточивающее устройство; 8 –подающий транспортер

Как следует из проведенного анализа общим признаком сепарирования является различие в плотности и фрикционных свойствах разделяемых компонентов.

Для осуществления процесса разделения по плотности требуется использование вентилятора, который будет поднимать потоком воздуха гибкие гирлянды.

Поэтому с целью снижения энергоемкости процесса разделения следует рассмотреть технологическую схему без использования воздушного потока (рис. 3). К такой схеме можно отнести вал с закрепленными по окружности гирляндами, которые выпрямляются за счет сил возникающих при вращении.

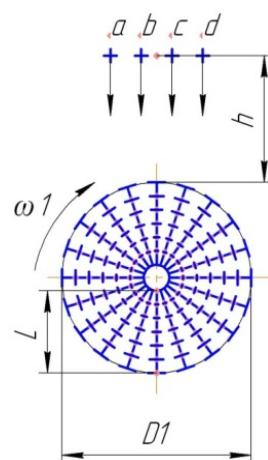


Рис. 3. К обоснованию выбору сепарирующего устройства

Один из вариантов исполнения сепарирующего устройства подобного типа рассмотрен [6], но есть ряд вопросов, которым следует уделить внимание.

К исследованию процесса по схеме (рис. 3) следует отнести показатели, которые требуют корректировки и непосредственно влияют на

процесс сепарации: рабочая длина гирлянды  $L$  (форма, вид, материал); диаметр барабана  $D$ ; количество рабочих барабанов  $N_1...N_x$  их размеры  $D_1...D_x$ , а также межосевое расстояние между ними  $S$ , частота вращения барабана  $n_{\min}...n_{\max}$ ; высота  $h$ , точки сброса  $a,b,c,d$  сепарируемого материала, и соответственные точки его входа в рабочий барабан  $a_1...a_n$ . Немаловажно также рассматривать разность свойств разделяемых материалов.

**Результаты исследований.** Варьируя исследованными данными, есть предположение о конструировании совершенно нового или усовершенствования существующего типа сепарирующего устройства, направленного на выполнение поставленной задачи по снижению энергоемкости технологического процесса и сохранения качественных показателей.

**Выводы.** Процесс сепарации крупнозернистых сельскохозяйственных материалов рассмотрен на основе анализа существующих сепарирующих устройств. Это необходимо в первую очередь для повышения качественных показателей и эффективности работы машин, где за основу принят принцип сепарирования сельскохозяйственных материалов. В общем случае рассмотрение данного вопроса является перспективным и требует дальнейшего изучения.

#### Література

- Брюховецкий А.Н. Повышение эффективности технологического процесса вторичной сепарации картофеля: дис.... канд. техн. наук: спец. 05.05.11 / Брюховецкий Андрей Николаевич. – Луганск, 2004. – 201 с.
- Коваленко О.В. Підвищення ефективності технологічного процесу та обґрунтування параметрів робочих органів машини для вторинної сепарації картоплі: автореф. дис.... здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 - машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / О.В. Коваленко. - Луганськ, 2007 – 21 с.
- Зиновьев Ю.И. Научное обоснование механизированных процессов вторичной сепарации картофеля / Ю.И. Зиновьев, В.Е. Зубков: Монография, - Луганск, «Лугань», 1997. – 176 с.
- Зубков В.Е. Совершенствование процесса сепарации корнеклубнеплодов: дис.... доктора техн. наук: 05.20.01 / Зубков Виктор Егорович. – Луганськ, 2009 – 451 с.
- Патент на корисну модель №43528 Україна, МПК A01D 33/08. Сепаратор вороху цибулі (картоплі) / Лавицький М.В., Брюховецький А.М. - №u200901409; опубл. 25.08.2009, Бюл №16.
- Патент №33962 Україна, МПК A01D 33/08. Щітковий очисник коренеплодів / Зубков В.Є., Карпов В.В. - №99052526; опубл. 15.02.2001, Бюл №1.

#### References

- Brjuhoveckij A.N. Povyshenie jeffektivnosti tehnologicheskogo processa vtorichnoj separacii kartofela: dis.... kand. tehn. nauk: spec. 05.05.11 / Brjuhovec'kij Andrej Nikolaevich. – Lugansk, 2004. – 201 s.

- Kovalenko O.V. Pidvishennja efektivnosti tehnologichnogo procesu ta obrruntuvannja parametrov robochih organiv mashini dlja vtorinnoi separacii kartopli: avtoref. dis.... zdobuttya nauk. stupenja kand. tehn. nauk : spec. 05.05.11 - mashini i zasobi mehanizacii sil's'kogospodars'kogo virobnictva / O.V. Kovalenko. - Lugans'k, 2007 – 21 s.
- Zinov'ev Ju.I. Nauchnoe obosnovanie mehanizi-rovannyh processov vtorichnoj separacii kartofelja / Ju.I. Zinov'ev, V.E. Zubkov: Monografija, - Lugansk, «Lugan'», 1997. – 176 s.
- Zubkov V.E. Sovershenstvovanie processa sepa-racii korneklubneplodov: dis.... doktora tehn. nauk: 05.20.01 / Zubkov Viktor Egorovich. – Lugans'k, 2009 – 451 s.
- Patent na korisnu model' №43528 Ukraina, MPK A01D 33/08. Separator vorohu cibuli (kartopli) / Lavits'kij M.V., Brjuhovec'kij A.M. - №u200901409; opubl. 25.08.2009, Bjul №16.
- Patent №33962 Ukraina, MPK A01D 33/08. Shhit-kovij ochisnik koreneplodiv / Zubkov V.Є., Karpor V.V. - №99052526; opubl. 15.02.2001, Bjul №1.

#### Ткаченко Р. М., Зубков В. Є. Дослідження процесу сепарації крупнозернистих сипучих сільськогосподарських матеріалів.

Робота присвячена дослідженню процесу сепарації крупнозернистих сільськогосподарських матеріалів, розгляду питання конструкції сепаруючих пристрій та шляхів їх модернізації. Проведений аналіз способів та пристрій для вторинної сепарації і виявлені їх узагальнюючі ознаки. Визначені умови, при яких процес вторинної сепарації відбувається з високими якісними показниками і мінімальною енергоємністю. На основі проведенного аналізу зроблено припущення про напрям подальшого вивчення даного питання.

**Ключові слова:** технологічний процес сепарації, блокований псевдозріджений шар, конструкція, ефективність, якість.

**Tkachenko R.N., Zubkov V.E. The investigation of separate process of large grained friable agricultural product**

The article deals with the investigation of separate it large grained process of friable product, clearing up the question of constructions of separating machines and their modernization. The analysis of ways and building for secondary separating method was done. The general qualities were delighted. The conditions, under which the process of secondary separation is fulfilled, are defined. And the result are with high quality and with minimum energycapacity. According to made supposition about further investigation of the following problem was done.

**Key words:** technological process separation, blocked pseudoliquid layer, construction, efficiency, quality.

**Ткаченко Роман Миколайович**, аспірант кафедри ТВіПО Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Луганськ.

**Зубков Віктор Єгорович**, доктор технічних наук, професор кафедри ТВіПО, завідувач Центру міжнародної освіти Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Луганськ.

Рецензент: **Даніч В.М.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 17.04.14

УДК 519.7.

## КОМПОНЕНТНИЙ СКЛАД ГУМ ТА МЕТОД ЙОГО КОНТРОЛЮ

**Фурса О.А., Швачка А.И., Гаврилюк Ю.В.**

### COMPONENT RUBBER COMPOSITION AND METHOD OF ITS CONTROL

**Fursa O., Shvachka A., Gavriluk Y.**

*У роботі розглянуті та досліджені практичні напрямки втілення математичної моделі регулювання складів гум із попередньо заданими властивостями. Метою даної роботи було створення оптимального алгоритму контролю компонентів гум та технологічного середовища на основі запропонованого методу контролю гум. Розроблений метод контролю дозволяє описати термодинамічний стан об'єкту регулювання на основі опису всього комплексу його параметрів в єдиній системі контролю.*

**Ключеві слова:** автоматизація, математична модель, об'єкт, система, гума, модель, інтервал.

**1. Вступ.** При створенні математичної моделі адекватного реального процесу аналізу гум при взаємодії окремих компонентів основною метою є повний опис технологічного процесу при максимальній автоматизації процесу. Щоб відповісти на поставлене питання зазвичай використовують загально фізичні методи, так як процес утворення оптимального технологічного середовища пов'язаний з комплексом технічних засобів контролю. Інформативно комплекси контролю базуються на перетворені енергії різних фізичних ефектів та явищ в інформативний сигнал, що винайшли, та який потребує додаткової автоматизованої обробки для забезпечення контролально-регулюючої дії на об'єкт регулювання. Вище зазначенім умовам відповідають методи контролю, що забезпечують задану точність вимірювання параметру та дозволяють діяти на об'єкт регулювання заданими технічними засобами при умові зображення заданої точності.

**2. Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Для аналізу гум сьогодні використовують методи аналізу, засновані на теорії термодинаміки[1, 2, 3]. Але це загальні методи які для кожного конкретного випадку практичного аналізу потребують введення різних, емпірично визначених, коефіцієнтів та спрощень[4]. Задана

точність контролю наприклад, визначається ступенем врахування випадкових впливів на об'єкт регулювання, та залежить від конкретної математичної моделі процесу регулювання[5]. Математична модель, що розробляється, базується на визначені мінімальної регулюючої дії, заснована на інформативних можливостях технічного забезпечення, що використовується, кожного конкретного процесу контролю.

**3. Матеріали та результати дослідження.** Метою даної роботи було створення оптимального алгоритму контролю компонентів гум та технологічного середовища на основі запропонованого методу контролю гум. Це базується на структурній побудові взаємоз'язків системи, як цілісного об'єкту.

В рамках досліду в загальному випадку об'єкт контролю знаходиться під впливом системи вхідних компонентів  $[H_n]$ , системи зовнішніх випадкових неконтрольованих збуджень і системи регулювання. Цей вплив викликає реакцію об'єкта керування у вигляді зміни внутрішніх параметрів  $[Y_m]$ .

Система контролю енергетично з'єднана з об'єктом системою каналів входу-виходу і знаходиться під впливом системи своїх неконтрольованих зовнішніх випадкових збуджень і системи налагодження працездатності у заданих діапазонах зміни своїх внутрішніх параметрів  $[H_k^{CK}]$ , як причини, що викликають появу вихідних параметрів  $[Y_1^{CK}]$ , як наслідки зміни стану системи керування.

При взаємодії об'єкт-система, як системи відкритого типу отримані матриці параметрів вихідних сигналів  $[Y_1^{CK}]$  подаються на подальшу обробку і не впливають на об'єкт.

При взаємодії об'єкт-система-об'єкт, як системи контролю закритого типу отримані матриці параметрів вихідних сигналів  $[Y_1^{CK}]$ , що поступають на вхід системи регулювання, таким чином змінюючи стан об'єкта (рис1).

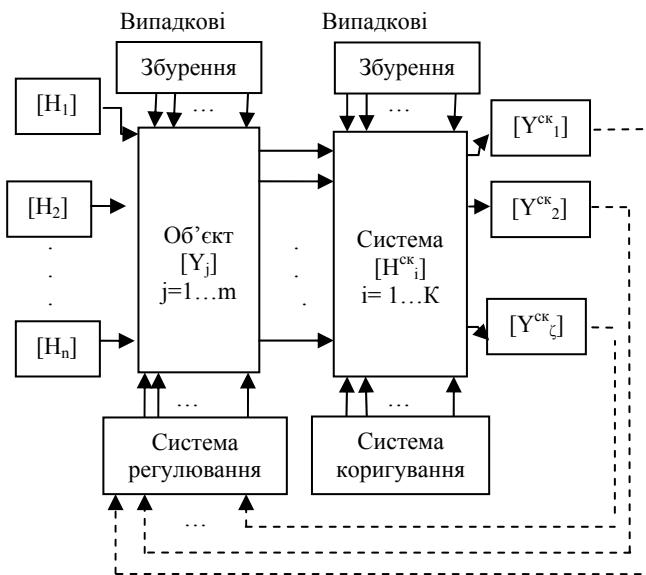


Рис.1. Блок-схема методу контролю:  
де:  $[H_1], \dots, [H_n]$  – матриці вхідних параметрів компонентів;  
 $[Y_j], j=1, \dots, m$  – матриця реакції об'єкту на вхідні компоненти;  
 $[H^{ck}_i], i = 1, \dots, k$  – матриця параметрів системи контролю (СК);  
 $[Y^{ck}_\zeta], \zeta = 1, \dots, l$  – матриці вихідних параметрів системи контролю

Метод контролю полягає у визначені параметрів спільногополя прогресуючих просторів  $\Pi_i, i=1, \dots, p$ - кількість всіх систем у відповідності до рис.1 своїх максимальних кількостей станів.

**4. Експериментальна частина.** Під час експерименту завдяки багатоцикловим замірам, одержали експериментально точну графічну залежність  $H(q)$ . Статична обробка експериментальних даних дозволила отримати графічну залежність  $H(q)$  у вигляді розбитих ділянок. Подальше розбиття графіків на інтервали дозволило визначити спектр похідних від  $H_i^{(0)}$  до  $H_i^{(k)}$  та для  $q$  від  $q_i^{(0)}$  до  $q_i^{(n)}$  на кожному інтервалі  $\Delta t_i$  для всіх  $i=1, m$ .

Диференційні рівняння причино - наслідкових зв'язків для кожного із  $m$  інтервалів в загальному вигляді запишеться  $\Delta t_i, i=1, m$ , де  $K_i^j, j=1, n, i=1, m$  та  $a_i^j, i=1, m$  будуть невідомими.

Тоді диференційне рівняння має вигляд:

Тут надалі  $n=\max$  із  $n \dots \zeta \dots \mu$ . Записавши отримані залежності у матричному вигляді отримали матричне рівняння з трьома невідомими  $[K_i^j], [a_i^j]$  для  $i=1, m$   $j=0, n$  та  $t$ , та використавши метод експоненціальної апроксимації[6] отримали загальне матричне рівняння з якого знайшли  $t$ , що дорівнює:

$$t = \begin{bmatrix} t_{c1} \\ \vdots \\ t_{c\zeta} \\ \vdots \\ t_{cu} \end{bmatrix}$$

де:  $t_{cn}, \dots, t_{c\zeta}, \dots, t_{cu}$  – стала часу для кожного із  $m$  інтервалів часу  $\Delta t_i$ ,  $i = 1, m$ .

Щоб розв'язати систему із трьох рівнянь нашли невідому  $[a_i^j]$ . Таким чином визначили повну матричну залежність для контролю конкретної кількості параметрів. При цьому, контроль параметрів здійснюється за реакцією технологічного процесу та вплив на нього цих вхідних параметрів. Тобто, щоб об'єкт керування задовільняв умові  $P_k \neq 0$ . Тобто наявність від'ємної від нуля площини перетину всіх прогресуючих полів станів всіх систем, що входять в блок-схему методу контролю.

**5. Висновки.** Розроблений метод контролю дозволяє описати термодинамічний стан об'єкту регулювання на основі опису всього комплексу його параметрів в єдиній системі контролю, що в свою чергу дозволяє здійснювати контрольно-регулюючу дію на об'єкт регулювання в рамках заданої точності.

#### Література

1. Таланчук П.М., Міщенко В.Т. Основи теорії проектування вимірювальних приладів: Уч.посібник.- К.: Вища школа. Головне вид-во, 1989.- 454 с ..
2. Конюхов А. Г.. Метрологічне забезпечення в приладобудуванні. Аспекти управління. - М.: Вид-во стандартів, 1990.- 208 с.
3. Гуль Є.В., Орловський П.Н., Шохін І. А. Регенерація й інші методи переробки старої гуми. - М.: Хімія, 1966. - 140с.
4. Методи синтезу нелінійних систем автоматичного управління. Під ред. д.т.н., проф. С.М. Федорова. - М.: Наука, 1986. - 210 с.
5. Засоби вимірювання автоматичного зрівноваження: Навч.посібник. За ред. П.М. Таланчука. - К.: Либідь, 1994. - 288 с..
6. Дьяконов В. MathCAD 2001: спеціальний довідник / В.Дьяконов. - СПб.: Пітер, 2006. - 832с.

#### References

1. Talanchuk P.M., Mishchenko V.T. Fundamentals of the theory of designing instruments: Training allowance. - K.: Graduate school Publishing house, 1989.- 454p.
2. Konyukhov A.G.. Metrological support in instrument. aspects of management. - M.: Publishing House of Standards, 1990.- 208 p.
3. Gul E.V., Orlov P.N., Shokhin I.A. Regeneration and other methods of processing of old tires. - M.: Chemistry, 1966. - 140p.
4. Methods of synthesis of nonlinear systems of automatic control. Ed. Ph.D., prof. S.M. Fedorova. - M.: Science, 1986 - 210 p.

5. Measuring means automatic compensation: Training allowance. Ed. P.N. Talanchuk. - K.: Lybid, 1994. - 288 p.
6. Dyakonov B. MathCAD 2001: A special handbook / V.Dyakonov. - SP6.: Peter, 2006. - p832.

**Фурса О.А., Швачка А.И., Гаврилюк Ю.В.**  
**Компонентный состав резин и метод его контроля.**

*В работе рассмотрены и исследованы практические направления реализации математической модели регулирования состава резин с предварительно заданными свойствами. Целью данной работы было создание оптимального алгоритма контроля компонентов резины и технологической среды на основе предложенного метода контроля. Разработанный метод контроля позволяет описать термодинамическое состояние объекта регулирования на основе описания всего комплекса его параметров в единой системе контроля.*

**Ключевые слова:** автоматизация, математическая модель, объект, система, резина, модель, интервал.

**Fursa O., Shvachka A., Gavriluk Y. Component rubber composition and method of its control.**

*In this work the areas of research and practical implementation of the mathematical model of regulation rubber compositions previously specified properties. The aim of this work was to create the optimal control algorithm rubber components and process environment based on the proposed method of control of rubber developed control method to describe the thermodynamic state of the object of regulation based on the description of the whole complex of its parameters in a single control system.*

*When using this algorithm, the main design is the correct construction of the technological scheme and the definition of control parameters (parameters that we can change in the course of the process). Application of the proposed method makes it possible to obtain reliable information at the design stage and, accordingly, to build the optimal control system.*

**Key words:** automation, mathematical model, object, system, tires, model range.

**Фурса Ольга Олександрівна** – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та метрології, Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет» (ДВНЗ УДХТУ), м.Дніпропетровськ, Україна, e-mail:yaroslav\_dfz@mail.ru.

**Швачка Олександр Іванович** – викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та метрології, Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет» (ДВНЗ УДХТУ), м.Дніпропетровськ, Україна, e-mail: aleksandrshvachka@gmail.com

**Гаврилюк Юрій Володимирович** – аспірант, кафедри «Інформаційних систем» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет» (ДВНЗ УДХТУ), м.Дніпропетровськ, Україна., e-mail:yuragavriluk@gmail.com.

Рецензент: **Суворін О. В.**, д.т.н., доцент.

Стаття подана 23.03.2014

УДК 004.932.4

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ С ИЗВЕСТНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Хмелевої С. В., Землянська С. Ю., Титова А. Ю.

## DETECTION OF IMAGES OF OBJECTS WITH KNOWN GEOMETRY

Hmelevoy S., Zemlyanskaya S., Titova A.

*По двумерному видеоизображению движения объекта определяется его трехмерное пространственное положение. Объект, заранее задан и представляет собой агломерат из нескольких склеенных между собой шаров, что дает возможность визуально четко определять его позицию. Производим поиск границ объекта на изображении при помощи оператора Собеля. Получена трехмерная модель объекта.*

**Ключевые слова:** оконтуривание изображений, проекция трехмерной модели, итерактивный алгоритм.

**Введение** Задача поиска трехмерного пространственного положения объекта возникла как одна из задач определения динамики сложных частиц и объектов, стоящих перед институтом технологии частиц (Institute of Solids Process Engineering and Particle Technology) технического университета г.Гамбург, Германия. Наряду с химическими задачами перед институтом стоит ряд задач, требующих применения вычислительной техники для измерения и моделирования поведения частиц.

Имеется некоторый объект, представляющий собой агломерат, состоящий из соединенных сфер одинакового радиуса (0).

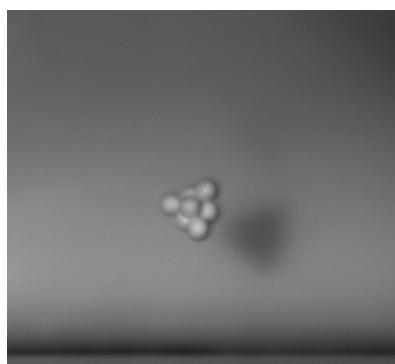


Рис. 1. Объект исследования

Объект может находиться как в свободном падении, контактируя с землей и отскакивая от неё, так и в горизонтальном полете, контактируя с жесткой стенкой. Кроме этого, в зависимости от свойств агломерата возможно разрушение объекта, распад его на несколько более мелких частей. Нахождения простой линейной скорости движения объектов в случае данной задачи недостаточно.

Необходимо полное определение всех сил, действующих на объект, для чего важно нахождение, в том числе и угловой скорости, причем в двух осях. Видеоизображение же, однако, может быть снято только двумерное. Измерение скорости вращения агломерата в двух осях всего по двумерному видеоизображению является нетривиальной научной задачей и представляет как научный, так и практический интерес [1].

Целью статьи является найти трехмерное пространственное положение, выделенного объекта на изображении. Для этого необходимо решить задачи определения положения агломерата, его угла наклона, трехмерную модель и трехмерную скорость движения.

**Анализ методов решения задачи** Описание трехмерных фигур, создание трехмерных моделей является актуальной научной задачей. Уже существуют стандартные бенчмарки [2, 3, 4, 5], где представлены в различных форматах трехмерные представления животных, людей, геометрических фигур в различных форматах. В [6] методы трехмерного представления моделей разделяют на:

- представление контура фигуры в метрическом пространстве;
- представление с помощью каких-то характеризующих объект параметров (гистограмм);
- представление с помощью особых точек на поверхности объекта (максимумов яркости, перепадов яркости и т.д.);
- представление с помощью геометрических составляющих объекта (ног, рук, головы для человеческой фигуры).

Там же видають геометрії і просторства для описания і сравнення таких моделей, из которых можно отметить следующие:

- метрическую геометрию;
- дифференциальную и риманову геометрию;
- дискретную геометрию;
- спектральные пространства.

Среди методов синтеза и обработки объектов выделяют:

- теоретический расчет фигур;
- морфологические преобразования;
- редактирования базовых объектов;
- фильтрацию изображений.

Кроме вопроса трехмерного моделирования, данное исследование связано с темой инвариантного к повороту трехмерного детектирования объектов. Но все работы в данной области также можно отнести к некоторым из описанных выше групп.

Представление **особых геометрических частей** объектов применено в методе 3d SURF (Speeded Up Robust Features). Метод предназначен для определения наличия на зашумленном изображении одной из заранее известных фигур. Выделяются специфические части фигуры, для которых и получаются такие характеристики. Описание специфических точек производится на **дискретном пространстве поиска**, в частности, в [7] – на трехмерном кубе с  $256^3$  ячейками. Используется матрица Гессиана, содержащая вторые смешанные производные яркостей изображения. Характерные части трехмерной фигуры представляют в виде описательного набора:

$$\{fd, qp, [xp, yp, zp]\},$$

где *fd* – дескриптор точки;

*qp* – масштаб точки;

*[xp, yp, zp]* – позиция точки.

Такие дескрипторы 3d SURF приводятся различными способами [8] к характеристике инвариантного поворота и затем классифицируются с помощью преобразования Хафа [9]. Метод дает возможность распознавать деформированные объекты, например, одну фигуру, находящуюся в различных позициях.

**Особые точки на поверхности объекта** используются, например, в методе 3d SIFT (Scale Invariant Feature Transform, инвариантное к масштабу преобразование ключевых точек) [10]. В этом методе трехмерное изображение описывается четырехмерной функцией, полученной на основе Гауссiana. Далее находятся изображение в пространстве DoG (difference-of-Gaussian) и экстремумы этого изображения, которые после фильтрации и являются ключевыми точками изображения, которые потом приводятся инвариантной к вращению и масштабу. Метод тестирулся на медицинских изображениях при различных углах поворота и масштабе. Применение

метода SIFT для распознавания объектов использовалось, например, в [**Ошибка! Источник ссылки не найден.1**]. Сначала получался набор характеристик объекта, затем на изображениях находились эти объекты, даже частично скрытые.

В качестве примера применения **спектральных методов** можно привести [**Ошибка! Источник ссылки не найден.2**], где для получения инвариантного к повороту представления используется преобразование Фурье для изображения, переведенного в сферические координаты. В качестве примера используются изображения микроскопических зернышек пыльцы. Фазовую составляющую полярного преобразования Фурье можно использовать и для определения угла поворота относительно оси XZ. Однако угол поворота относительно оси XY так определить нельзя. Также преобразование и сферическое преобразование Фурье для распознавания трехмерных фигур приведены в [10, 114]. В [14] для этой цели также используются моменты фигур, а в [15] – гистограммы фигур. Также смешанный пространственно-частотный подход использован в [16] для детектирования поворотов объектов вращения (колес, цветов и т.д.)

В [17] предлагается использовать **особые точки на спектральном представлении** объекта. Объект сначала переводится в частотную область, затем приводится к независимому от угла поворота виду; далее получаются отклики от каждого из набора трехмерных фильтров, которые настраиваются на распознавание одного известного объекта. По откликам уже определяется, имеется ли на данном изображении какой-либо известный объект. Как показали исследования, такой подход хорош для определения простых объектов, например, глаз. Но для более сложных структур применимость частотных методов ограничена. Также серьезным недостатком частотных методов является трудность получения именно угла наклона объекта.

Кроме вышеприведенного анализа, в [18] для задачи распознавания лиц приведена следующая группировка методов:

- базированные на правилах, кодирующих априорные знания об объектах;
- базирующиеся на работе со структурными частями объектов, что позволяет варьировать позиции, освещение, точку наблюдения;
- методы сравнения с шаблоном. Используется корреляция между фрагментом изображения и хранящимся шаблоном;
- базирующиеся на внешнем виде. Вместо шаблонов используют набор изображений, полностью характеризующих объект со всех сторон.

Однако такая классификация явно неполная, и построена только на анализе работ по распознаванию лиц.

Анализ применимости существующих методов распознавания трехмерных моделей к заданной

задаче показал, что спектральные методы для решения задачи малоприменимы. Недостатками таких методов является как затрудненность работы со сложными объектами, так и трудность выделения угла наклона из частотного представления. Дискретную геометрию использовать нет необходимости, поскольку разрешение изображений невысоко, сам объект достаточно простой и вычислительная сложность работы с таким объектом тоже совершенно невысокая. Использовать же дифференциальную геометрию нецелесообразно без достаточно веских причин, поскольку не доказана неэффективность работы с простейшей метрической геометрией. Поэтому работа по определению трехмерной скорости будет проводиться в простейшей метрической геометрии.

Однако сама задача определения трехмерного положения объекта, как показал анализ, является вполне малоизученной и решение её представляет собой значительный научный и практический интерес.

**Общий подход к решению задачи исследования.** Как показал анализ исследований, при наличии явного объекта, который необходимо распознать на изображении, наиболее распространенным и вполне уместным решением будет создание некоторой базы моделей, с которым будет проводиться сравнение изображения. На самом изображении вполне логично будет провести поиск «областей интереса», а также подвергнуть его улучшению и фильтрации. После чего обработанное изображение должно сравниваться с некоторой базой моделей с целью определения одной наиболее соответствующей. То есть, для решения данной задачи предлагается решение следующих этапов:

- обработка и улучшение исходного изображения с целью выделения информативной части объекта (используются методы фильтрации изображений и морфологические преобразования изображений);
- построение базы моделей, с которыми будет вестись сравнение (включает теоретическое построение трехмерной модели объекта);
- сравнение обработанного изображения с базой моделей (с использованием алгоритмов расчета похожести изображений).

**Постановка задачи исследования** На этапе выделения границ объекта необходимо определить методы предобработки изображений  $F$ , преобразующие исходные изображения  $A_i$  в бинарные изображения  $O_i = F(A_i)$ . При этом должен максимально сохраняться контур каждой окружности, длина разрывов в контуре должна быть минимальной, а сами окружности внутри должны быть заполнены нулями.

На этапе получения проекции модели должна быть сформирована модель  $M$  объекта, которая может вращаться в трех плоскостях. Повернутая на углы  $\alpha, \beta, \gamma$  модель  $M(\alpha, \beta, \gamma)$  должна быть

спроектирована на плоскость и будет получена проекция  $P(M(\alpha, \beta, \gamma))$ .

На этапе сравнения изображения с проекцией необходимо найти меру различия  $Dist$  между бинарным изображением  $F(A_i)$  и проекцией модели  $P(M(\alpha, \beta, \gamma))$ . Также необходимо найти такие углы  $\alpha, \beta, \gamma$ , при которых мера различия  $Dist(F(A_i), P(M(\alpha, \beta, \gamma)))$  была минимальной.

Далее рассмотрены подробности пути решения каждого из этих этапов.

**Обработка и улучшение исходного изображения** Проведен анализ методов предобработки изображений [19]. Он показал, что для подготовки изображения достаточно использование средств пакета Matlab [20]. Данный пакет предоставляет все необходимые средства, как для оконтуривания, так и для бинарных операций. Поэтому обработка и улучшение исходного изображения в данной работе производятся с помощью средств пакета Matlab.

Края (границы) объекта – это кривые на изображении, вдоль которых происходит резкое изменение яркости или других видов неоднородностей на изображении. Другими словами, край – это резкий переход/изменение яркости [21]. Классическим способом для выделения границ является оператор Собеля [22], в котором пиксели изображения подвергаются умножению на матрицу (1) для выделения горизонтальных границ.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Для выделения вертикальных границ матрица транспонируется. Получается два результата от фильтрации

этими двумя фильтрами, потом результаты усредняются с помощью среднего квадратичного. Такой метод позволяет очень хорошо выделять границы именно круглых фрагментов изображений (0д, е, ж).

**Построение базы моделей** Как видно из 0, агломерат состоит из 7 шарообразных частей с одинаковыми радиусами. Эксперименты на изображениях, полученные с помощью преобразования Хафа [9], позволили получить размеры этих шаров в пикселях. Зная, что объекты склеиваются между собой, нетрудно определить места, где именно они соприкасаются.

Далее, на основании расчета мест соприкосновения, несложно рассчитать координаты центров шаров. Координаты центров совместно с длиной радиуса шаров полностью характеризуют объект и позволяют, путем их вращения, получить

проекцію об'єкта в будь-якому положенні. Затем удаляються те точки проекції, які заслоняються частинами об'єкта, які знаходяться на передньому плані.

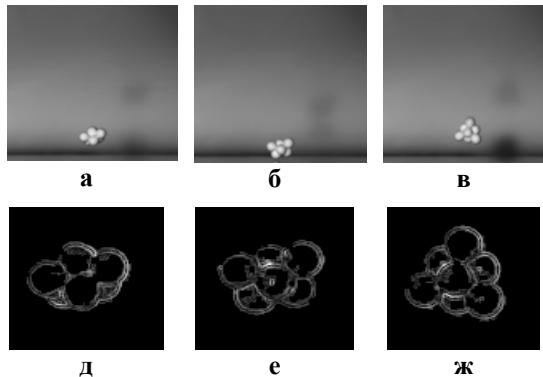


Рис. 2. Фрагменти видеоряду падення изображений:  
а, б, в – исходные изображения;  
д, е, ж – обработанные оператором Собеля

Поскольку вимірювальна складність побудови проекцій моделі невелика, база моделей як такова не будується. Для порівняння просто заново виконується генерація проекцій моделі в потрібному положенні.

**Сравнение обработанного изображения с проекциями моделей** Поскольку об'єкт повністю визначається центрами шарів та їх радіусами, поворот об'єкта в тривимірному пространстві виконується путем умноження цих центрів на матриці поворота [23]:

$$M_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$M_y(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & 0 & \sin(\alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\alpha) & 0 & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$M_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Спільний поворот виконується послідовним поворотом навколо кожної з осей.

Такий поворот має значительний недостаток: результат декількох послідовних поворотів на малі угли не рівний результату одного великого поворота на суму цих углов. Також послідовні повороти навколо всіх трьох осей не дають того ж результату, що один спільний поворот. Однак і матриця спільного поворота не відволікає від виказаного недостатку. Поэтому прийнято рішення при послідовних поворотах

виконувати один великий спільний поворот, перед цим повертаючи фігуру в початкове положення і потім повертуючи на змінений угол. Такий поворот дає стабільний і повторюваний результат, який можна перевірити.

Проекція об'єкта після поворота виконується путем нанесення на площину границь кожного шара агломерата, і потім удалення точок, знаходящихся всередині проекцій більшіх шарів.

*Нахождение меры похожести проекции и изображения.* В [6] виділяють наступні види сходства, кожний з яких має своїми достоинствами та недостатками:

- подобність форми. Просто виконується (евклидово відстань), але не дозволяє визначати частичну подобність.

- ітеративний алгоритм найближчих точок (Iterative closest point, ICP).

Рассмотрим итеративный алгоритм, упрощенная блок-схема которого представлена на рис.3. Имеются две фигуры: X и Y. Необходимо найти такое перемещение  $(R, t)$  для фигуры Y, чтобы перемещенная фигура  $Y' = RY + t$  была как можно ближе к X:

$$d(Y', X) = \min_{R, t} d(RY + t, X), \quad (5)$$

где  $d(Y', X)$  – некоторое расстояние между фигурами.

Параметрами алгоритма являются:

- выбор меры расстояния между фигурами;
- выбор алгоритма числовой минимизации.

В данном случае алгоритм числовой минимизации работает с параметрами  $(\alpha, \beta, \gamma)$ , определяющими угол поворота фигуры относительно некоторого начального положения.

В качестве меры расстояния между фигурами в исследовании применяется расстояние Хауздорфа (Hausdorffdistance):

$$d(Y', X') = \max \left\{ \max_{x \in X} d(x, Y'), \max_{y \in Y} d(y, X') \right\}, \quad (6)$$

где  $d(x, Y') = \min_{y \in Y} \|x - y\|$  – расстояние между точкой

$x$  и фигурой  $Y'$ ;

$d(y, X') = \min_{x \in X} \|y - x\|$  – расстояние между точкой  $y$  и фигурой  $X'$ ;

Под понятием расстояния между точками понимается следующее:

Пусть имеется некоторое множество точек X, образующих фигуру. Необходимо найти наиболее близкую точку:

$$x^*(y) = \arg \min_{x \in X} \|y - x\| \quad (7)$$

к  $Y$  на  $X$ . Близькість визначається як мера відстані:

$$d^2(y, X) = \|x^*(y) - y\|_2^2 = \min_{x \in X} \|x - y\|_2^2 \quad (8)$$

Ініціалізувати  $Y$

Найти найближчі відповідні точки:

$$x^*(y) = \arg \min_{x \in X} \|y - x\|$$

Мінімізувати відхилення

між відповідними точками:

$$(R, t) = \arg \min_{R, t} \sum_{y \in Y'} d^2(Ry + t, x^*(y))$$

Оновити  $Y = RY + t$

Рис. 3. Упрощена блок-схема ітеративного алгоритму найближчих точок

Для розв'язання даної задачі ітеративний алгоритм найближчих точок був модифікований. Фігура  $Y$ , яка, згідно з алгоритмом, може бути переміщена, в цьому випадку не повинна бути лінійно сдвинута (це інтересує кут наклона об'єкта та всі зображення центруються). Із можливих переміщень фігури доступна тільки ротація. Після ротації отримується проекція фігури  $Y' = P(RY)$ , яка і порівнюється з обробленою зображенням  $X$ :

$$x^*(y) = \arg \min_{x \in X} \|Y' - x\| \quad (9)$$

Після встановлення положення об'єкта визначалася його тривимірна швидкість згідно [24].

**Результати дослідження** Вищеописаний метод визначення положення тривимірного об'єкта був реалізований з використанням середи програмування Visual C++ 2008. Екранна форма програмної реалізації показана на 04. Результати роботи відповідають очікуванням, хоча для підвищення точності визначення положення об'єкта необхідно використовувати ряд заходів по підвищенню оконтурювання зображення та модифікації порівняння проекції з зображенням.

### Висновки

В випадку, коли задача знаходження тривимірних швидкостей вращення двивимірного об'єкта по двумерному зображенням метод Particle Image Velocimetry (PIV) недоступний. Необхідно створити новий метод, заснований на методах обробки зображень.

Для одиночного двивимірного агломерата, що складається з набору склеєних разом куль, процедура визначення швидкості буде складатися з наступних етапів:

- пошук границь об'єкта;
- детекція структурних елементів;
- визначення положення об'єкта.

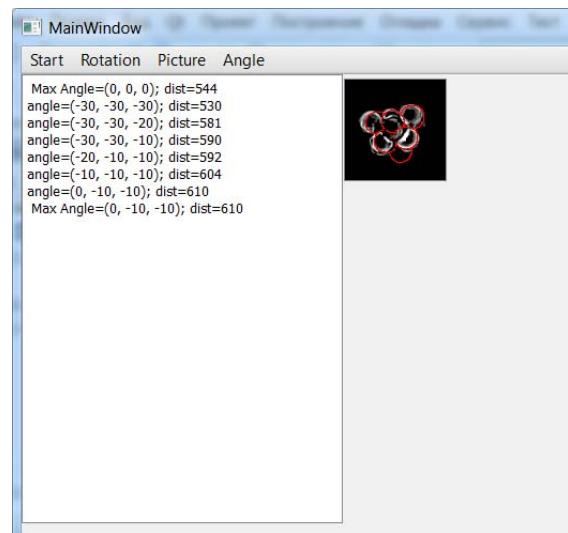


Рис. 4. Екранна форма програмної реалізації метода

Виконано пошук границь (оконтурювання) об'єкта. Для оконтурювання використовується середнє квадратичне виділення горизонтальних та вертикальних градієнтів за методом Собеля.

Получена тривимірна модель об'єкта, визначені та перевірені її преобразування для тривимірного обертання. Після тривимірного обертання моделі була отримана її проекція, яка порівнювалася з оконтуреним об'єктом. За результатами порівняння визначалася найбільш ймовірна тривимірна позиція об'єкта.

Виконана програмна реалізація порівняння проекції моделі об'єкта з оконтуреним зображенням. Результати відповідають очікуванням та підтверджують теоретичні дослідження.

### Література

1. Хмелевої С. В. Детекція об'єктів з відомою геометрією на зображенні / Хмелевої С. В., Азаренко Д. В. // Системи та засоби штучного інтелекту ССІІ 2013: Матеріали Міжнародної наукової молодіжної школи (23-27 вересня 2013 року, м. Кам'янськ, АР Крим, Україна). – Донецьк: ІПШІ «Наука і освіта», 2013. – 248с. – С. 211 – 214.
2. Datasets of 3d shapes [Електронний ресурс]. - Режим доступу : [http://homes.esat.kuleuven.be/~jknopp/\\_tmp\\_data/index.html](http://homes.esat.kuleuven.be/~jknopp/_tmp_data/index.html).
3. Project TOSCA Tools for non-rigid shape comparison and analysis [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://tosca.cs.technion.ac.il/book/resources\\_data.html](http://tosca.cs.technion.ac.il/book/resources_data.html)

4. Sharp3d. Data Set for SHREC 2009 - Shape Retrieval Contest of Partial 3D Models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.itl.nist.gov/iad/vug/sharp/benchmark/shrecPartial/data.html
5. Princeton Shape Benchmark [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/
6. Numerical geometry of non-rigid shapes / Alexander Bronstein, Michael Bronstein, Ron Kimmel. – Springer Verlag, 2008. – 360 pages, 50 illustrations (7 in color).
7. Hough Transforms and 3D SURF for robust three dimensional classification / J. Knopp, M. Prasad, G. Willems, R. Timofte, L. Van Gool.
8. Orientation Invariant 3D Object Classification using Hough Transform Based Methods / Jan Knopp, Mukta Prasad, Luc Van Gool . – 3DOR'10, October 25, 2010, Firenze, Italy.
9. Преобразование Хафа / А. Дегтярева, В. Вежневец [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ict.edu.ru/ft/002407/num1degt.pdf.
10. Kobbelt L. Rotation invariant spherical harmonic representation of 3d shape descriptors / Kobbelt L., Schrder P., Kazhdan M., Funkhouser T., Rusinkiewicz S. – 2003.
11. Saupe D. 3d model retrieval with spherical harmonics and moments / Saupe D., Vrancic D.V. – DAGM-Symposiumon Pattern Recognition. – 2001.
12. Osada R. Shape distributions. ACM Transactions on Graphics / Osada R., Funkhouser T., Chazelle B., Dobki D. – 2002. – P. 807 – 832.
13. Skewed Rotation Symmetry Group Detection / Seungkyu Lee, Yanxi Liu. – IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2009.
14. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.. Москва: Техносфера, 2006. – 616с.
15. Дьяконов В. Matlab. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / Дьяконов В.. – СПб.: Питер, 2002. – 608с.
16. Сирота А. А. Статические алгоритмы обнаружения границ объектов на изображении / А. А. Сирота, А. И. Соломатин. – Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии, 2008. – № 1.
17. Оператор Собеля [Электронный ресурс] / Википедия – свободная энциклопедия. – Россия, 2013. – Режим доступа : http://ru.wikipedia.org/wiki/%CE%EF%E5%F0%E0%F2%EE%F0\_%D1%EE%E1%E5%EB%FF.
18. Матрица поворота [Электронный ресурс] / Википедия – свободная энциклопедия. – Россия, 2013. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%E0%F2%F0%E8%F6%E0\_%EF%EE%E2%EE%F0%EE%F2%E0.
19. David J. Heeger. Notes of motion estimation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cns.nyu.edu/~david/handouts/motion.pdf
2. Datasets of 3d shapes [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://homes.esat.kuleuven.be/~jknopp/\_tmp\_data/index.html.
3. Project TOSCA Tools for non-rigid shape comparison and analysis [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://tosca.cs.technion.ac.il/book/resources\_data.html
4. Sharp3d. Data Set for SHREC 2009 - Shape Retrieval Contest of Partial 3D Models [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.itl.nist.gov/iad/vug/sharp/benchmark/shrecPartial/data.html
5. Princeton Shape Benchmark [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/
6. Numerical geometry of non-rigid shapes / Alexander Bronstein, Michael Bronstein, Ron Kimmel. – Springer Verlag, 2008. – 360 pages, 50 illustrations (7 in color).
7. Hough Transforms and 3D SURF for robust three dimensional classification / J. Knopp, M. Prasad, G. Willems, R. Timofte, L. Van Gool.
8. Orientation Invariant 3D Object Classification using Hough Transform Based Methods / Jan Knopp, Mukta Prasad, Luc Van Gool . – 3DOR'10, October 25, 2010, Firenze, Italy.
9. Preobrazovanie Hafa / A. Degtjareva, V. Vezhnevec [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://www.ict.edu.ru/ft/002407/num1degt.pdf.
10. Kobbelt L. Rotation invariant spherical harmonic representation of 3d shape descriptors / Kobbelt L., Schrder P., Kazhdan M., Funkhouser T., Rusinkiewicz S. – 2003.
11. Saupe D. 3d model retrieval with spherical harmonics and moments / Saupe D., Vrancic D.V. – DAGM-Symposiumon Pattern Recognition. – 2001.
12. Osada R. Shape distributions. ACM Transactions on Graphics / Osada R., Funkhouser T., Chazelle B., Dobki D. – 2002. – P. 807 – 832.
13. Skewed Rotation Symmetry Group Detection / Seungkyu Lee, Yanxi Liu. – IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2009.
14. Gonsales R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij v srede MATLAB / Gonsales R., Vuds R., Jeddins S.. Moskva: Tehnosfera, 2006. – 616s.
15. D'jakonov V. Matlab. Obrabotka signalov i izobrazhenij. Special'nyj spravochnik / D'jakonov V.. – SPb.: Piter, 2002. – 608s.
16. Sirota A. A. Staticheskie algoritmy obnaruzhenija granic ob#ektov na izobrazhenii / A. A. Sirota, A. I. Solomatin. – Vestnik VGU, serija: sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii, 2008. – № 1.
17. Operator Sobelia [Jelektronnyj resurs] / Vikipedija – svobodnaja jenciklopedija. – Rossija, 2013. – Rezhim dostupa : http://ru.wikipedia.org/wiki/%CE%EF%E5%F0%E0%F2%EE%F0\_%D1%EE%E1%E5%EB%FF.
18. Matrica poverota [Jelektronnyj resurs] / Vikipedija – svobodnaja jenciklopedija. – Rossija, 2013. – Rezhim dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%E0%F2%F0%E8%F6%E0\_%EF%EE%E2%EE%F0%EE%F2%E0.
19. David J. Heeger. Notes of motion estimation [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.cns.nyu.edu/~david/handouts/motion.pdf

#### R e f e r e n c e s

1. Hmelevoj S. V. Detektirovanie ob#ektov s izvestnoj geometriej na izobrazhenii / Hmelevoj S.V., Azarenko D.V. // Sistemy i sredstva iskusstvennogo intellekta SSII 2013: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj molodezhnoj shkoly (23-27 sentjabrja 2013 goda, pos. Kaciveli, AR Krym, Ukraina). – Donec'k: IPSH I «Nauka i osvita», 2013. – 248s. – S. 211 – 214.

**Хмільовий С.В., Землянська С.Ю., Тітова А.Ю.**  
**Детектування зображень об'єктів з відомою геометрією**

Детектування зображень об'єктів з відомою геометрією. По двовимірному відеозображеню руху об'єкта визначається його тривимірне просторове положення. Об'єкт, заздалегідь заданий і становить агломерат з декількох склеєних між собою куль, що дає можливість візуально чітко визначати його позицію. Виконуємо пошук меж об'єкта на зображенні за допомогою оператора Собеля. Одержанана тривимірна модель об'єкта.

**Ключові слова:** оконтурювання зображень, проекція тривимірної моделі, інтерактивний алгоритм.

**Hmelevoy S., Zemlyanskaya S., Titova A. Detection of images of objects with known geometry**

The problem of searching three-dimensional attitude of object is appeared as one of the objectives determine the dynamics of complicated molecules and objects in chemical technology for processing control synthesis. The purpose of detection to assign available of an object in the image and find its position in the coordinate frame of pixels in the original image. On two-dimensional video motion of an object is defined by its three-dimensional position. The object specified

in advance and is an agglomerate of several glued together balls, which gives the ability to clearly define its position. In this paper, we propose using the Sobel operator for detection edge of object in the image. Finally, we attempt to received the three-dimensional model of object and tested it converting for three-dimensional rotation.

**Key words:** boundary detection, projection of three-dimensional model, iteraktivny algorithm.

**Хмільовий С.В.** – к.т.н., доцент кафедри АСУ Донецького національного технічного університету, hmelevoy@cs.donntu.edu.ua.

**Землянська С.Ю.** – к.т.н., асистент кафедри АСУ Донецького національного технічного університету, zsaa@ya.ru.

**Тітова А.Ю.** – магістр, аспірант кафедри АСУ Донецького національного технічного університету, a.titova.wk@gmail.com.

Рецензент: **Рач В.А.**, д.т.н., професор.

Стаття подана: 09.03.2014

УДК 004.04

## КОМП'ЮТЕРНАЯ СИСТЕМА СЕГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ МУРАВЬИНЫХ КОЛОНІЙ

**Эль-Хатиб С.А., Скобцов Ю.А.**

## COMPUTER SYSTEM OF MEDICAL IMAGE SEGMENTATION USING ANT COLONY OPTIMIZATION

**El-Khatib S., Skobtsov Y.**

*Сегментация изображений является одной из самых важных и сложных задач низкоуровневого анализа изображений. Поскольку это один из первых этапов распознавания изображений, то последующие шаги, такие как выделение сущностей, классификация и распознавание, в значительной степени зависят от его результатов. Поэтому сегментация изображений является предметом интенсивных исследований. Выполнена реализация и анализ совместного алгоритма сегментации K-средних и муравьиных колоний. Реализована программная система. Получены выходные данные. Получены значения коэффициентов предложенного алгоритма и проведено сравнение результатов обработки другими системами.*

**Ключевые слова:** сегментация, алгоритм муравьиных колоний, алгоритм K-средних, анализ изображений.

### **Введение**

Широкий спектр методов сегментации изображений описан в различной литературе, например, хороший обзор таких методов можно найти в [1].

Среди них, метод случайных полей Маркова(MRF), является одним из наиболее часто используемых [2].Методы, основанные на марковских случайных полях, ищут оптимальные маркировки пикселей изображения. Процесс маркировки состоит из точной маркировки пикселей изображений группой меток. При этом набор меток представляет классы шаблонов в изображении. С помощью процесса, основанного на локальных взаимодействиях между пикселями, MRF позволяет производить выбор меток пикселя явно и независимо от локального взаимодействия между пикселями и его соседями в четко определенной окрестности без привлечения всех пикселей изображения.

Алгоритм муравьиных колоний(ACO) – современный популяционный подход в современной теории искусственного интеллекта, основанный на модели коллективного поведения муравьев,

предназначенный, прежде всего для решения задач комбинаторной оптимизации (на графах). В алгоритме муравьиных колоний решение задачи строятся в процессе стохастического итеративного процесса, путем добавления частных решений в общее целое. Каждый отдельный муравей строит свою часть решения, помечая его искусственным феромоном, который отражает опыт, накопленный при решении задачи и эвристическую информацию в зависимости от рассматриваемой проблемы.

При сегментации достаточно часто используется алгоритм k-средних, который основан на минимизации квадратичной ошибки. Данный алгоритм, как правило, неплохо выполняет кластеризацию точек(пикселей) на изображении, но в процессе обработки изображения он не может исключить лишнюю информацию, такую, как например, шумы различного рода. Алгоритм k-средних выполняет построение k различных кластеров [1]. Выбор числа кластеров k, как правило, базируется на результатах предыдущих исследований либо на основании экспертной оценки оценки. Общая идея алгоритма состоит в том, что для заданного k числа кластеров, надо найти такое множество кластеров, чтобы средние значения в кластерах максимально возможно отличались друг от друга. Поскольку мы этот алгоритм также будем использовать качестве вспомогательного средства, приведем его основные этапы:

1. Первичное сопоставление объектов кластерам;
2. Выбор центров кластеров (случайным образом или заранее известным способом);
3. Итеративный процесс, который включает в себя новое вычисление кластерных центров, пересчет средних значений координат кластера и перераспределение объектов по кластерам.
4. Условия завершения:
  - стабилизация кластерных центров (между итерациями ни один центр не поменял своего значения);

- достижение максимального числа итераций алгоритма.

В данной работе представлена разработанная программная система сегментации изображений, в основе которой лежит алгоритм муравьиных колоний в сочетании с алгоритмом к-средних, который показал свою конкурентоспособность при решении NP-полных комбинаторных задач по сравнению с генетическими алгоритмами(GA) или алгоритмами имитации отжига(SA). [3]

### **Муравьиный алгоритм**

Муравьиный алгоритм (ant colony optimization, ACO) — эффективный полиномиальный алгоритм для решения задачи коммивояжёра и подобных задач поиска путей на графах. Его суть состоит в использовании модели поведения муравьев, прокладывающих путь от колонии к источнику пищи и представляет метаэвристическую оптимизацию[5]. Впервые алгоритм был предложен доктором наук Марко Дориго в 1992 году и использовался для поиска оптимального пути в графе.

Основу алгоритма составляет реальное поведение муравьиной колонии – отметка более лучших путей большим количеством феромона. Изначально все муравьи размещаются в вершинах графа, после чего начинается движение муравьев, направление которого определяется вероятностным методом на основании формулы вида:

$$P_i = \frac{l_i^q * f_i^p}{\sum_{k=0}^N l_k^q * f_k^p}, \text{ где: } P_i \text{ вероятность перехода}$$

по  $i$ -му пути,  $l_i$  - величина, обратная весу  $i$ -ого перехода,  $f_i$  - количество феромона в  $i$ -ом переходе,  $q$  – величина «жадности» алгоритма,  $p$  – величина «стадности» алгоритма и  $q + p = 1$ .

За счет повторения алгоритма и вероятности решения удается получать точные результаты. Было предложено несколько моделей ACO. Среди них три наиболее успешные:

- 1) Ant System (M.Dorigo, 1992);
- 2) Ant colony system (Dorigo, Gambarella, 1997);
- 3) MAX-MIN ant system (MMAS) (Stutzle, 2000)

### **Алгоритм сегментации изображений на основе метода муравьиных колоний**

Для получения эффективного алгоритма сегментации изображений предложен метод, в котором используется преимущества муравьиного алгоритма и метода к-средних[4]. На первом этапе необходимо установить значение количества кластеров и случайным образом инициализировать их центры. Далее, согласно алгоритму кластеризации к-средних, определяется принадлежность каждого пикселя изображения определенному кластеру. На этом этапе решающую роль играет алгоритм муравьиных колоний. Он определяет связь каждого пикселя с кластерами

изображения. Это выполняется согласно значению вероятности, которое обратно пропорционально расстоянию между пикселием, центром кластера и переменной  $\tau$ , которая представляет уровень феромона. Уровень феромона определяется пропорционально минимальному расстоянию между каждой парой центров кластеров и обратно пропорционально расстоянию между каждым пикселием и его центром. Таким образом, значение уровня феромона растет с увеличением дистанции между центрами кластеров, а также с увеличением компактности пикселей в кластере. При этих же условиях возрастает и вероятность присоединения пикселя к кластеру.

Испарение феромона рассчитывается для того, чтобы ослабить воздействие предыдущих выбранных решений, которые являются менее приоритетными. Аналогично алгоритму к-средних, в распределенном состоянии происходит обновление кластерных центров, путем пересчета среднего значения пикселей в каждом кластере. Это продолжается до тех пор, пока изменение значения кластерного центра существенно не меняется. В отличие от алгоритма к-средних, разработанный метод не останавливается на этом этапе. Процесс кластеризации продолжают выполнять  $m$  муравьев, каждый из которых в конечном итоге находит потенциальное решение. Критерий поиска лучшего решения и коррекция уровня феромона соответственно для следующей группы  $m$  муравьев являются определяющими для метода. При выполнении критерия останова кластеризация завершается. Таким образом, находится лучшее решение[3].

В программной реализации алгоритм начинается с определения уровня феромона  $\tau$  и задания эвристической информации  $\eta$  для каждого пикселя. Затем, каждый муравей определяет принадлежность пикселя кластера с вероятностью  $P$ , которая рассчитывается из выражения (4)

$$P_i(X_n) = \frac{[\tau_i(X_n)]^\alpha [\eta_i(X_n)]^\beta}{\sum_{j=0}^K [\tau_j(X_n)]^\alpha [\eta_j(X_n)]^\beta} \quad (1)$$

где:

- $P_i(X_n)$  - вероятность принадлежности пикселя  $X_n$  кластеру  $i$ ;
- $\tau_i(X_n)$  и  $\eta_i(X_n)$  - информация о феромоне и эвристическая переменная принадлежности пикселя  $X_n$  кластеру  $i$  соответственно;
- $\alpha$  и  $\beta$  - константные параметры, которые определяют относительное влияние феромона и эвристической информации;
- $K$  – количество кластеров.

Эвристическая информация согласно выражению (5):

$$\eta_i(X_n) = \frac{k}{CDist(X_n, CC_i) * PDist(X_n, PC_i)} \quad (2)$$

где:

- $X_n$  – пиксель номер  $n$ ;
- $CC_i$  –  $i$ -тый спектральный кластерный центр;
- $PC_i$  –  $i$ -тый пространственный центр кластера;
- $CDist(X_n, CC_i)$  – расстояние между  $(X_n, CC_i)$  согласно цветовым характеристикам пикселей;
- $PDist(X_n, PC_i)$  – евклидово расстояние между  $(X_n, PC_i)$ , согласно расположения пикселя на изображении;
- $k$  – константа, которая используется для балансировки значения  $\eta$  с  $\tau$ .

При этом значение уровня феромона на начальном этапе устанавливается равным 1, поэтому на первой итерации он не оказывает влияние на вероятность перехода.

Предположим, что определено  $m$  –муравьев для кластеризации изображения. Каждый муравей находит свое индивидуальное решение задачи. После того, как  $m$  муравьев сегментировали изображение, выбирается лучшее решение для текущей итерации, для него корректируется уровень феромона и происходит обновление всех центров кластеров согласно выбранному лучшему решению. На следующей итерации инициализация муравьев происходит согласно предыдущему опыту. На каждой итерации каждый из  $m$  муравьев находит индивидуальное решение, которое корректируется согласно собственным эвристическим знаниям и общим лучшим решением, найденным всеми муравьями. Это повторяется, пока будет найдено решение, удовлетворяющее всем заданным условиям.

Общее решение из  $m$  индивидуальных решений выбирается по 2 параметрам:

1. Евклидово расстояние между кластерными центрами, исходя из цветовых характеристик. Оно характеризует разбиение с точки зрения обособленности кластеров.

2. Суммы евклидовых расстояний между центром кластера и каждым его пикселям согласно цветовым и пространственным характеристикам. Они определяют характеристики разбиения согласно критерия подобия и компактности кластеров.

Чтобы выбрать глобальное лучшее решение из всех построенных локальных необходимо, чтобы выполнялись следующие условия:

1. Евклидово расстояние между кластерами, с точки зрения цветовых характеристик, должно быть велико, соответственно кластеры будут отличными друг от друга.

2. Сумма евклидовых расстояний между центром кластера и каждым его пикселям, согласно цветовым характеристикам, должна быть маленькой, соответственно кластер будет более однородным.

3. Сумма евклидовых расстояний между центром кластера и каждым его пикселям, согласно пространственным характеристикам, должна быть маленькой, соответственно кластеры будут более компактными.

Для того чтобы выполнить первое условие, мы для каждого муравья рассчитывается расстояние между каждой парой центров кластеров и сортируются эти значения по возрастанию. Затем выбирается минимальное среди всех муравьев и на основе сравнения, выбирается максимальный [ $MinMax(k)$ ].

При выполнения пунктов 2 и 3 необходимо:

1. Подсчитать суммы расстояний между кластерными центрами и их пикселями.

2. Отсортировать эти значения по возрастанию.

3. Выбрать максимальное и минимальное значение для каждого муравья.

Каждый раз выбранное значение получает дополнительный приоритет, а самое приоритетное является лучшим. После того как выбрано лучшее решение обновляется значение уровня феромона согласно выражению (3)

$$\tau_i(X_n) \leftarrow (1 - \rho)\tau_i(X_n) + \sum_i \Delta\tau_i(X_n) \quad (3)$$

где  $\rho$  –коэффициент испарения ( $0 \leq \rho \leq 1$ ), который воздействует на ранее установленный уровень феромона. Благодаря этому коэффициенту усиливается влияние более поздних приоритетных решений и ослабляется более ранних. Параметр  $\Delta\tau_i(X_n)$  в выражении (3) – разница уровня феромона, которая добавляется к предыдущей успешным муравьем. Она вычисляется согласно выражения:

$$\Delta\tau_i(X_n) = \begin{cases} \frac{Q * Min(k')}{AvgCDist(k', i) * AvgPDist(k', i)}, & \text{если } X_n \subset \text{кластер } i \\ 0, & \text{в другом случае} \end{cases} \quad (4)$$

где  $Q$  – положительная константа, которая связана с количеством добавленного муравьями феромона,  $Min(k')$  - минимальное из цветовых дистанций между каждыми двумя центрами кластеров, найденное муравьем  $k'$  (самым успешным муравьем).  $AvgCDist(k', i)$  – среднее значение

цветовых расстояний и  $AvgPDist(k',i)$  – среднее значение пространственных евклидовых расстояний между каждым пикселям и центрами (цветовым и пространственным) для самого успешного муравья.

$Min(k')$  – причина увеличения феромона при большей отдаленности кластеров.  $AvgCDist(k',i)$  и  $AvgPDist(k',i)$  – причины увеличения уровня феромона при большей однородности и компактности кластера.

случае – переходим к пункту 3.

#### 9. Поиск общего лучшего решения.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма сегментации изображений методом муравьиных колоний

Смешанный алгоритм муравьиных колоний и  $k$ -средних далее представлен пошагово:

1. Инициализируем основные параметры алгоритма: значение уровня феромона на первом этапе полагаем равным 1, количество кластеров  $K$ , количество муравьев  $m$ .

2. Инициализируем  $m$  муравьев для  $K$  случайно выбранных центров кластеров.

3. Пусть каждый муравей связывает каждый пиксель  $X_n$  с одним из кластеров  $i$  случайным образом, с вероятностью  $P_i(X_n)$  согласно (4).

4. Вычисляем новые центры кластеров. Если новые центры совпадают с предыдущими, то переходим к следующему шагу, если нет, переходим к пункту 3.

5. Сохраняем лучшее решение из всех найденных  $m$  муравьями.

6. Обновляем уровень феромона для каждого пикселя согласно 3 и 4

7. Корректируем общее лучшее решение исходя из найденных индивидуальных решений каждого муравья.

8. Если выполняется критерий останова, то переходим к следующему шагу. В обратном

#### Описание разработанной системы

Разработанная система позволяет визуализировать и индивидуально подстраивать процесс сегментации. Дополнительно имеется возможность воспроизведения и сохранения ранее полученных результатов с целью визуального сравнения и выбора наилучшего решения. В будущей редакции планируется ввести критерии качества сегментации, используя например обобщенный индекс Данна.

Система разработана в среде Microsoft Visual Studio и использует для своей работы платформу Microsoft .NET Framework. Для сохранения данных используется СУБД Microsoft SQL Server.

Система обладает интуитивно понятным пользовательским интерфейсом и хорошей и удобной системой справочной информации. Далее будут приведены снимки окон системы с разъяснением сути выполняемых функций.

На рисунке 3 приведено окно запуска выполнения алгоритма. В качестве параметров необходимо указать количество муравьев, количество итераций и количество кластеров, на которые планируется разбивать изображение. Также необходимо выбрать само изображение для сегментации, поддерживаются разнообразные форматы изображений. В качестве результата сегментации мы получаем собственно сегментированное изображение, промежуточные варианты сегментации, а также значения эвристических коэффициентов  $\alpha, \beta$  из формулы.

Для понимания принципов работы системы приведены UML-диаграммы вариантов использования (рисунок 4) и UML-диаграмма компонентов (рисунок 5). На рисунке 4 приведены последовательности действий пользователя при работе с системой.

На рисунке 5 изображена диаграмма компонентов системы для понимания внутренней организации программного кода и процесса обработки и сохранения данных.

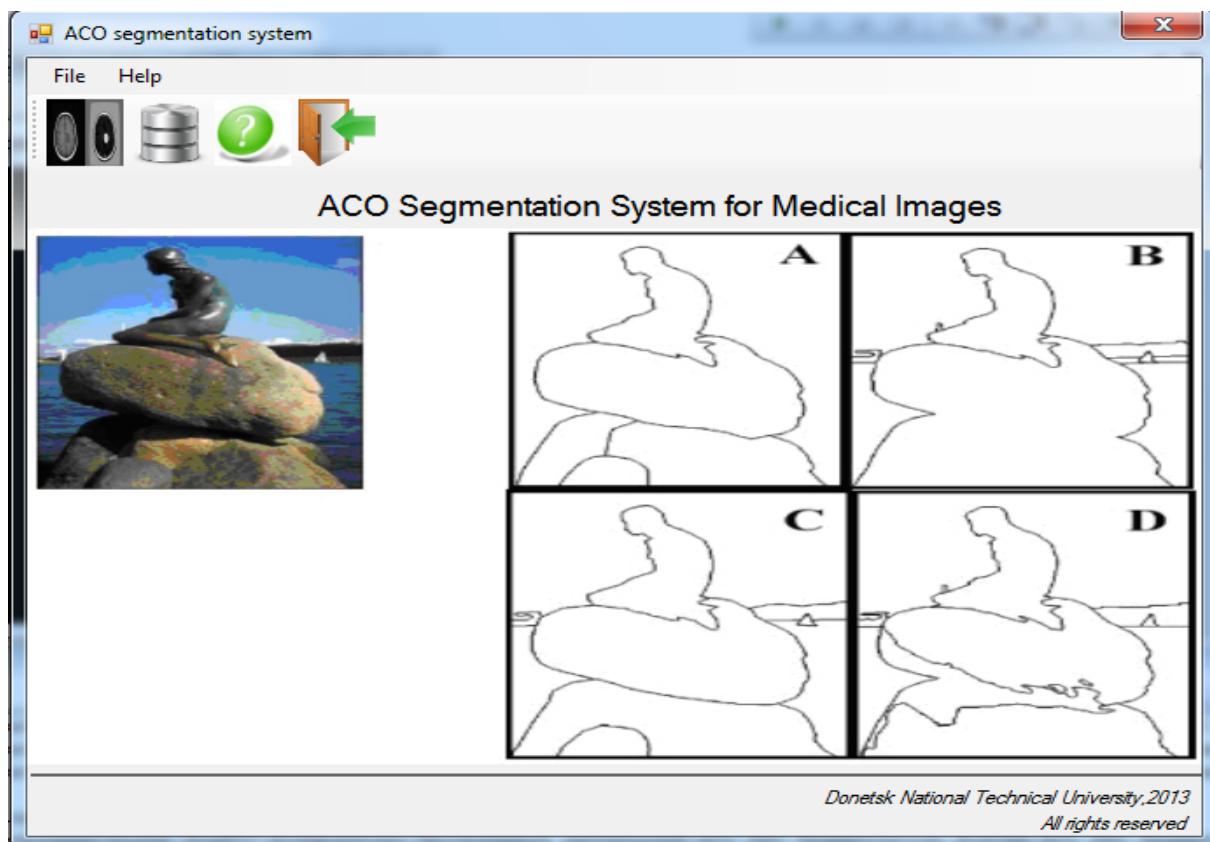


Рис. 2. Внешний вид системы

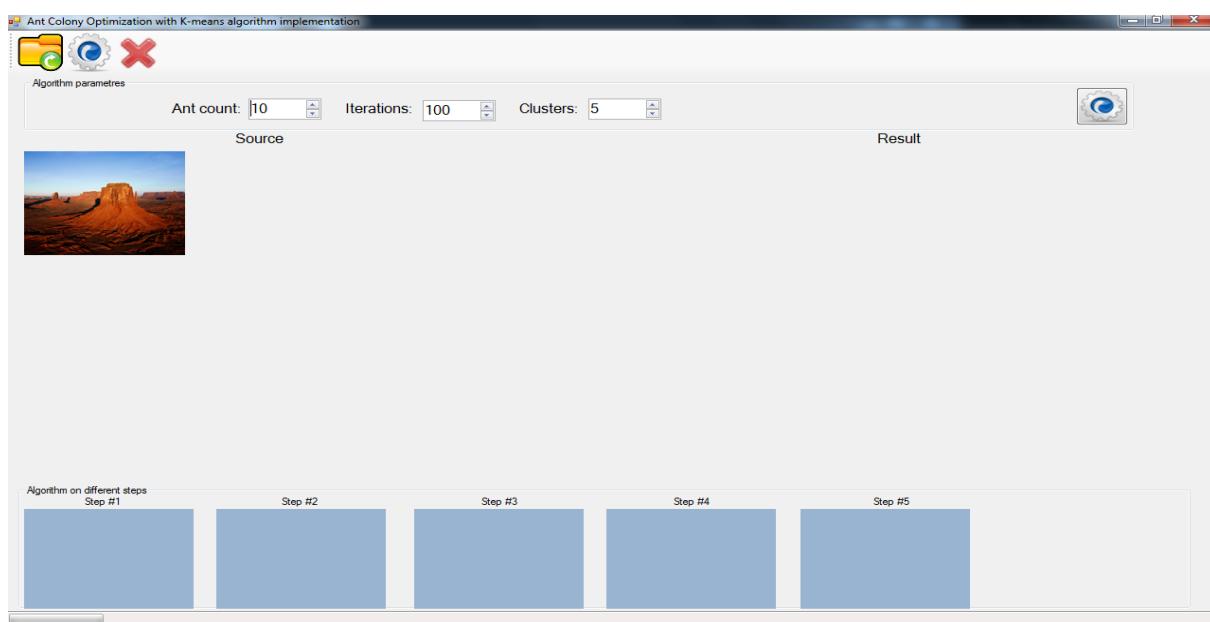


Рис. 3. Интерфейс настраиваемой параметрической части

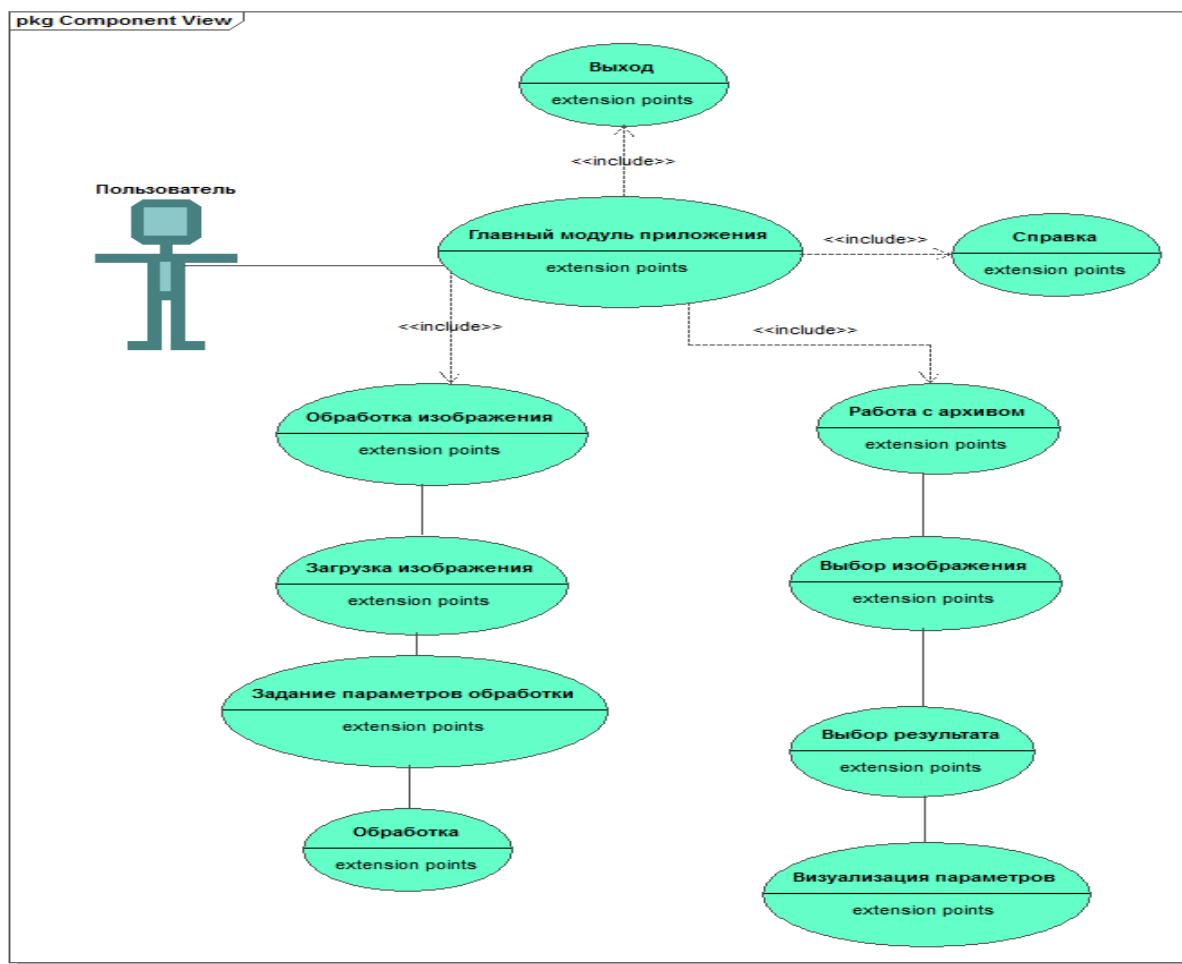
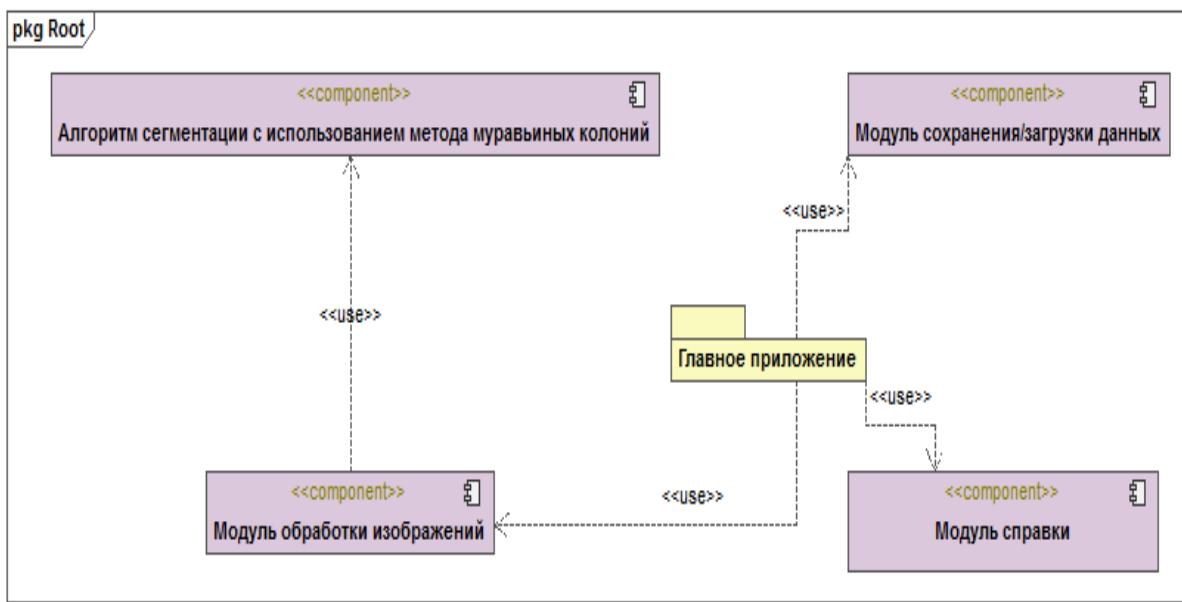


Рис. 4. Диаграмма вариантов использования разработанной системы



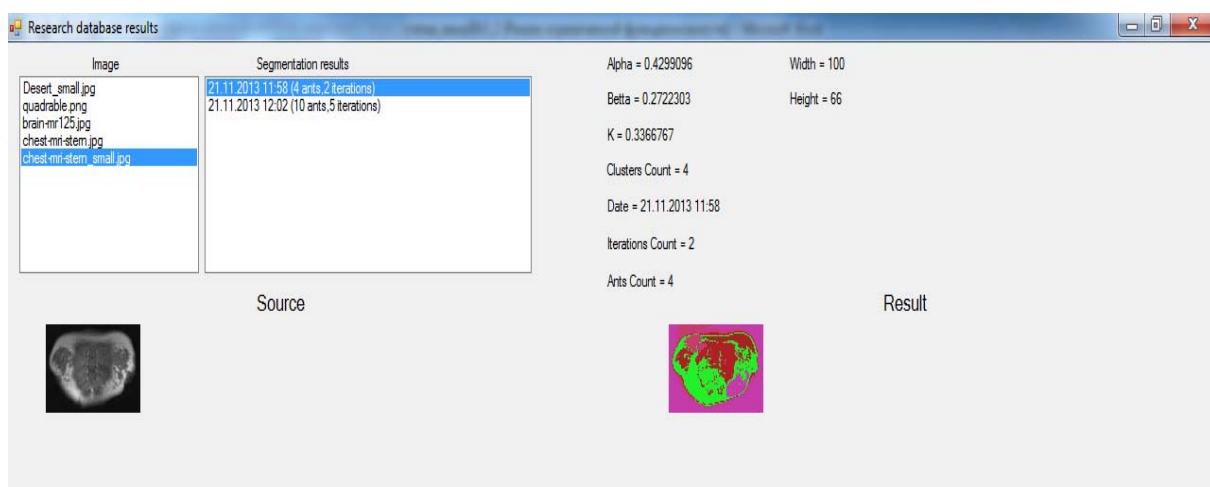


Рис. 6. Подсистема работы с архивом

При помощи подсистемы работы с архивом (рисунок 6) есть возможность получить сравнительную характеристику сегментации изображения при разных начальных параметрах, что существенно повышает возможность улучшения точности и получения большей наглядности в процессе исследований. Для одного входного изображения возможно сохранение нескольких результатов исследований и полученных параметров, что представляет собой важное значение при проведении исследований и определении оптимальных значений входных параметров.

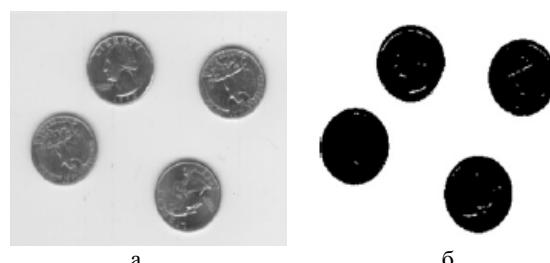
#### **Сегментация эталонных изображений из бенчмарка**

При проведении любых исследований в области обработки изображений, как правило для оценивания результатов используют наборы эталонных изображений из коллекций. В нашем исследовании мы использовали базу Беркли.

К сожалению, база не содержит изображений медицинских снимков, но имеется большое количество изображений из разных областей. Было выбрано несколько изображений и проведена сегментация. С результатами можно ознакомиться ниже.

Как видно из рисунков 7 и 8, результаты получились неплохими. В первом случае изображение было разбито на 5 кластеров, все части одежды, фона и лица девушки были кластеризованы в разные кластера, при более детальном рассмотрении можно увидеть некоторые недочеты в соотнесении пикселей вследствие возможной не совсем точной настройки параметров алгоритма.

Результаты на рисунке 7 кластеризованы на 2 группы – монеты и фон. Как видим, все отделено аккуратно, но также имеются небольшие погрешности при увеличенном рассмотрении пикселей.

Рис. 7. изображение Lena из бенчмарка Беркли:  
а – исходное изображение, б – результат сегментацииРис. 8. Изображение из бенчмарка Беркли:  
а – исходное изображение, б – результат сегментации

В целом мы считаем результаты работы алгоритма с общетематическими изображениями неплохими и пригодными к использованию на практике. Далее предлагаем оценить работу алгоритма при обработке более сложных изображений медицинской направленности.

#### **Сравнительный анализ сегментации с помощью разработанной системы и системы Osiriss**

Для сравнения результатов работы разработанного алгоритма мы предлагаем провести сравнительный анализ результатов сегментации нашей системы и узкоспециализированной медицинской системы Osiriss(Швейцария). Все изображения – реальные снимки различных органов

и частей тела человека, используемые врачами для постановки диагнозов и проведения диагностики.

Далее приведем набор изображений и результат обработки, а ниже сделаем вывод и анализ каждого снимка по отдельности.

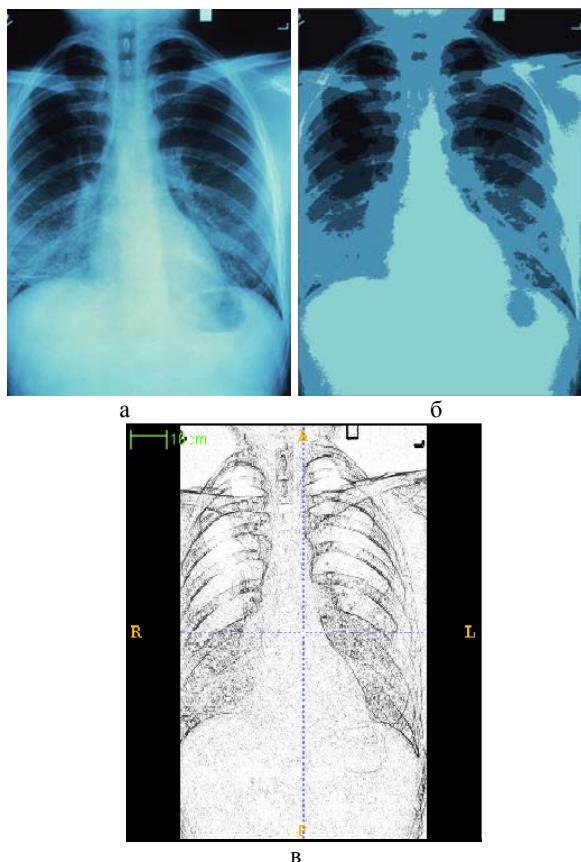


Рис. 9. Легкие:  
а – исходный снимок, б – разработанная система,  
в – система Осирис

На рисунке 9 представлен снимок легких. Изображение сегментировали на 4 кластера. На рисунке 9 (б) представлен результат обработки нашей системой, 9 (в) – система Осирисс. Так, на рисунке 9 при сегментации снимка легких разработанная система визуально более качественно произвела сегментацию, т.к. были отделены контуры альвеол. На системе Осирисс данный фрагмент вышел слившимся с другой частью.

На рисунке 10 представлены снимки черепа, результат по качеству во многом схож у обеих систем, т.к. необходимые для идентификации объекты были обозначены. Сегментация в нашей системе проводилась на 5 кластеров. Результаты работы систем схожи и пригодны для идентификации частей.

На рисунке 11 результат схож с результатом на рисунке 9. Разработанная система в отличие от швейцарской лучше очертила контуры важных узлов, а это очень важно для анализа снимков. Сегментация проводилась на 4 кластера.

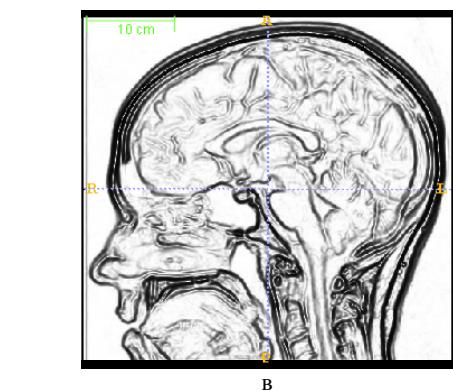
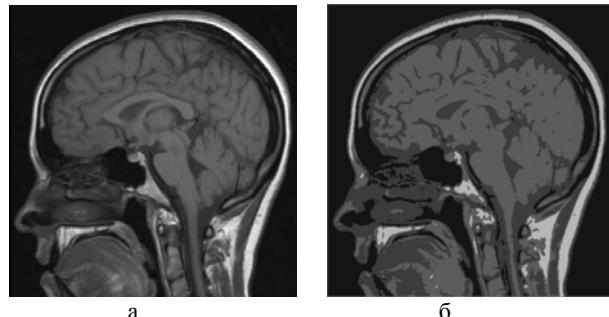


Рис. 10. Череп:  
а – исходный снимок, б – разработанная система,  
в – система Осирис

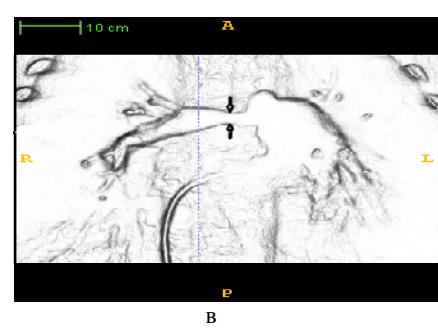
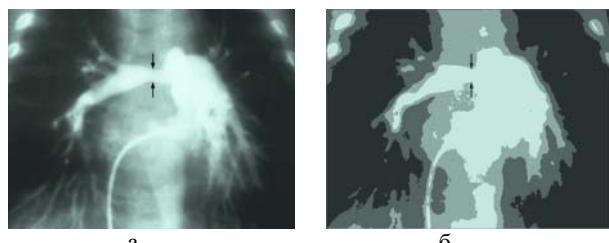


Рис. 11. Легкие:  
а – исходный снимок, б – разработанная система,  
в – система Осирис

На рисунке 13 разработанная система показала результат гораздо хуже, чем Осирисс. Не были выделены важнейшие узлы на изображении и некоторые части получились частью других областей. Сегментация проводилась на 4 кластера. Возможно, неудачно были подобраны эвристические коэффициенты в нашем алгоритме и результат вышел не очень хорошим.

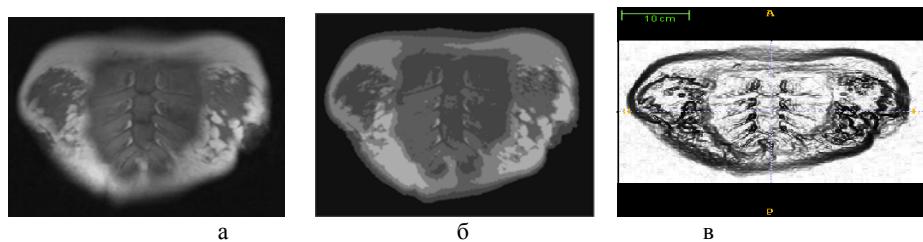


Рис. 12. Сердце:  
а – исходный снимок, б – разработанная система, в – система Осирис

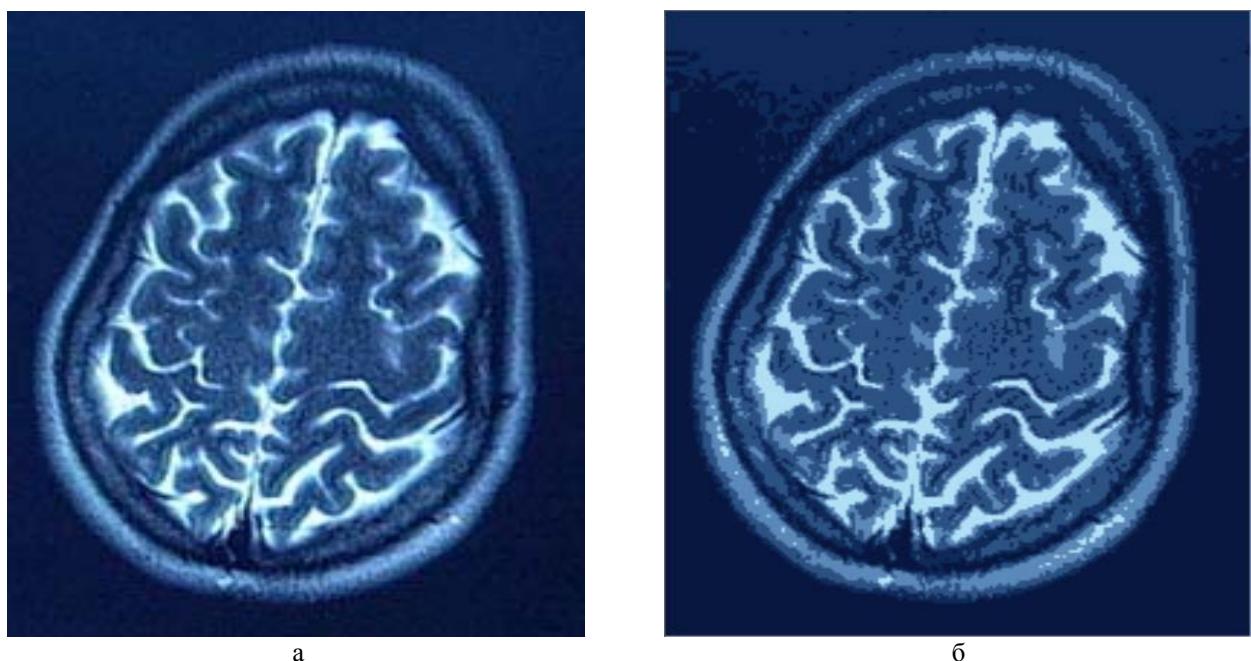


Рис. 13. Мозг:  
а – исходный снимок, б – результат сегментации

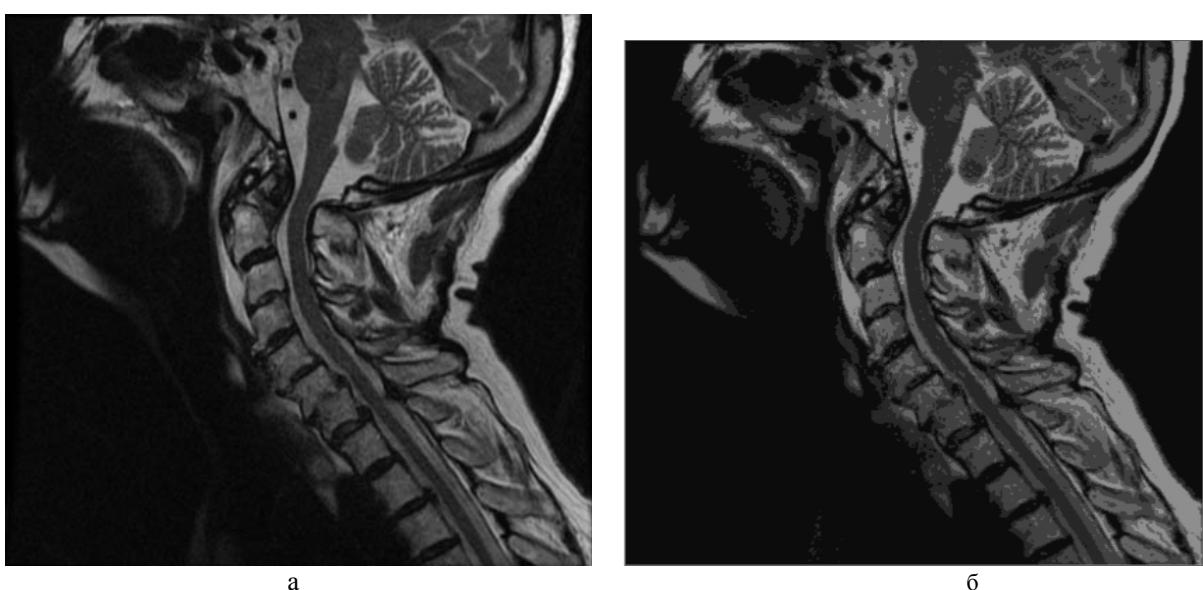


Рис. 14. Позвоночник: а – исходный снимок, б – результат сегментации

На рисунках 13 и 14 представлены снимки мозга и позвоночника. Видна локализация наиболее сложных и труднодоступных элементов и их отделение от фона. Изображения сегментированы достаточно качественно и пригодны для дальнейшей идентификации врачами.

Результаты исследований были сгруппированы и систематизированы.

В таблице приведены значения коэффициентов  $\alpha, \beta$  для каждого изображения:

Таблица 1

**Результаты исследований**

Номер изображения	$\alpha$	$\beta$
9	0.35	0.8
10	0.7	0.7
12	0.25	0.08
13	0.02	0.12
14	0.82	0.91
15	0.68	0.53

**Выводы**

Была разработана компьютерная система сегментации изображений на основании модифицированного алгоритма муравьиных колоний и К-средних. Проведена аппробация на бенчмарке Berkley, а также на реальных медицинских снимках. Аппробация показала высокую эффективность разработанного алгоритма.

Использованный алгоритм показал в некоторых случаях свое превосходство по качеству результатов по сравнению с некоторыми специализированными программными комплексами, такими, как например Ossiriis(Швейцария). Разработанный алгоритм возможно доработать и улучшить, в частности введением в систему индекса Данна, для сравнения полученного результата с эталонным, также в данном случае будет возможность автоматизировать и оптимизировать подбор эвристических параметров до необходимых оптимальных значений.

**Література**

- Pal N. R. "A review on image segmentation techniques" / N. R. Pal, S. K. Pal. – Pattern Recognition № 9 (26), 1993.
- Solberg A.H.S. Random field model for classification of multisource satellite imagery" / A.H.S. Solberg, T. Taxt, A.K. Jain. – IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. – № 4 (32), 1994.
- Скобцов Ю. А. Сегментация изображений методом муравьиных колоний / Скобцов Ю.А., Эль-Хатіб С. А., Эль-Хатіб А. И. // Вестник Херсонского Национального Технического Университета – Херсон, 2013. - №1(46) – с.204 – 211.
- Huizhi Cao A Novel Image Segmentation Algorithm Based on Artificial Ant Colonies / Huizhi Cao, Peng Huang, Shuqian Luo // Medical Imaging and Informatics Second International Conference, MIMI 2007. – Beijing, China.

**References**

- Pal N. R. "A review on image segmentation techniques" / N. R. Pal, S. K. Pal. – Pattern Recognition № 9 (26), 1993.
- Solberg A.H.S. Random field model for classification of multisource satellite imagery" / A.H.S. Solberg, T. Taxt, A.K. Jain. – IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. – № 4 (32), 1994.
- Skobcov Ju. A. Segmentacija izobrazhenij metodom murav'inyh kolonij / Skobcov Ju.A., Jel'-Hatib S. A., Jel'-Hatib A. I. // Vestnik Hersonskogo Nacional'nogo Tehnicheskogo Universiteta – Herson, 2013. - №1(46) – s.204 – 211.
- Huizhi Cao A Novel Image Segmentation Algorithm Based on Artificial Ant Colonies / Huizhi Cao, Peng Huang, Shuqian Luo // Medical Imaging and Informatics Second International Conference, MIMI 2007. – Beijing, China.

**Ель-Хатіб С.А., Скобцов Ю.О., Комп'ютерна система сегментації медичних зображень методом мурашиних колоній**

Сегментація зображень є однією з найважливіших та складних задач низькорівневого аналізу зображень. Оскільки це один з перших етапів розпізнавання зображень, то подальші кроки, такі як виділення сутностей, класифікація і розпізнавання, в значній мірі залежать від його результатів. Тому сегментація зображень є предметом інтенсивних досліджень. Виконана реалізація та аналіз спільного алгоритму сегментації К-середніх і мурашиних колоній. Реалізована програмна система. Отримано вихідні дані. Отримано значення коефіцієнтів запропонованого алгоритму та проведено порівняння результатів обробки іншими системами.

**Ключові слова:** сегментація, алгоритм мурашиних колоній, алгоритм К-середніх, аналіз зображень.

**El-Khatib S., Skobtsov Y., Computer system of medical image segmentation using ant colony optimization**

Image segmentation is one of the most important and complex low-level image analysis tasks. Because it is one of the first stages of image recognition, the next steps, such as the allocation of entities, classification and recognition, largely depend on its results. Therefore, segmentation of images is the subject of intense research.

We have developed the implementation and analysis of the joint segmentation algorithm of K-means and ant colonies. The programming system was implemented. Obtained output data. Obtained the meanings of algorithm coefficients and done comparison of obtained output data with another systems. Researched the optimal parameters of developed algorithm for comparison. Experimental results were done on different benchmarks, including real medical images. Obtained algorithm can be improved in future by using Dunn's index.

**Key words:** segmentation, Ant Colony Optimization, K-means algorithm, image processing.

**Скобцов Юрій Олександрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Автоматизовані системи управління" Донецького національного технічного університету, skobtsov@kita.dgtu.donetsk.ua.

**Ель-Хатіб Самер Аднан Ібрагім** – аспірант кафедри автоматизованих систем управління Донецького

національного технічного університету,  
samer\_elkhatib@mail.ru

Рецензент: **Носко П.Л.**, д.т.н., професор.

Статья подана 11.03.14

УДК 681.5:613.97-053.6

## **РОЗРОБКА МОДУЛЮ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО ТА ФІЗИЧНОГО СТАНУ, ЯК ЕЛЕМЕНТ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я МОЛОДІ**

**Могильний Г. А., Донченко В. Ю.**

**DEVELOPMENT MODULE AUTOMATION SYSTEM DIAGNOSTIC EVALUATION  
PSYCHOEMOTIONAL AND PHYSICAL CONDITION, AS PART AUTOMATED SYSTEM  
DIAGNOSTICS OF YOUTH HEALTH**

**Mogilnii G. A., Donchenko V. U.**

У статті розглядається загальні підходи до проектування і розробки діагностичної системи для автоматизації обліку та оцінки психоемоційного та фізичного стану здоров'я учнів, яка має вирішувати завдання: збір фізіологічної та соціально-психологічної інформації; зберігання в базі даних; обробку інформації шляхом "згортання" даних на основі запропонованих методик і видачу інформації шляхом наочної візуалізації.

**Ключові слова:** інформаційна система, програмно-апаратний комплекс, бази даних, психофізіологічні дослідження, психодіагностичні методи.

**Вступ.** В сьогодені особлива увага приділяється використанню комп'ютерних методик психометричної діагностики особистості та застосуванню їх у різних галузях. При цьому, використання комп'ютера має ряд позитивних моментів: підвищення довіри та зацікавленості особистості до процесу тестування; можливість створення бази даних; швидкість проведення й обробки результатів тестування та виключення помилок при підрахунках; стандартність процедури проведення тестування та можливість статистичної обробки одержуваних даних ( побудова усереднених профілів, рестандартизація тестів, перевірка надійності). На даний час існує велика кількість комп'ютерних психодіагностичних програм, що дозволяють одержувати психофізіологічні характеристики особистості.

Сучасні інформаційні технології та методи комп'ютерної інтерпретації результатів тестування надають нові можливості для проведення тестування, управління процесами введення-виведення і обробкою даних психодіагностичних обстежень, відкривають широкі перспективи для досліджень.

Таким чином, є актуальну задачу психометричного діагностування особистості на

засадах нових інформаційних технологій в задачах комп'ютерного тестування, що дозволить більш детально та достовірно проводити оцінювання психоемоційного та фізичного стану людей.

Мета статті – аналіз складових модулю діагностичної системи оцінювання психоемоційного та фізичного стану учнів.

**Виклад основного матеріалу.** У загальному випадку завдання оцінки психоемоційного стану складається з ряду етапів[2]:

1. Аналіз і вибір найбільш інформативних методів діагностики застосовуваних на практиці різних областях медицини, спорту, криміналістики.

2. Розробка структурної схеми програмно-апаратного модулю дослідження психофізіологічного стану учнів.

3. Розробка математичної моделі, системи підтримки прийняття рішень і програмних алгоритмів оцінки поточного психофізіологічного стану учнів і прогнозу рівня працездатності.

4. Розробка математичних принципів аналізу і розрахунку параметрів, що характеризують важливі якості учнів.

5. Розробка алгоритмів програмного забезпечення для задач автоматизації досліджень психоемоційного стану.

6. Апробація розроблених принципів в експериментальних дослідженнях і конкретних умовах використання.

Необхідність розробки інформаційної системи була обумовлена тим, що більшість існуючих в даний час інформаційних систем моніторингу здоров'я орієнтовані, як правило, на вирішення конкретних практичних завдань, є вузькоспрямованими, або ж є складними і дорогими, що робить їх непридатними для масового застосування у вузах для оцінки

психофізіологічного стану учнів і прогнозу рівня працездатності.

Більшості подібних систем притаманні також перераховані нижче недоліки:

1. Незручний інтерфейс, орієнтований на спеціально підготовленого спеціаліста (оператора).

2. Відсутність формування інтегрального показника рівня психофізичної готовності. Остаточна оцінка здійснюється на підставі формального алгоритму, що не має математичного апарату.

3. Відсутність програмно-інформаційних засобів оцінки динаміки психофізичної готовності.

4. Відсутність ефективних засобів візуалізації.

Таким чином, на підставі аналізу існуючих в даний час інформаційних медичних систем і підходів до створення інформаційних алгоритмів і програм, нами був зроблений висновок про те, що повинно бути присутнім в подібній системі.

Розробляємий модуль психоемоційного та фізичного стану обстеження учнів буде включати в себе методики опитувань, що ґрунтуються на сучасних інформаційних технологіях, що дозволяють підвищити якість і достовірність прийнятих рішень і розділяти обстежуваних на групи: норма, патологія, група ризику. При цьому поняття "здоров'я" розглядається як стан рівноваги між організмом і навколоишнім середовищем. А оцінка рівня здоров'я – як здатність організму адаптуватися до різноманітних умов навколоишнього середовища [3, 4].

Модуль діагностичної системи оцінювання психоемоційного та фізичного стану обстеження студентів відповідає за виконання наступних поставленіх завдань (рис.1):

1. Збір фізіологічної та соціально-психологічної інформації;

2. Зберігання у базі даних цієї інформації про кожного студента за всі етапи обстеження;

3. Обробка інформації шляхом "згортання" даних кожного обстеження в інтегральну оцінку адаптації та видача документа про поточний психоемоційний та фізичний стан студента.

4. Видача інформації:

- візуалізація (наочне відображення) психоемоційного стану;

- формування вихідного документа у вигляді "паспорту здоров'я"

студента з оцінкою і рекомендаціями.

Вибір методик, які можуть бути використані для дослідження психофізіологічного стану організму людини, повинен бути обумовлений діагностичними можливостями методів, їх безпекою та комфортністю їх проведення, а також малим часом, потрібним на проведення вимірювань. Для відбору методик були сформульовані наступні критерії: неінвазивність; портативність; актуальність використання; час обстеження; можливість проведення обстеження лікарем; відсутність специфічних вимог до приміщення; можливість використання в польових умовах, на збори; представлення результатів у формалізованому вигляді; передумови до широкого впровадження методу (сертифікати, документація)

Аналіз шляхів збору фізіологічної та соціально-психологічної інформації планується виконати на засадах блоку тестів, який включаємо в себе самостійні блоки, що реалізують психоемоційні та психофізіологічні методики.

Психофізіологічне тестування для комплексного контролю функціонального стану центральної нервової системи включає теплінг-тест, оцінку показників простий (ПЗМР) і складної зорово-моторної реакції (СЗМР), реакції на рухомий об'єкт (РРО).

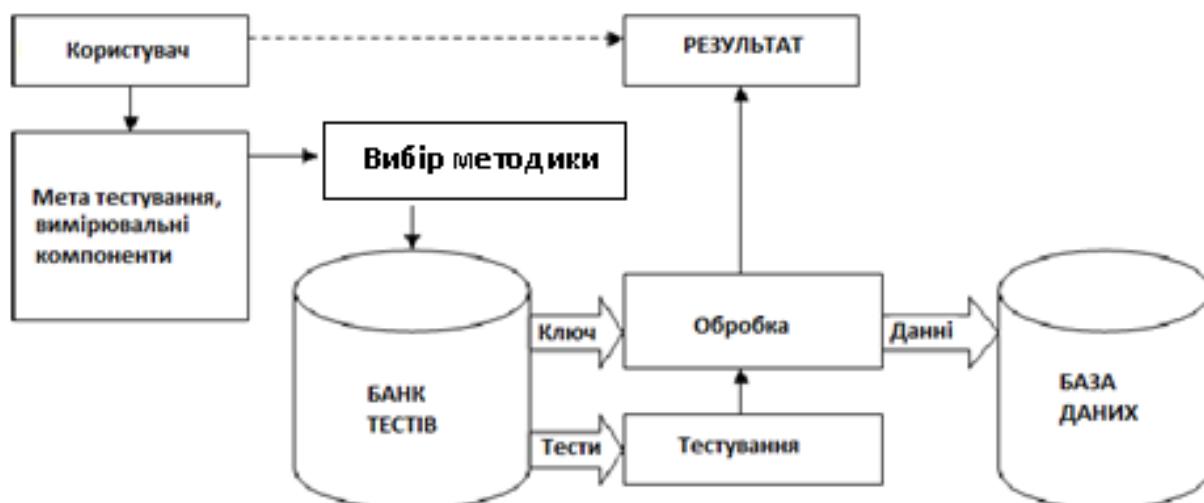


Рис. 1. Підсистема комп'ютерного психологічного тестування

Реалізація методики «Проста зорово-моторна реакція» (ПЗМР). При появі сигналу (сигнали з'являються в різних місцях монітора) необхідно якнайшвидше натиснути на клавішу. Система повинна реєструвати час реакції на кожен сигнал (фігуру червоного кольору). Оцінка результатів проводиться на підставі середнього значення часу реакції: чим воно менше, тим вище швидкість реагування і тим більш рухома є нервова система, тим краще сенсорно-моторна реакція, тим вище рівень функціональних можливостей центральної нервової системи.

Реалізація методики «Складна зорово-моторна реакція» (СЗМР). При появі сигналу (сигнали з'являються в різних місцях монітора) необхідно якнайшвидше натиснути на відповідну клавішу, не допускаючи помилок. Система повинна реєструвати час реакції на кожен сигнал (фігури різних кольорів) і правильність фіксації. Оцінка результатів проводиться на підставі середнього значення часу реакції: чим воно менше, тим вище швидкість реагування і тим більш рухома є нервова система, тим краще сенсорно-моторна реакція, тим краще рівень функціональних можливостей центральної нервової системи. На відміну від простої реакції, реакція розрізнення здійснюється на один певний стимул з декількох різноманітних стимулів. Тому процес обробки сенсорної інформації центральною нервовою системою відбувається не тільки за принципом наявності або відсутності сигналу, але і за принципом розрізнення сигналів.

Реалізація методики теппінг-тесту. Розбити область для тестування на 6 частин. По черзі, в кожній частині, клікати мишкою максимально швидко. Пересування по частинах тестованої області здійснювати за годинниковою стрілкою через кожні 10 с. У процесі тестування заміряти кількість кліків в кожній області. За результатами побудувати графік. На підставі побудованого графіка робити висновок про тип нервової системи

Психодіагностичні методи використовуються з метою вивчення індивідуально-особистісних властивостей учнів для визначення, як найбільш стійких аспектів внутрішньо особистісної структури, так і слабких сторін, що представляють зону ризику щодо прориву адаптаційних можливостей психіки і організму.

Метод колірних виборів (тест Люшера) виявляє переважно неусвідомлювані аспекти переживання, несвідомі, непідвладні усвідомленню контролю рівні особистості, тип реагування, емоційний і психофізіологічний стан на момент обстеження, дає можливість оцінити діапазон мінливості особистісних властивостей, що дозволяє визначити адаптивні ресурси студента.

Тест САН (самопочуття - активність - настрій) в модифікації Н.М. Пейсахова. Двадцятибальна шкала тесту заснована на суб'єктивній оцінці свого стану.

Тест "індивідуальної хвилини" (ІМ) зводиться

до оцінки тимчасових інтервалів за методом відтворення, які допускають найменші (щодо інших методів) помилки.

Одним із способів оцінки соціальної адаптації є діагностика рівня соціальної фрустрированості. У цих цілях скористалися методикою Л.І. Вассермана. Це опитувальник, який фіксує ступінь незадоволеності соціальними досягненнями в основних аспектах життєдіяльності.

В якості психологічних показників був використаний тип темпераменту. Для його визначення буде програмно реалізовано тест Айзенка.

Для аналізу та оцінки фізичного самопочуття учнів в системі використовується "Гессенський опитувальник", адаптований в психоневрологічному інституті ім. В.М. Бехтерева. Даний опитувальник виявляє інтенсивність скарг з приводу фізичного самопочуття.

Програмне забезпечення комплексу передбачає розв'язання таких питань:

- отримання "Паспорту здоров'я" на кожного студента з урахуванням оцінок фактичних і розрахункових даних, що визначають рівень здоров'я та фізичної підготовленості;

- отримання загальної оцінки рівня здоров'я, за якою можна визначати ефективність упроваджених тренувальних програм;

- отримання оцінюваних індивідуальних змін у показниках здоров'я, адаптації та фізичної підготовленості, коментованих за допомогою комп'ютера з наступною видачею рекомендацій;

- видача індивідуальних тренувальних програм з корекції рівня здоров'я, швидкісно-силових показників і загальної витривалості організму;

- формування й зберігання банку даних контингенту обстежуваних;

- порівняння показників здоров'я й фізичної підготовленості студентів за наявності повторного тестування на наступних курсах навчання.

Загальна архітектурна схема всієї системи представлена на рисунку 2.

Програмна система призначена для роботи в архітектурі «клієнт-сервер».

Клієнт повинен працювати під управлінням графічною операційною системою з встановленим web-браузером, що підтримує графічний режим. Мінімальна конфігурація апаратної частини клієнта визначається вимогами встановленого програмного забезпечення (ПО).

На сервері має бути встановлено:

- Операційна система;
- СУБД MySQL;
- WEB -сервер;
- Інтерпретатор PHP і модулі необхідні для роботи з MySQL.

Характеристики апаратної частини сервера визначаються вимогами встановленого ПО і кількістю клієнтських запитів.

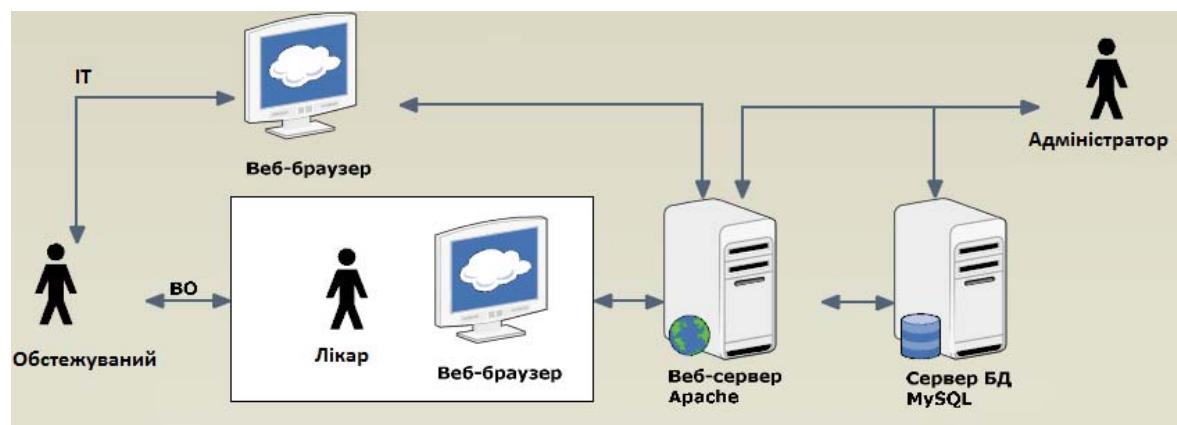


Рис 2. Архітектура модулю психоемоційного та фізичного стану обстеження учнів

Модуль автоматизації діагностичної системи оцінювання психоемоційного та фізичного стану розроблено в вигляді HTML сторінок з використанням мов web-програмування Javascript, PHP.

**Висновки.** Програмне забезпечення комплексу дозволить експрес-методами здійснювати комплексну оцінку поточного функціонального стану організму, рівня психічних і фізичних резервів здоров'я, виявляти чинники ризику, що сприяють виникненню патологічних станів.

При розробці програмного забезпечення були використані методи обробки даних та методик, що здійснюють комплексне (інтегральне) оцінювання сукупності даних обстежень та формування остаточної оцінки у вигляді, зручному для сприйняття людини.

#### Л и т е р а т у р а

- Берестнева О.Г. Проблема адаптации студентов к вузу и оценка уровня адаптации на базе комплекса психофизиологического обследования студентов ТПУ / О.Г. Берестнева, Л.И. Иванкина, О.В. Котова. Современные проблемы молодежи, образования и науки: Сборник статей. - Томск, 2000.-С. 109-114.
- Величко Е.Н. Инновационные технологии в развитии спорта высших достижений Текст. / Е.Н. Величко, К.Г. Коротков, А.К. Короткова, Д.В. Орлов // IV Международный конгресс «Человек, спорт, здоровье»: Материалы конгресса. СПб, 2009. - С 27 - 28
- Ротов А.В. Адаптационные характеристики человека. / А.В. Ротов, М.А. Медведев, Я.С. Пеккер.- Томск: Изд-во Томского университета, 1997. - 137 с.
- Шаропин К.А. Изучение процессов адаптации студента - как путь к прогнозированию его здоровья / К.А. Шаропин, О.Г. Берестнева Современные формы воспитательной работы в вузе: содержание и перспективы: Тезисы I межвузовской научно-практ. конф. - Томск, 1-2 декабря 1999. - С. 81-83

#### R e f e r e n c e s

- Berestneva O.G. Problema adaptacii studentov k vuzu i ocenka urovnya adaptacii na baze kompleksa psihofiziologicheskogo obsledovaniya studentov TPU / O.G. Berestneva, L.I. Ivankina, O.V. Kotova. Sovremennye problemy molodezhi, obrazovaniya i nauki: Sbornik statej. - Tomsk, 2000.-S. 109-114.

- Velichko E.N. Innovacionnye tehnologii v razvitiu sporta vysshih dostizhenij Tekst. / E.N. Velichko, K.G. Korotkov, A.K. Korotkova, D.V. Orlov // IV Mezdunarodnyj kongress «Chelovek, sport, zedorov'e»: Materialy kongressa. SPb, 2009. - S 27 - 28
- Rotov A.B. Adaptacionnye harakteristiki cheloveka. / A.B. Rotov, M.A. Medvedev, Ja.S. Pekker.- Tomsk: Izd-vo Tomskogo universiteta, 1997. - 137 s.
- Sharopin K.A. Izuchenie processov adaptacii studenta - kak put' k prognozirovaniyu ego zedorov'ja / K.A. Sharopin, O.G. Berestneva Sovremennye formy vospitatel'noj raboty v vuze: soderzhanie i perspektivy: Tezisy I mezhvuzovskoj nauchno-prakt. konf. - Tomsk, 1-2 dekabrya 1999. - S. 81-83

**Могильный Г. А., Донченко В. Ю. Разработка модуля автоматизации диагностической системы оценки психоэмоционального и физического состояния, как элемент автоматизированной системы диагностирования состояния здоровья молодежи.**

В статье рассматриваются общие подходы к проектированию и разработке диагностической системы для автоматизации учета и оценки психоэмоционального и физического состояния здоровья учащихся, которая должен решать задачи: сбор физиологической и социально-психологической информации; хранение в базе данных; обработку информации путем "сворачивание" данных на основе предложенных методик и выдачу информации путем наглядной визуализации.

**Ключевые слова:** информационная система, программно-аппаратный комплекс, базы данных, психофизиологические исследования, психодиагностические методы.

**Mogilnii G.A., Donchenko V.U. Development of automation module diagnostic system assessment psychoemotional and physical condition, as part of an automated system of diagnosing young people's health.**

The article discusses common approaches to the design and development of diagnostic systems for the automation of accounting and evaluation of psycho-emotional and physical state of pupils' health, which should solve the problem: the collection of physiological and psycho-social information; storing in a database; processing of information by "folding" of the data on the basis of the proposed methods and the delivery of information through intuitive visualization.

**Key words:** information system, software and hardware, databases, physiological studies, psychodiagnostic methods.

**Могильний Геннадий Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и систем Луганского национального университета имени Т. Шевченка.

**Донченко Владимир Юрьевич**, ассистент кафедры информационных технологий и систем Луганского национального университета имени Т. Шевченка.

Рецензент: *Данич В.М.*, д.т.н., профессор.

Статтю подано 17.04.14

УДК 620.179.14

## МАГНИТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НЕМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Яковенко В.В., Кушнир Н.В.

### MAGNETIC METHODS OF MEASURING THE THICKNESS OF NON-MAGNETIC COATINGS

Yakovenko V.V., Kushnir N.V.

Предложен магнитный метод измерения толщины немагнитного покрытия, нанесенного на плоскость ферромагнитной детали. Магнитная система представляет собой П-образный магнитопровод, в который встроены постоянный магнит и магниточувствительные элементы. Для определения статической характеристики толщиномера произведен расчет магнитного поля в магнитопроводе системы. Расчет произведен путем численного решения нелинейного векторного интегрального уравнения. Получены данные о магнитном потоке в магнитопроводе при различных значениях толщин немагнитного слоя. Определена чувствительность и потенциальная разрешающая способность толщиномера.

**Ключевые слова:** феррозонд, сердечник, намагниченность, магнитный поток, метод зеркальных изображений, расчет поля.

**Введение.** Известны измерители толщины немагнитных покрытий в дальнейшем толщиномеры, нанесенные на ферромагнитный материал, использующий индукционный физический принцип работы [1]. Их недостаток заключается в необходимости наличия катушки в магнитной системе толщиномеров и в низкой чувствительности.

**Постановка задачи.** Постоянные магниты в настоящее время используются в магнитных системах толщиномеров, принцип действия которых заключается в измерении усилия отрыва магнитопровода с постоянным магнитом от ферромагнитной детали [2], поверхность которой покрыта слоем немагнитного вещества. Этот метод имеет также малую чувствительность и необходимость измерять силу отрыва магнитной системы от поверхности ферромагнитной детали и вносит определенную погрешность при измерениях.

**Решение задачи.** Предлагаемый магнитный метод измерения толщины немагнитного покрытия в большей мере лишен вышеперечисленных недостатков. Принцип построения магнитной системы предлагаемого толщиномера показан на рис. 1.

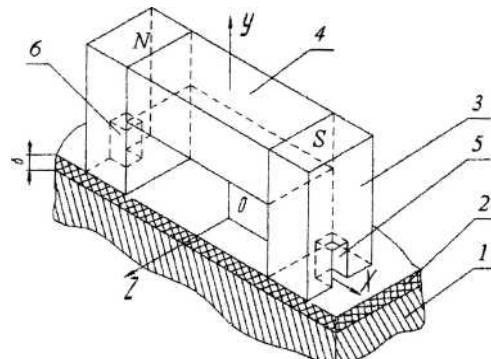


Рис. 1. Конструкция магнитной системы толщиномера  
1 – контролируемая ферромагнитная деталь; 2 – немагнитное покрытие; 3 – магнитопровод; 4 – постоянный магнит; 5,6 – ниша для размещения магниточувствительного элемента

В магнитопроводе 3 размещен постоянный магнит 4, а в двух нишах 5,6 расположены магниточувствительные элементы. Магнитопровод расположен на ферромагнитной детали 1, на поверхность которой нанесен слой немагнитного материала 2.

Принцип работы толщиномера следующий. Магнитный поток, создаваемый постоянным магнитом, замыкается через контролируемую деталь и магнитопровод. Величина этого потока зависит от толщины немагнитного зазора  $\delta$ . Величина магнитного потока оценивается путем измерения напряженности магнитного поля в нишах феррозондами, которые расположены в нишах, в компенсационных катушках. При размещении магнитопровода на ферромагнитной детали с известной толщиной слоя немагнитного материала напряженность поля компенсируется полем катушек, в которых размещены феррозонды. Путем изменения толщины слоя происходит тарировка прибора, после чего он готов для измерений.

Поскольку такого типа толщиномеры ранее не были известны, в статье предлагается метод расчета их статической характеристики, определение чувствительности и порога чувствительности.

Аналіз статичної характеристики толщиномера основується на розрахунку магнітного поля в магнітній системі, який проводиться путем численного розв'язання нелинеяного векторного інтегрального рівняння.

$$\bar{H}_p = \text{grad} \left[ \int_V \frac{\text{div} \bar{M}}{r} dV - \int_S \frac{\bar{M} dS}{r} \right] + \bar{H}_0 \quad (1)$$

Которе доповнюється таким соотношением

$$\begin{aligned} \bar{H} &= \bar{H}_0 - \bar{H}_r, \\ \bar{M} &= f(\bar{H}), \end{aligned}$$

где  $\bar{H}$  – напряженность магнітного поля в магнітопроводі;

$\bar{H}_0$  – напряженность магнітного поля созданного постійним магнітом;

$\bar{H}_r$  – напряженность размагничивающего магнітного поля;

$V, S$  – об'єм і площа поверхності магнітопроводу;

$r$  – відстань від точки спостереження до точки джерела;

$\bar{M}, \bar{B}$  – вектори намагніченості і індукції в магнітопроводі.

Для розрахунку поля використовується метод зеркальних зображень (рис.2).

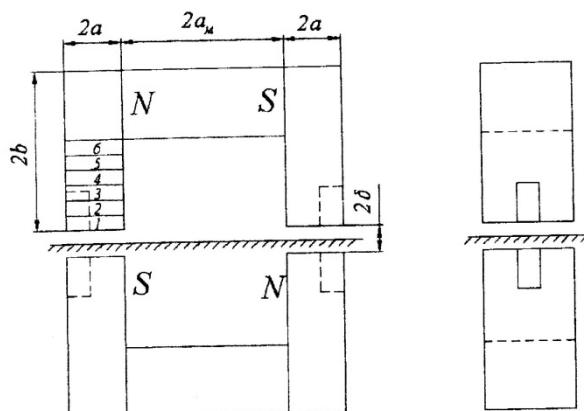


Рис. 2. Геометрическая модель магнитной системы толщиномера при расчёте методом зеркальных изображений

В качестве матеріала постійного магніту використовується сплав ЮНДКГ5АА, який має такі магнітні параметри:

- остаточна індукція, Тл - 1,1,
- коэрцитивна сила, кА/м - 122,
- максимальне значення енергії, кДж/м<sup>3</sup> - 84,
- коефіцієнт насыщення - 0,948.

Магнітні параметри постійного магніту дають основання зробити висновок про те, що постійний магніт можна віднести до магнітів закритичної групи [2]. Поэтому полагается, что вектор намагніченості по всьому об'єму постійного магніту являється величиною постійною.

Геометрическі параметри магнітної системи толщиномера: розміри магнітопроводу -  $2a * 2b * 2c = 15 * 65 * 15$  мм; розміри постійного магніту  $2a_m * 2b_m * 2L_m$ ; розміри ниш для магніточутливих елементів  $6 * 15 * 6$  мм.

Об'єм магнітопроводу розділяється на елементарні об'єми, представляючи собою паралелепіпеди, таким чином  $N_x = 7$ ;  $N_y = 11$ ;  $N_z = 1$ . Магнітний поток в магнітопроводі розраховується за формулою:

$$\Phi = \mu_0 \sum_{k=1}^{N_x} M_{yk} \Delta S_k, \quad (2)$$

здесь  $N_x$  – кількість елементарних об'ємів в сеченні по координаті  $Y$ ;

$\Delta S_k$  – площа елементарного об'єму по координаті  $Y$ .

В табл. 1 наведено значення магнітного потока  $\Phi$  в 6 контрольних сеченнях магнітопроводу (рис.2) при різних значеннях толщина немагнітного шару  $\delta$ , вираженої в відсотках від довжини сердечників  $2b = 45$  мм і  $2b = 65$  мм.

Таблиця 1  
Значення магнітного потока  $\Phi \cdot 10^{-3}$  Вб  
в контрольних сеченнях магнітопроводу

№ слоя	Толщина немагнітного шару $\delta$ , %						
	0	2,5	5	10	15	25	$\infty$
1	0,241	0,112	0,083	0,064	0,057	0,052	0,05
2	0,251	0,142	0,117	0,1	0,093	0,089	0,086
3	0,271	0,178	0,156	0,141	0,135	0,13	0,128
4	0,3	0,22	0,2	0,186	0,18	0,172	0,174
5	0,33	0,263	0,247	0,234	0,23	0,226	0,224
6	0,372	0,311	0,297	0,284	0,282	0,279	0,227

Таблиця 2  
Значення напряженості магнітного поля  
в нишах магнітопроводу

		$\delta=0$	$\delta=0,1$ мм	$\delta=1,0$ мм	$\delta=2,5$ мм	$\delta=5,0$ мм
$2b=65$ мм	$H_x$ , А/м	1354	698	278	191	76
	$H_x$ , А/м	2543	2350	1847	1760	1710
$2b=45$ мм	$H_x$ , А/м	1825	1239	221	99	40
	$H_x$ , А/м	3080	2822	2248	2064	1950

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что в наших вертикальная составляющая напряженности магнитного поля имеет преобладающее значение. На рис. 3 показана зависимость вертикальной составляющей напряженности поля от толщины немагнитного слоя (статическая характеристика)

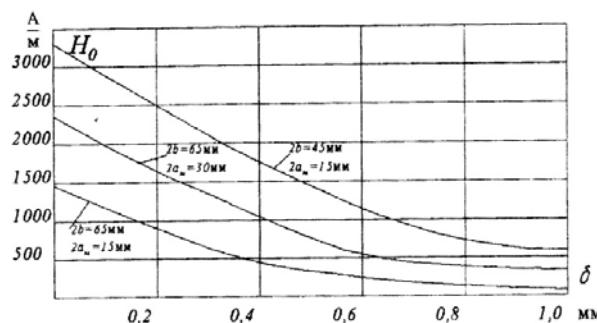


Рис. 3. Статическая характеристика толщиномера

**Вывод.** Из графиков, приведенных на рис. 3, следует, что линейный участок статической характеристики толщиномера имеет при значениях толщин немагнитного слоя  $0 < \delta < 0,4$  мм при выбранных значениях геометрических размеров магнитопровода. Чувствительность толщиномера



составляет  $S=2000 \text{ А/м}$ . Если принять порог чувствительности магнитометрического канала магниточувствительного элемента  $H_{\text{п}} = 10 \text{ А/м}$ , то разрешающая способность толщиномера составит 0,005 мм.

#### Література

- Мирошников В.В., Романенко А.В. Математическая модель поля датчика над ферромагнитной поверхностью// Вісник державного університету // Львівська політехніка// Радіоелектроніка та телекомуникації. - 2000. - № 387. - С.480-483.
- Постоянные магниты. Справочник / Под ред. Ю.М. Пятиной. - М. - Энергия, 1980.- 484 с.

#### References

- Miroshnikov V.V., Romanenko A.V. Matematicheskaja model' polja datchika nad ferromagnitnoj poverhnost'ju// Visnik derzhavnogo universitetu // L'viv's'ka politehnika// Radioelektronika ta telekomunikaci. -2000.- № 387. - S.480-483.
- Postojannye magnity. Spravochnik / Pod red. Ju.M. Pjatina. - M. - Jenergija, 1980. - 484 s.

**Яковенко В.В., Кушнір М.В. Магнітний метод вимірювання товщини немагнітних покріттів.**

Запропоновано магнітний метод вимірювання товщини немагнітного покріття, нанесеного на площину феромагнітної деталі. Магнітна система являє собою П-подібний магнітопровід, в який вбудовані постійний магніт і магніточутливі елементи. Для визначення статичної характеристики товщиноміра проведено розрахунок магнітного поля в магнітопроводі системи. Розрахунок виконано шляхом чисельного рішення нелінійного векторного інтегрального рівняння. Отримано дані про магнітний потік в магнітопроводі при різних значеннях товщини немагнітного шару. Визначено чутливість і потенційна роздільна здатність товщиноміра.

**Ключові слова:** феррозонд, сердечник, немагніченість, магнітний потік, метод дзеркальних зображенень, розрахунок поля.

**Yakovenko V.V., Kushnir N.V. Magnetic methods of measuring the thickness of non-magnetic coatings.**

We propose a magnetic method of measuring the thickness of the non-magnetic coating of a ferromagnetic part. The magnetic system is a U-shaped magnetic core, with a built-in permanent magnet and a magneto-sensitive element. To determine the clearance gauge static characteristic the magnetic field calculation was performed in the magnetic system. The calculation was made with the help of the numerical solution of a nonlinear vector integral equation. Consequently we obtained the data on the magnetic flux in the magnetic circuit for nonmagnetic layers of different thickness. Also we determined the gauge sensitivity and its potential resolution.

**Keywords:** ferropipes, core, magnetization, magnetic flux, the method of mirror images, the calculation of the field.

**Яковенко Валерий Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры электротехники, Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, г. Северодонецк, Украина.  
**Кушнір Николай Валентинович** – аспирант кафедры «Электромеханики», Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, г. Северодонецк, Украина.

Рецензент: **Суворін О. В.**, д.т.н., доцент.

Стаття подана 23.03.2014

## ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

УДК [334.716:330.341.1] (477)

### **ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ В ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ**

**Жучок Т. М.**

**PROBLEMS OF AN IMPLEMENTATION OF INNOVATIONS  
IN ACTIVITIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF UKRAINE**

**Zhuchok T. M.**

*У даній статті розкриваються основні проблеми, що стримують розвиток інноваційного підприємництва; вивчаються шляхи вирішення проблем розвитку інновацій в секторі; розглядаються основні завдання державної інноваційної політики, покликаної забезпечити формування цілісної ефективної інноваційної системи в галузі; аналізуються заходи щодо активізації впровадження інновацій в діяльність промислових підприємств України.*

**Ключові слова:** інновації, інноваційні технології, інноваційне підприємництво, упровадження інновацій, шляхи вирішення проблем.

**Вступ.** В умовах системної кризи виробництва розвиток інновацій на підприємствах є особливо актуальним, він повинен охоплювати різні сфери діяльності, пов'язуватися з інноваційними циклами, об'єднуючи методи дослідження, технології та систему управління підприємством. Зарубіжний досвід з впровадження інновацій на промислових підприємствах повинен активно застосовуватися в українських умовах відносно самостійних суб'єктів економіки, факторів і рушійних сил інноваційного процесу з боку компаній. Водночас інноваційні процеси та їх вплив на стан економіки і суспільства характеризуються істотними відмінностями. Інтенсивність інноваційної діяльності багато в чому визначає рівень економічного розвитку країни і регіонів. Аналіз стану економіки показує, що найбільш прибуткові в даний час є ті підприємства і галузі в цілому, які орієнтовані на виробництво високотехнологічних продуктів і товарів. Проблема розвитку та впровадження отриманих результатів інноваційного підприємництва сьогодні досить актуальна, оскільки даний вид діяльності призначений для руху вперед не тільки регіональної,

а й всієї української економіки. А це в свою чергу сприятиме подальшій інтеграції вітчизняної економіки у світову.

**Виклад основного матеріалу.** Інноваційне підприємництво - це особливий новаторський процес створення чогось нового; процес господарювання, в основі якого закладено постійний пошук нових можливостей, орієнтація на інновації. Цей процес пов'язаний з готовністю підприємця приймати на себе весь ризик щодо здійснення нового проекту або поліпшення існуючого, а також всі види відповідальності, які виникають при цьому (фінансову, моральну і соціальну).

У загальному плані інноваційне підприємництво можна визначити як суспільний інженерно-технічний процес, що сприяє створенню кращих за своїми властивостями та характеристиками товарів (продукції, послуг) і більш досконалих технологій шляхом практичного застосування нововведень.

В економічній літературі виділяються три основні види інноваційного підприємництва: виготовлення інноваційної продукції; створення інноваційних технологій; формування соціальних інновацій, в тому числі використання сучасних інноваційних методів і способів в управлінні.

Перший вид інноваційного підприємництва являє собою процес оновлення збудового потенціалу, який застосовують для забезпечення стійкості, виживаності фірми чи підприємства, збільшення обсягу одержуваного прибутку, розширення частки на ринку даної продукції, збереження робочих місць тощо.

Створення інноваційних технологій - це специфічний процес оновлення виробництва з

метою формування потенціалу, призначеного для створення умов, в яких можливе підвищення продуктивності праці та ресурсозбереження, що дозволить збільшити обсяг прибутку фірми, удосконалити техніку безпеки, вирішити проблеми захисту навколошнього середовища, доцільно застосувати внутрішньофірмові інформаційні системи та ін.

Формування або створення на підприємстві соціальних інновацій - це традиційний процес планомірного поліпшення гуманітарної сфери (у тому числі вдосконалення системи управління персоналом, виробництвом і т. д.) фірми або організації. Застосування таких інновацій призводить до розширення можливості на ринку робочої сили, мобілізує і активізує персонал (робітників, фахівців, управлінців) підприємства на досягнення поставлених цілей, формує і зміцнює довіру до соціальних зобов'язань підприємства перед співробітниками і суспільством в цілому [1].

Слід зазначити, що інноваційне підприємництво - це різноманітна, обширна і багатогранна економічна діяльність. В якості підприємця можуть виступати фізичні та юридичні особи, які здійснюють таку діяльність, пов'язану з відтворювальним циклом інноваційного продукту: виготовлення інноваційного продукту; забезпечення посередницьких функцій; виконання необхідних фінансових операцій для здійснення інноваційної діяльності.

Інновації можуть відноситися як до техніки і технологій, так і до форм організації виробництва і управління. Всі вони тісно взаємопов'язані і є якісними ступенями у розвитку продуктивних сил, підвищенні ефективності виробництва.

В економіці країни і регіонів відбувається активне оновлення застарілого виробничого обладнання на новій інноваційній основі в усіх сферах народного господарства, в тому числі і в промисловому комплексі. Інновації в промисловості відіграють дуже важливу роль у розвитку науково-технічного прогресу всієї національної економіки країни та регіонів.

Важливим завданням для всіх підприємств промислового комплексу (малих, середніх і великих) є забезпечення проведення інноваційної політики в процесі реалізації стратегічного плану, розробленого на регіональному рівні, з метою забезпечення їх сталого довгострокового функціонування в умовах ринкової конкуренції. Пріоритетним напрямом стратегії розвитку виробництва великого промислового підприємства повинні стати розробка і впровадження різних інновацій, а для малих і середніх - впровадження нововведень.

Упровадження інновацій (інновація) - це діяльність підприємства, яка пов'язана з упровадженням як технологічно нових, так і значно технологічно удосконалених продуктів (продуктові інновації) і процесів (процесові інновації). Інновація

вважається упровадженою, якщо вона (її результат) потрапила на ринок чи використовується у виробничому процесі [2].

**Результати дослідження.** Здійснення інноваційної політики на підприємстві передбачає вирішення наступних завдань: формування інноваційної політики та координації діяльності в цій області виробничих підрозділів; створення проблемно-цільових груп для комплексного вирішення інноваційних проблем; розробки планів і програм інноваційної діяльності; забезпечення програм інноваційної діяльності фінансами і матеріальними ресурсами; розгляду проектів створення нової продукції; забезпечення інноваційної діяльності кваліфікованим персоналом; спостереження за ходом розробки нової продукції і її впровадження.

Практичний досвід показує, що збільшення інноваційної діяльності в процесі виробництва призводить до активізації взаємодії різних економічних суб'єктів, до яких належать спеціалізовані науково-дослідні та проектні інститути, вищі навчальні заклади, промислові підприємства та інші.

Сьогодні для розвитку інноваційного бізнесу:

- набувають прогресивні зарубіжні технології, матеріали, машини та обладнання для організацій; вітчизняні та зарубіжні патенти для організації виробництва нової продукції. Крім того, вдаються до послуг зарубіжних компаній при використанні нових технологій;

- організовують проведення власних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) і виконання інноваційних проектів. Робітники і фахівці навчаються новим закордонним і вітчизняним технологіям і навичкам роботи з інноваційними механізмами і сучасними матеріалами.

Необхідно створити єдину інтегровану інформаційну систему, яка міститиме інформацію про всі інновації та проведені дослідження в промисловості для стимулювання проведення пошукових і прикладних досліджень. В якості однієї з істотних проблем інноваційного бізнесу в промисловості в даний час відзначається відсутність розвиненої функціональної інформаційної системи. Тому на ринку інновацій присутня непрозора інформація про основних учасників бізнесу, про організаційно-правові умови роботи, напрями державної підтримки інноваційної діяльності, що призводить до зниження інвестиційної активності і значного скорочення фінансування інноваційної діяльності.

Прогресивне інноваційний розвиток організації в довгостроковій перспективі передбачає інтенсивний розвиток всіх компонентів і елементів організаційної структури підприємства.

Динаміку впровадження та реалізацію інновацій промисловими підприємствами за період 2000-2012 рр. подано в таблиці 1. Частка

вітчизняних підприємств, що впроваджували інновації впродовж проаналізованого періоду є незначною [2]. Як ми бачимо, тенденція щодо зниження інноваційної активності промислових підприємств простежується починаючи з 2003 р. Так, частка підприємств, що впроваджували інновації, скоротилася у 2003 р. до 11,5% (проти 14,6% у попередньому році). Відповідно майже втрічі зменшилася кількість інновацій, які були реалізовані у промисловості. Проте, найменшою

була частка інноваційних підприємств у 2005 р., коли становила всього 8,2% від загальної кількості промислових підприємств. Починаючи з 2010 р., інноваційна активність промислових підприємств починає зростати, і вже у 2012 р. частка інноваційних підприємств збільшується до 13,6%, але ще не досягає рівня 2000 р., коли частка таких підприємств становила 14,8%.

Таблиця 1

#### Впровадження інновацій на промислових підприємствах

	Питома вага підприємств, що впроваджували інновації, %	Впроваджено нових технологічних процесів, процесів	у т.ч. маловідходні, ресурсозберігаючі	Освоєно виробництво інноваційних видів продукції, найменувань	з них нові види техніки	Питома вага реалізованої інноваційної продукції в обсязі промислової, %
2000	14,8	1403	430	15323	631	
2001	14,3	1421	469	19484	610	6,8
2002	14,6	1142	430	22847	520	7,0
2003	11,5	1482	606	7416	710	5,6
2004	10,0	1727	645	3978	769	5,8
2005	8,2	1808	690	3152	657	6,5
2006	10,0	1145	424	2408	786	6,7
2007	11,5	1419	634	2526	881	6,7
2008	10,8	1647	680	2446	758	5,9
2009	10,7	1893	753	2685	641	4,8
2010	11,5	2043	479	2408	663	3,8
2011	12,8	2510	517	3238	897	3,8
2012	13,6	2188	554	3403	942	3,3

Таблиця 2

#### Інноваційна активність

Питома вага підприємств, що займалися інноваціями	Загальна сума витрат	дослідження і розробки	У тому числі за напрямами						
			у тому числі		придбання інших зовнішніх знань	підготовка виробництва для впровадження інновацій	придбання машин обладнання та програмного забезпечення	інші витрати	
			внутрішні НДР	зовнішні НДР					
%			млн. грн.						
2000	18,0	1760,1	266,2	X	X	72,8	163,9	1074,5	182,7
2001	16,5	1979,4	171,4	X	X	125,0	183,8	1249,4	249,8
2002	18,0	3018,3	270,1	X	X	149,7	325,2	1865,6	407,7
2003	15,1	3059,8	312,9	X	X	95,9	527,3	1873,7	250,0
2004	13,7	4534,6	445,3	X	X	143,5	808,5	2717,5	419,8
2005	11,9	5751,6	612,3	X	X	243,4	991,7	3149,6	754,6
2006	11,2	6160,0	992,9	X	X	159,5	954,7	3489,2	563,7
2007	14,2	10850,9	986,5	793,6	192,9	328,4	X	7471,1	2064,9
2008	13,0	11994,2	1243,6	958,8	284,8	421,8	X	7664,8	2664,0
2009	12,8	7949,9	846,7	633,3	213,4	115,9	X	4974,7	2012,6
2010	13,8	8045,5	996,4	818,5	177,9	141,6	X	5051,7	1855,8
2011	16,2	14333,9	1079,9	833,3	246,6	324,7	X	10489,1	2440,2
2012	17,4	11480,6	1196,3	965,2	231,1	47,0	X	8051,8	2185,5

Щодо кількості інноваційної продукції, що виводиться промисловими підприємствами на ринок, зростання можна було простежити в період з 2005 до 2007 рр., а з 2008 р. відбувається поступове зниження її питомої ваги. У 2010-2012 рр. частка реалізованої інноваційної продукції в обсязі промислової становила лише 3,3%. Якщо порівняти з економічно розвиненими країнами, то цей показник за останні 10 років не опускається нижче 20% [3].

Досягнення суттєвих результатів у розвитку інноваційної сфери в промисловій галузі найближчим часом видається проблематичним у зв'язку з існуванням ряду факторів, що стримують інноваційну активність (див. табл. 2).

Інноваційна активність підприємств стримується також через несприятливий діловий клімат, обумовлений, з одного боку, високим рівнем фіскального тиску, з іншого - неактивною роллю держави у захисті прав власності, слабкою підтримкою підприємств інноваційної сфери та відсутністю рівних умов для конкуренції.

Надзвичайно високими залишаються транзакційні витрати та адміністративні бар'єри, що перешкоджають інноваційній активності.

Застаріле обладнання, втрата технологій, високі витрати, фінансові проблеми, тривалий період окупності інновацій - всі ці фактори стримують інноваційну активність підприємств.

Зниження обсягів виробництва призводить до зупинки і консервації підприємств. Дана тенденція дуже згубна, оскільки йдуть і дискваліфікуються фахівці. На їх місце приходять непрофесіонали. Розвиток нових технологій на зруйнованому виробництві неможливий. Тому головним завданням сьогоднішнього періоду є збереження існуючого виробництва і його послідовна модернізація.

В даний час багато результатів науково-технічної діяльності не є комерційним продуктом, готовим для виробництва та ефективної реалізації. Для будь-якого інноваційного матеріалу треба створювати новий ринок, і це найважливіше завдання як для розробників, так і для країни в цілому.

Підприємства прикладної науки не мають досвіду роботи в умовах ринкових реформ, не вміють успішно розпоряджатися належним їм інтелектуальним капіталом, не готові до комерційної реалізації власних розробок. У більшості підприємств відсутня єдина політика в галузі охорони інтелектуальної власності та просування своїх товарів і технологій на ринок. Це сприяє витоку за кордон новітніх знань в чистому вигляді, не підкріплених виробничими секретами і інжиніринговим супроводом.

У даний процес треба залучити малий і середній бізнес. Підприємець не почне підготовку серійного виробництва нової продукції, поки не отримає стабільне замовлення на неї чи іншу

гарантію на збут, так як його цікавить не технологія як така, а продукція, яка може бути виготовлена за цією технологією, та її переваги, що дозволяють її успішно конкурувати з аналогічною. Інша важлива проблема - це недостатній рівень кваліфікації фахівців інноваційного менеджменту на більшості підприємств галузі. Необхідна національна інноваційна система за участю держави та приватного капіталу. Нові розробки будуть успішні, якщо їх створення розпочнеться з вивчення та формування ринкового попиту на нову продукцію.

Вище були виділені основні фактори, що стримують впровадження нововведень в галузі. З метою активізації інноваційної діяльності потрібно розробити і здійснити комплекс заходів для нейтралізації впливу стримуючих факторів. При цьому перед державою стоять такі основні завдання: гармонізація відносин між державою, бізнесом і науковою в інтересах розвитку високих технологій; створення механізмів, які, в свою чергу, забезпечать підвищення конкурентоспроможності національної економіки.

Для здійснення інноваційної діяльності необхідна наявність інноваційного потенціалу підприємства, який характеризується як сукупність різних ресурсів (інтелектуальних, матеріальних, фінансових, кадрових та ін.).

Для активізації інноваційної діяльності промислових підприємств потрібна наявність механізму управління інноваційною діяльністю, адекватного вимогам ринкової економіки. В даний час подібний механізм відсутній, що є однією з головних проблем розвитку підприємств на основі інноваційних перетворень. У той же час варто відзначити відсутність чіткої інноваційної політики як на рівні регіону, галузі, так і окремих підприємств і організацій. Причому для розширення інноваційної діяльності необов'язково створення довгострокових інноваційних програм, достатньо сформулювати стратегію розвитку інноваційної діяльності на рівні країни, регіону, галузі, підприємства.

Ще одним фактором, що стримує інноваційну активність, виступає відсутність необхідних юридичних та економічних стимулів для підприємств, що займаються інноваційною діяльністю. Сьогодні підприємствам невигідно вкладати власні кошти на проведення інноваційних досліджень, що можна пояснити жорсткою системою податкового регулювання, браком державної підтримки, зниженням ролі амортизаційних відрахувань як основного джерела фінансування процесів розвитку підприємств, відсутністю повноцінно функціонуючого фондового ринку в країні, інвестиційними проблемами, пов'язаними з великими капіталовкладеннями. Без вирішення інвестиційних проблем неможливе вирішення інноваційних, оскільки у цьому випадку потрібні значні капіталовкладення. У нових умовах господарювання, що характеризуються ризиком і

невизначеністю, головною проблемою стає практична реалізація інноваційних процесів.

**Висновки.** Основними завданнями державної інноваційної політики, покликаної забезпечити формування цілісної ефективної інноваційної системи в галузі, мають стати: координація дій органів виконавчої влади України, органів влади суб'єктів України і муніципальних утворень з метою розробки комплексного підходу до вирішення завдань інноваційного розвитку, ефективного функціонування інноваційної системи та реалізації державної інноваційної політики; вибір раціональних стратегій і пріоритетів розвитку інноваційної сфери при реалізації в галузях економіки критичних технологій та інноваційних проектів, що роблять вплив на підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності продукції; забезпечення сприятливих економічних і фінансових умов для активізації інноваційної діяльності; створення системи підготовки та перепідготовки кадрів в області інноваційного підприємництва; впровадження світових стандартів якості продукції і захисту навколошнього середовища.

Реалізація викладених пропозицій щодо активізації інноваційної діяльності в промисловості може служити певним стимулом для прискорення науково-технічного розвитку вітчизняної економіки.

#### Література

5. Кoval'чук С. Сучасний стан інноваційного розвитку промислових підприємств України / С. Кoval'чук // Економіст. – 2012. – № 10. – С. 27–32.
6. Офіційний сайт Державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
7. Оцінка сучасного стану інноваційного розвитку промислових підприємств України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nikolachuk.at.ua/news/2010-11-17>.

#### References

1. Kovalchuk S. The current state of innovation development of industrial enterprises in Ukraine / S. Kovalchuk // Economist. - 2012. - № 10. - P. 27-32.

2. The official website of the State Statistics Committee of Ukraine [electronic resource]. - Mode of access: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. Assessment of the current state of development of innovative industrial enterprises of Ukraine [electronic resource]. - Mode of access: <http://nikolachuk.at.ua/news/2010-11-17-52>.

#### Жучок Т.Н. Проблемы внедрения инноваций в деятельность промышленных предприятий Украины

В данной статье раскрываются основные проблемы, сдерживающие развитие инновационного предпринимательства, изучаются пути решения проблем развития инноваций в секторе, рассматриваются основные задачи государственной инновационной политики, призванной обеспечить формирование целостного эффективного инновационного процесса разработки, анализируются меры по активизации внедрения инноваций в деятельность промышленных предприятий Украины.

**Ключевые слова:** инновации, инновационные технологии, инновационное предпринимательство, внедрение инноваций, пути решения проблем.

#### Zhuchok T.M. Problems of an implementation of innovations in activities of industrial enterprises of Ukraine

*Abstract: In this article, we study the main problems hampering the development of an innovative business, paths of a solution of problems of a development of innovations in the sector, the main tasks of the state innovation policy, designed to provide a holistic development of an efficient innovation process, measures to enhance the introduction of innovations in industrial enterprises.*

**Key words:** innovation, innovative technologies, innovative entrepreneurship, implementation of innovations, paths of solution of problems.

**Жучок Тетяна Миколаївна**, асистент кафедри маркетингу Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, тел. (050) 98 82 500; e-mail: ptn\_80@mail.ru

Рецензент: **Рамазанов С.К.**, д.т.н., д.е.н., професор.

Статтю подано 24.03.2014

УДК 314.18

## ОСОБЛИВОСТІ ДЕМОГРАФІЧНОГО СТАРІННЯ В УКРАЇНІ

**Іє О.М., Корячкіна О.В., Онопченко С.В.**

### FEATURES OF DEMOGRAPHIC AGEING IN UKRAINE

**Іє О.Н., Koryachkina O.V., Onopchenko S.V.**

*У даній роботі розглянуто актуальну проблему старіння населення, як закономірного, історично сформованого явища. Ця проблема зачіпає численні аспекти життя суспільства. Відображені основні історичні етапи, і проведений порівняльний аналіз процесу старіння населення в Україні. Наведено прогноз загальносвітового старіння населення, і зокрема, населення України.*

**Ключові слова:** демографічна ситуація, старіння, рівень народжуваності, рівень смертності.

**Вступ.** Одним із найважливіших факторів показнику успішності і процвітання будь-якої країни – є здоров'я її населення. Недаремно цей показник враховується у багатьох інтегрованих показниках (індекс розвитку людського потенціалу, індекс процвітання та багато інших).

Здоров'я населення не може не розглядатися без стійкого демографічного розвитку, що гарантує суспільству відтворення людських поколінь.

Актуальність цієї роботи зумовлена тим, що на сьогодні проблема старіння населення є як ніколи важливою та актуальною для України, бо демографічна ситуація характеризується порушенням сприятливого демографічного балансу (скороченням народжуваності та зростанням смертності).

Метою даної роботи є дослідження процесу старіння населення України та його наслідки для соціально-економічного розвитку. На тлі сучасної світової демографічної ситуації розкриваються особливості, форми прояву і причини сучасної демографічної кризи України.

Старіння населення – закономірний і незворотний процес, неодмінний атрибут і супутник соціально-економічного прогресу й демографічної модернізації. Цікаво те, що загально цивілізаційна тенденція зниження народжуваності, характерна для майже всього розвинутого світу протягом останніх сторіч і "йде" у поєднанні з досягнутими успіхами у подовженні тривалості життя. Саме здавалося б такий позитивний фактор як "подовження тривалості життя" виступає детермінантом прискореного старіння населення і з часом

породжує у старіючому населенні ризик виникнення і закріплення депопуляційних явищ, тобто перевищення кількості померлих над числом народжених.

Важливість цієї проблеми підкреслює велика кількість робіт українських демографів на цю тему. Наприклад, стаття та виступ з нею українського демографа І. Курило в травні 2013 року. Вона зробила корегування оцінок ООН відносно демографічного старіння світу саме для України та запропонувала перенесення європейського досвіду на Україну. Великий вклад у розроблення прогнозів зробив також С. Пірожков. Серед вітчизняних науковців, які вивчають проблеми депопуляції та різні аспекти старіння населення, слід, насамперед, відзначити фахівців Інституту демографії та соціальних досліджень НАН України Н. Левчук, В. Піскунова, С. Піскунова, В. Стешенко, П. Шевчука й ін., а також співробітників Інституту геронтології АМН України В. Безрукова, В. Чайковську та інших.

**Виклад основного матеріалу.** Населення України з кожним роком старіє, і, таким чином, в країні зменшується кількість громадян, які народжують дітей. Три основних процеси обумовлюють демографічний розвиток країни: народжуваність, смертність і демографічний рух населення. Багато вчених першопричину демографічної кризи бачать у радикальних економічних і політичних змінах суспільства. Крім демографічних тенденцій росту старіння населення має численні економічні, політичні та соціальні наслідки. Тому не випадково старіння стало розглядатися як глобальна проблема і один з головних демографічних викликів.

Населення світу старіє, збільшується його медіанний вік і питома вага осіб старших вікових груп. Старіння охопило і розвинені, і країни, що розвиваються, проникло в усі регіони світу. Згідно з прогнозами демографів ООН трансформація вікової структури населення в тому ж напрямку тільки прискориться. Проблема старіння є предметом спеціального розгляду міжнародних організацій і

агентств ООН ще з початку 80-х років. На багатьох наукових симпозіумах, в пресі, в політичних заявах цей процес розглядається як явище соціальне, економічне і культурне. Досить часто цей процес сприймається як загроза соціальному розвитку, процвітанню, соціальному благополуччю, нормальному зв'язку між поколіннями, інновації і технологічного розвитку.

Демографи ООН дотримуються наступної класифікації товариств за ступенем старіння: молодим називають населення, в якому осіб віком 65 років і старше менше 4%; зрілим – суспільство, де таких людей від 4% до 7%; якщо ж їх частка перевищує 7%, то населення вважається старим.

Протягом усього ХХ століття частка літніх людей в загальній чисельності населення Землі постійно збільшувалася. Очікується, що ця тенденція збережеться і в ХХІ столітті. Так, в 1950 році літні люди (особи віком 60 років і старше) становили 8% світового населення, у 2000 році – вже 10%, а в 2050 році, за прогнозами ООН, їх частка досягне 21%.

На даний момент за кількістю жителів Україна посідає сьоме місце серед усіх європейських країн після Росії, Туреччини, Великобританії, Франції та Італії. Попередня демографічна криза обгорнула країну в 30-40-х роках минулого сторіччя.

Її причинами були масові репресії і Друга світова війна. Завдяки тому, що народжуваність залишилися на колишньому рівні криза 30-40-х років була досить швидко подолана. Сучасна демографічна криза в деяких регіонах країни почалася ще за часів Радянського Союзу, а в 1993-1994 роках депопуляція охопила практично всі регіони України. Одна з передумов демографічної проблеми України, яка раніше була властива лише розвиненим країнам, – старіння населення. Кожен день близько 200 тисяч чоловік на планеті долають 60-річний рубіж. Нажаль, сьогодні в Україні створені всі умови для поглиблення та розвитку демографічного старіння: перш за все, низька заробітна плата, якої не достатньо для повноцінного відновлення робочої сили та для виховання нової; постійна зростаюча інфляція; слабке фінансування на пенсійне забезпечення та слабке житлове забезпечення, високі ціни на окреме житло, також важливим є постійний психологічний дискомфорт, який сприяє породженню невпевненості у майбутньому; погіршення здоров'я населення в цілому через погіршення якості харчування.

Сьогодні, не дивлячись на позитивні моменти в розвитку економіки, збільшення кількості центрів зайнятості, зменшення рівня безробіття, експерти соціальної політики оцінюють сучасний ринок праці як депресивний.

В Україні процес старіння населення має одну свою особливість. Бо з одного боку, як і на Заході, він обумовлений спадом народжуваності, а з іншого – підвищеннем смертності в працездатному віці. За даними статистики, вірогідність померти в

працездатному віці для українців в 1,5 рази вище, ніж для європейців.

Можна дати загальну характеристику новітніх тенденцій в області старіння наступним чином:

- стрімке скорочення загальної чисельності населення, переважно за рахунок людей молодого та працездатного віку – прогноз в цьому сенсі вкрай не сприятливий;
- поглиблення процесу старіння неминуче і в майбутньому;
- прагнення поліпшити матеріальне становище людей похилого віку значною мірою обумовлене політичною (виборною) циклічністю соціально-економічних процесів;
- зростання співвідношення соціальних трансфертів та заробітної плати;
- підвищення «вікової навантаження» у структурі соціальних трансфертів;
- посилення навантаження на працездатне населення і на економіку.

За даними Інституту демографії та соціальних досліджень Національної академії наук України до 2050 року населення країни скоротиться до 36 млн. людей (за даними на 1 лютого нинішнього року населення України становило 45 млн. 435 тис. осіб). Нашими вченими відмічено, що основні демографічні прогнози за останні кілька років були скориговані на користь більш оптимістичних варіантів, у зв'язку з тим, що депопуляція (природний спад населення) хоч повільно, але скорочується і цього недостатньо для подолання кризи.

**Висновки.** Демографічна ситуація в Україні характеризується наступними кризовими явищами: значне зниження народжуваності, проблема старіння працездатного населення, збільшення рівня безробіття та ін. Дані явища вимагають розробки оптимальної державної демографічної політики, яка передбачала б цілісну систему заходів економічного, правового, соціального, освітнього, культурного, інформаційно-пропагандистського характеру і була б спрямована на зменшення смертності, підвищення народжуваності, охорону, реабілітацію та відновлення генофонду населення України.

Для вирішення цієї проблеми необхідно посилити роль держави для регулювання економіки в проведенні більш справедливої соціальної економіки, що сприятиме створенню в країні не тільки більш стабільної економічної, а й політичної обстановці.

#### Література

1. Медков В. М. Демография: ученик / В. М. Медков. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2009.
2. Пирожков С. И. Демографические процессы и возрастная структура населения // Вибрані наукові праці: У 2 т. Т.1. Демографічний і трудовий потенціал. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2008.

3. Тешенко В., Піскунов С., Піскунов В. Старіння населення України: стан, етнічні особливості, перспективи // Демографічні дослідження: Вип. 20. – К.: Вид. Ін-ту економіки НАН України, 2010.
4. Europe in figures-2012. Eurostat yearbook, 2012. - 698 р.
5. Державна служба статистики України[Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

#### References

1. Medkov V. M. Demografija: uchenik / V. M. Medkov. – 2-e izd. – M.: INFRA-M, 2009.
2. Pirozhkov S. I. Demograficheskie processy i vozrastnaja struktura naselenija // Vibrani naukovi praci: U 2 t. T.1. Demografichni i trudovij potencial. – K.: Kiiv. nac. torg.-ekon. un-t, 2008.
3. Teshenko V., Piskunov S., Piskunov V. Starinnja naselennja Ukrainsi: stan, etnichni osoblivosti, perspektivi // Demografichni doslidzhennja: Vip. 20. – K.: Vid. In-tu ekonomiki NAN Ukrainsi, 2010.
4. Europe in figures-2012. Eurostat yearbook, 2012. - 698 r.
5. Derzhavna sluzhba statistiki Ukrainsi[Elektronni resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

**Іе О. Н., Корячкіна О. В., Онопченко С. В.  
Особливості демографіческого старіння в Україні.**

*В данной работе рассмотрена актуальная проблема старения населения, как закономерного, исторически сложившегося явления. Эта проблема затрагивает многочисленные аспекты жизни общества. Отражены основные исторические этапы, проведен сравнительный анализ процесса старения населения в Украине.*

*Приведены прогнозы общемирового старения населения, и в частности, населения Украины.*

**Ключевые слова:** демографическая ситуация, старение, уровень рождаемости, уровень смертности.

**Іе О. Н., Koryachkina O. V., Onopchenko S. V.  
Features of demographic ageing in Ukraine.**

*In this paper, the actual problem of the aging population considered as a natural, the historical phenomenon. This problem affects many aspects of society. Displaying the main historical stages, and the comparative analysis of the aging process in Ukraine. Shows the predictions of global aging population, particularly in Ukraine.*

**Key words:** demographics, aging, fertility, mortality.

**Іе Ольга Миколаївна,** к.ф.м.н., доцент, кафедра математичного аналізу та алгебри Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, olgaie@mail.ru

**Корячкіна Ольга Віталіївна,** магістрантка спеціальності «Прикладна статистика» Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, pydeno4ka@mail.ru

**Онопченко Світлана Володимирівна,** к.пед.н., доцент, кафедра інформаційних технологій та систем Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, osv260176@rambler.ru

Рецензент: **Рач В.А.**, д.т.н., професор.

Статтю подано 15.03.2013

УДК 519.83

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ІГОР В ЕКОНОМІЦІ

Іє О. М., Онопченко С. В.

## THE USE OF GAME THEORY IN ECONOMICS

Іє О. Н., Onopchenko S. V.

*У статті представлена повний опис основних понять і моделей теорії ігор. У тому числі коротко розглядаються: некооперативні ігри, кооперативні ігри та ієрархічні ігри.*

**Ключові слова:** теорія ігор, центр, агент, виграш, Рівновага Неша, стратегія, прийняття рішень.

В даний час величезний інтерес привертає теорія ігор, яка, з одного боку, поряд з математичними моделями загальної рівноваги і теорією соціального вибору, зіграла ключову роль у створенні сучасної економічної теорії, а з іншого, є одним з найважливіших інструментів аналізу величезного різноманіття задач, що виникають не тільки в економіці, але і в політиці, соціальних науках, військовій справі, біології та ін.

Суть теорії ігор (з економічної точки зору) в тому, щоб допомогти економістам розуміти і передбачати те, що може відбуватися в економічних ситуаціях, і зараз навряд чи можна знайти область економіки або дисципліни, пов'язаної з економікою, де основні концепції теорії ігор не були б просто необхідними для розуміння сучасної економічної літератури.

Актуальність цієї роботи зумовлена великим інтересом до теорії ігор в сучасній науці. Крім того, в сучасному економічному житті важливу роль відіграє використання теорії ігор, як засобу реального доходу. Використання теорії ігор дає можливість прорахувати можливі варіанти отримання прибутку та визначення найкращих економічних кроків, а також визначити дію опонентів по ринку.

На даний момент, якщо говорити про економічні додатки, мова йде вже не тільки про застосування теоретико-ігрових методів до проблем теорії організації промисловості, що стали досить традиційними, а й, по суті справи, до всього різноманіття економічної проблематики. Теорію ігор слід розуміти як інструмент економічного аналізу, який:

1) дає ясну і точну мову дослідження різних економічних ситуацій;

2) дає можливість піддавати інтуїтивні уявлення перевірці на логічну узгодженість;

3) допомагає простежити шлях від «спостережень» до основоположних припущень і виявити, які з припущень дійсно лежать в основі частинних висновків.

При цьому область застосування теорії ігор постійно розширяється.

Мета статті дати повний опис основних понять і моделей теорії ігор. У тому числі коротко розглядаються: некооперативні ігри, кооперативні ігри та ієрархічні ігри.

### *Некооперативні ігри*

Розглянемо ігрову невизначеність, яка відображатиме спільне прийняття рішень декількома агентами (при заданих управліннях з боку центру), в рамках якої суттєвими є припущення агента про безліч можливих значень обстановки ігри (дій інших агентів, що обираються ними в рамках тих чи інших неточно відомих агенту, який розглядається, принципів їх поведінки).

Для опису колективної поведінки агентів недостатньо визначити їх переваги та правила індивідуального раціонального вибору окремо. У разі, коли в системі є єдиний агент, гіпотеза його раціональної (індивідуальної) поведінки передбачає, що агент веде себе таким чином, щоб вибором дій максимізувати значення своєї цільової функції. У разі, коли агентів декілька, необхідно враховувати їх взаємний вплив: в цьому випадку виникає гра – взаємодія, в якій виграна кожного агента залежить як від його власної дії, так і від дій інших агентів. Якщо в силу гіпотези раціональної поведінки кожен з агентів прагне вибором дій максимізувати свою цільову функцію, то зрозуміло, що у випадку декількох агентів індивідуально раціональна дія кожного з них залежить від дій інших агентів.

Розглянемо теоретико-ігрову модель некооперативної взаємодії між  $n$  агентами, припускаючи, що вони приймають рішення

одночасно і незалежно, не маючи можливості домовлятися про обрані дії, перерозподіляти отримувану корисність (виграш) і т.д.

Кожен агент здійснює вибір дії  $x_i$ , що належить допустимої множині  $X_i$ ,  $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$  – множині агентів. Вибір дій агентами здійснюється одноразово, одночасно і незалежно.

Виграш  $i$ -го агента залежить від його власної дії  $x_i \in X_i$ , від вектора дій

$$\begin{aligned} x_{-i} &= (x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) \in X_{-i} = \\ &= \prod_{j \in N \setminus \{i\}} X_j \end{aligned} \quad (1)$$

опонентів  $N \setminus \{i\}$  і від стану природи  $\theta \in \Omega$ , і описується дійснозначною функцією виграшу  $f_i = f_i(\theta, x)$ , де  $x = (x_i, x_{-i}) = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X' = \prod_{j \in N} X_j$  – вектор дій всіх агентів. При фіксованому значенні стану природи сукупність  $\Gamma = (N, \{X_i\}_{i \in N}, \{f_i(\cdot)\}_{i \in N})$  множини агентів, множин їх допустимих дій і цільових функцій називається грою в нормальній формі. Рішенням ігри (рівновагою) називається множина стійких в тому чи іншому сенсі векторів дій агентів [1].

У силу гіпотези раціональної поведінки кожен агент буде прагнути вибрати найкращі для нього (з точки зору значення його цільової функції) дії при заданій обстановці. Обстановкою для нього буде сукупність стану природи  $\theta \in \Omega$  і обстановки ігри (1).

Отже, принцип прийняття ним рішення про обрану дію (при фіксованих обстановці і стані природи) можна записати наступним чином ( $BR$  позначає найкращу відповідь - best response):

$$BR_i(\theta, x_{-i}) = \operatorname{Arg} \max_{x_i \in X_i} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), \quad i \in N.$$

Розглянемо можливі принципи прийняття рішень агентами, кожен з яких породжує відповідну концепцію рівноваги, тобто визначає, в якому сенсі стійким повинен бути прогнозований результат ігри.

*Рівновага в домінантних стратегіях.* Якщо для деякого агента при будь-якому стані природи множина його найкращих відповідей не залежить від обстановки, то вона становить множину його домінантних стратегій (сукупність домінантних стратегій агентів називається рівновагою в домінантних стратегіях – РДС) [1]. Якщо у кожного з агентів існує домінантна стратегія, то вони можуть приймати рішення незалежно, тобто вибирати дії, не маючи жодної інформації і не роблячи ніяких припущень про обстановку. На жаль, РДС існує далеко не у всіх іграх.

Для реалізації агентами РДС, якщо остання існує, досить знання кожним з них тільки своєї цільової функції і допустимих множин  $X'$  і  $\Omega$ .

*Рівновага, що гарантує.* Тісі ж інформованістю повинні володіти агенти для реалізації рівноваги, що гарантує (максимінної), яка існує майже у всіх іграх:  $x_i^* \in \operatorname{Arg} \max_{x_i \in X_i} \min_{x_{-i} \in X_{-i}} \min_{\theta \in \Omega} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), \quad i \in N.$

*Рівновага Неша.* Визначимо багатозначне відображення

$$BR(\theta, x) = (BR_1(\theta, x_{-1}), \dots, BR_n(\theta, x_{-n})).$$

Рівновагою Неша [1] при стані природи  $\theta$  (точніше – параметричною рівновагою Неша) називається точка  $x^*(\theta) \in X'$ , яка задовольняє наступній умові:

$$x^*(\theta) \in BR(\theta, x^*(\theta)).$$

Останнє вкладення можна також записати у виді:

$$\forall i \in N, \forall y_i \in X_i \quad f_i(\theta, x^*(\theta)) \geq f_i(\theta, y_i, x_{-i}^*(\theta)).$$

Множина  $E_N(\theta)$  усіх точок виду  $x^*(\theta)$  можна описати таким чином:

$$E_N(\theta) = \{x \in X' \mid x_i \in BR_i(\theta, x_{-i}), i \in N\}.$$

Для реалізації рівноваги Неша достатньо, щоб раціональність агентів і всі параметри гри, а також значення стану природи були загальним знанням [2], тобто кожен з агентів раціональний, знає множину учасників гри, цільові функції і допустимі множини всіх агентів, а також знає значення стану природи. Крім того, він знає, що інші агенти знають це, а також те, що вони знають, що він це знає і т.д. до нескінченності.

*Суб'єктивна рівновага.* Розглянуті види рівноваги є окремими випадками суб'єктивної рівноваги, яка визначається як вектор дій агентів, кожна компонента якого є найкращою відповіддю відповідного агента на ту обстановку гри, яка може реалізуватися з його суб'єктивної точки зору. Розглянемо можливі випадки.

Припустимо, що  $i$ -ий агент розраховує на реалізацію обстановки ігри  $\hat{x}_{-i}^B$  («В» позначає beliefs; іноді використовуються терміни «припущення», «згадка» – conjecture) і стану природи  $\hat{\theta}_i$ , тоді він вибере

$$x_i^B(\theta) \in BR_i(\hat{\theta}_i, \hat{x}_{-i}^B), \quad i \in N.$$

Вектор  $x^B$  є точковою суб'єктивною рівновагою.

Зазначимо, що при такому визначенні "рівноваги" не потрібно обґрунтованості припущення агентів про дії опонентів, тобто, може виявиться, що  $\exists i \in N : \hat{x}_{-i}^B \neq x_{-i}^B$ . Обґрунтована суб'єктивна рівновага, тобто така, що  $\hat{x}_{-i}^B = x_{-i}^B$ ,  $i \in N$ , є рівновагою Неша (для цього, зокрема, досить, щоб всі параметри гри були загальним знанням, і щоб кожен агент при побудові  $\hat{x}_{-i}^B$  моделював раціональну поведінку опонентів). В окремому випадку, якщо найкраща відповідь кожного агента не залежить від припущення про обстановку, то суб'єктивна рівновага є рівновагою в домінантних стратегіях.

У більш загальному випадку  $i$ -ий агент може розраховувати на вибір опонентами дій з множини  $X_{-i}^B \subseteq X_{-i}$  і реалізацію стану природи з множини  $\bar{\Omega}_i \subseteq \Omega$ ,  $i \in N$ . Тоді найкращою відповідю буде суб'єктивна рівновага, яка гарантує:

$$x_i(X_{-i}^B, \bar{\Omega}_i) \in \operatorname{Arg} \max_{x_i \in X_i} \min_{x_{-i} \in X_{-i}^B} \min_{\theta \in \bar{\Omega}_i} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), \\ i \in N.$$

Якщо  $X_{-i}^B = X_{-i}$ ,  $\bar{\Omega}_i = \Omega$ ,  $i \in N$ , то  $x_i(X_{-i}^B) = x_i^*$ ,  $i \in N$ , тобто суб'єктивна рівновага, яка гарантує, є «класичною» рівновагою, що гарантує.

У ще більш загальному випадку в якості найкращої відповіді  $i$ -го агента можна розглядати розподіл ймовірностей  $p_i(x_i)$ , де  $p_i(\cdot) \in \Delta(X_i)$  – множині всіляких розподілів на  $X_i$ , який максимізує очікуваний виграш агента з урахуванням його уявлень про розподіл ймовірностей  $\mu_i(x_{-i}) \in \Delta(X_{-i})$  дій, обіраних іншими агентами, і розподілі ймовірностей  $q_i(\theta) \in \Delta(\Omega)$  стану природи (отримаємо Байесов принцип прийняття рішень) [3]:

$$p_i(\mu_i(\cdot), q_i(\cdot), \cdot) \in x_i(X_{-i}^B, \bar{\Omega}_i) \in \\ \in \operatorname{Arg} \max_{p_i \in \Delta(X_i)} \int_{X' \times \Omega} f_i(\theta, x_i, x_{-i}) p_i(x_i) q_i(\theta) \mu_i(x_{-i}) d\theta dx, \\ i \in N.$$

Таким чином, для реалізації суб'єктивної рівноваги потрібна мінімальна інформованість агентів – кожний з них повинен знати свою цільову функцію  $f_i(\cdot)$  і допустимі множини  $\Omega$  і  $X'$ . Однак при такій інформованості сукупність припущення агентів про стан природи і про поведінку опонентів можуть бути неузгодженими. Для досягнення узгодженості, тобто для того, щоб припущення виправдовувалися, необхідні додаткові припущення

про взаємну інформованості агентів. Найбільш сильним є припущення про загальне знання, яке перетворює суб'єктивну точкову рівновагу в рівновагу Неша, а сукупність Баєсових принципів прийняття рішень – в рівновагу Баєса-Неша.

*Рівновага Баєса-Неша.* Якщо в грі є неповна інформація [3], то Баєсова гра описується таким набором:

- множиною  $N$  агентів;
- множиною  $K'$  можливих типів агентів, де тип  $i$ -го агента  $k_i \in K_i$ ,  $i \in N$ , вектор типів  $k = (k_1, k_2, \dots, k_n) \in K' = \prod_{i \in N} K_i$ ;
- множиною  $X' = \prod_{i \in N} X_i$  допустимих векторів дій агентів;
- набором функцій корисності  $u_i : K' \times X' \rightarrow \mathbb{R}^1$ ;
- уявленнями  $\mu_i(\cdot | k_i) \in \Delta(K_{-i})$ ,  $i \in N$ , агентів.

Рівновага Баєса-Неша у грі з неповною інформацією визначається як набір стратегій агентів виду  $\sigma_i : K_i \rightarrow X_i$ ,  $i \in N$ , які максимізують відповідні очікувані корисності

$$U_i(k_i, \sigma_i(\cdot), \sigma_{-i}(\cdot)) = \\ = \int_{k_{-i} \in \prod_{j \neq i} K_j} u_i(k, \sigma_i(k_i), \sigma_{-i}(k_{-i})) \mu_i(k_{-i} | k_i) dk_{-i}, \\ i \in N.$$

У Баєсових іграх, як правило, передбачається, що подання  $\{\mu_i(\cdot | \cdot)\}_{i \in N}$  є загальним знанням. Для цього, зокрема, досить, щоб вони були узгоджені, тобто виводилися кожним з агентів за формулою Баєса з розподілу  $\mu(k) \in \Delta(K')$ , яке є загальним знанням.

Вище розглянуто деякі концепції вирішення некооперативних ігор. Наведемо основні поняття кооперативних ігор, що моделюють взаємодію агентів, які мають можливість утворювати коаліції, і в рамках цих коаліцій домовлятися про дії, що обираються, передозподіляти корисність і т.д.

#### Кооперативні ігри

Кооперативна гра задається множиною гравців  $N \in \{1, \dots, n\}$  і характеристичною функцією  $v : 2^N \rightarrow R$ , що ставить у відповідність кожній коаліції гравців  $S \subseteq N$  її виграш.

Поділом гри  $(N, v)$  називається вектор  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , для якого  $\sum_{i \in N} x_i = v(N)$  (властивість ефективності),  $x_i \geq v(\{i\})$ ,  $i \in N$  (властивість індивідуальної раціональності).

Рішенням кооперативної гри називається множина поділів, які реалізовуються при раціональній поведінці гравців. Різні концепції

вирішення кооперативних ігор відрізняються припущеннями про раціональну поведінці гравців.

Кажуть, що поділ  $x$  домінує поділ  $y$  по коаліції  $S$  ( $x \succ_S y$ ), якщо  $\forall i \in S \quad x_i > y_i$ ,  $\sum_{i \in S} x_i \leq v(S)$ . Якщо існує така коаліція  $S$ , що  $x \succ_S y$ , кажуть, що поділ  $x$  домінує поділ  $y$ . Множина недомініруемых поділів гри називається її  $C$ -ядром.

Для заданої множини гравців  $N$  збалансованим покриттям називається таке відображення  $\delta_S$  множини власних коаліцій  $2^N \setminus \{N\}$  у відрізок  $[0, 1]$ , що  $\sum_{S \in \delta_S} \delta_S = 1$  для всіх гравців  $i \in N$  (підсумування ведеться за власними коаліціями, що містять гравця  $i$ ).

Необхідні і достатні умови непустоти  $C$ -ядра даються теоремою О. М. Бондаревої:  $C$ -ядро гри  $(N, v)$  не порожнє тоді і тільки тоді, коли для будь-якого збалансованого покриття  $\delta_S$

$$\sum_{S \in \delta_S} \delta_S v(S) \leq v(N).$$

Ігри з непустим  $C$ -ядром називаються збалансованими.

Кооперативна гра називається несуттєвою, якщо для довільної коаліції  $S \subseteq N$   $v(S) = \sum_{i \in S} v(\{i\})$ , в іншому випадку гра називається істотною. Неістотність ігри означає нульовий ефект від кооперації гравців.

Ігрова ситуація є сильною рівновагою Неша, якщо жодна коаліція не може виграти, відхиляючись від рівноважної ситуації. Множина сильних рівноваг Неша може виявитися порожньою, однак якщо в деякій грі з трансферельною корисністю гравців мається єдина сильна рівновага Неша, то відповідна кооперативна гра буде несуттєвою.

Концепція рішень в погрозах і контрпогрозах заснована на наступній ідеї. Нехай, наприклад, в процесі гри трьох осіб утворилася коаліційна структура  $\{\{1, 2\}, \{3\}\}$ , що містить коаліцію  $T = \{1, 2\}$ , в яку входять гравці з номерами 1 і 2. При розподілі доходу коаліції  $v(\{1, 2\})$  гравці 1 і 2 отримують суми  $x_1$  і  $x_2$  відповідно. Тоді, якщо гравець 1 незадоволений таким розподілом, він може сказати своєму партнерові, що, якщо його частка доходу не буде збільшена, то він сформує коаліцію  $S = \{1, 3\}$ , де зможе розраховувати на більший виграш. Якщо така коаліція  $S$  може утворитися, тобто якщо гравцеві 3 вигідно змінити конфігурацію  $x$  на нову конфігурацію  $y$ , то така заява називається загрозою гравця 1 гравцю 2. У свою чергу, гравець 2 може заявити гравцеві 1, що у випадку подібних його дій він може запропонувати гравцеві 3 таку конфігурацію  $z$  коаліційної

структурі  $\{\{1\}, \{2, 3\}\}$ , що гравець 3 отримає більший дохід, ніж у конфігурації  $y$ , а сам гравець 2 отримає не менше, ніж у вихідній конфігурації  $x$ . Таким чином, гравець 2 висуває контрпогрозу, яка «захищає» його частку  $x_2$ .

Тоді розподіл виграшу коаліцій деякої коаліційної структури між своїми учасниками є рівновагою в погрозах і контрпогрозах, якщо на кожну загрозу довільної коаліції  $K$  проти будь-якої іншої коаліції  $L$  знайдеться контрпогроза коаліції  $L$  проти коаліції  $K$ .

### *Ієрархічні ігри*

Якщо в розглянутих досі моделях ігровий невизначеності передбачалося, що гравці (агенти) вибирають свої стратегії одночасно і одноразово, то в ієрархічних іграх [4, 5] існує фіксований порядок ходів – перший хід робить центр, потім свої стратегії вибирають агенти. З цієї точки зору ієрархічні ігри є найбільш адекватним апаратом опису задач управління організаційними системами.

Для ієрархічних ігор характерне використання максимального гарантованого результату (МГР) в якості базової концепції вирішення гри. При цьому «песимістичність» МГР (взяття мінімуму по множині невизначених параметрів) компенсується можливістю передачі інформації між гравцями, що, очевидно, знижує невизначеність при прийнятті рішення.

Критерій ефективності (цільові функції) першого і другого гравців позначимо  $w_1 = f_1(x_1, x_2)$  і  $w_2 = f_2(x_1, x_2)$  відповідно. Виграші гравців залежать від їхніх дій  $x_1$  і  $x_2$  з множин дій  $X_1^0$ ,  $X_2^0$ .

У всіх моделях ієрархічних ігор вважається, що перший гравець (центр) має право першого ходу. Його хід полягає у виборі стратегії  $\tilde{x}_1$ . Поняття стратегії істотно відрізняється від поняття дій і тісно пов'язане з поінформованістю першого гравця про поведінку другого гравця – агента. Під стратегією гравця тут і далі розуміється правило його поведінки, тобто правило вибору конкретної дії в залежності від змісту і конкретного значення тієї інформації, яку він отримає в процесі гри. Вибирати ж власне дію центр може і після вибору дій агентом.

Найпростіша стратегія центру полягає у виборі безпосередньо дії  $x_1$  (якщо надходження додаткової інформації про дію агента в процесі гри не очікується), більш складна – у виборі функції  $\tilde{x}_1(x_2)$  (якщо в процесі гри очікується інформація про дію агента). Також стратегія центру може полягати в повідомленні агенту деякої інформації, наприклад, інформації про плани своєї поведінки в залежності від вибору агентом дій. При цьому агент повинен бути впевнений, що перший гравець може реалізувати цю стратегію, тобто що перший гравець буде точно знати реалізацію дій  $x_2$  на момент вибору своєї дії  $x_1$ .

Наприклад, якщо агент (що вибирає стратегію другим) не очікує інформації про дію центру, то реалізація права першого ходу центру може полягати в повідомленні центром агенту функції  $\tilde{x}_1(x_2)$ . Таке повідомлення може розглядатися, як обіцянка вибрати дію  $x_1 = \tilde{x}_1(x_2)$  при виборі агентом дії  $x_2$ . Тоді стратегія агента полягає у виборі дії залежно від повідомлення центру  $x_2 = \tilde{x}_2(\tilde{x}_1(\cdot))$ . Якщо при цьому агент довіряє повідомленням центру, він повинен вибрати дію  $x_2^*$ , що реалізує

$$\max_{x_2 \in X_2^0} f_2(\tilde{x}_1(x_2), x_2).$$

Гра з описаним вище порядком функціонування називається для стисlostі грою  $\Gamma_2$  [6].

Якщо центр не очікує інформації про дію агента, і це відомо агенту, то стратегія центру полягає, як вже було сказано, просто з вибору деякого дії  $x_1^*$ . Стратегія агента полягає у виборі  $x_2 = \tilde{x}_2(x_1^*)$  (він робить хід другим, вже знаючи дію центру). Така гра називається грою  $\Gamma_1$  [6].

Розглянемо спочатку гру  $\Gamma_1$ . Пара дій  $(x_1^*, x_2^*)$  у грі  $\Gamma_1$  називається рівновагою Штакельберга, якщо

$$x_1^* \in \operatorname{Arg} \max_{x_1 \in X_1^0, x_2 \in R_2(x_1)} f_1(x_1, x_2), \quad (2)$$

$$x_2^* \in R_2(x_1^*) = \operatorname{Arg} \max_{x_2 \in X_2^0} f_2(x_1^*, x_2), \quad (3)$$

тобто  $R_2(x_1)$  – функція найкращої відповіді агента на дію центру.

Рівновага у грі  $\Gamma_1$  відрізняється від рівноваги Штакельберга (2) тим, що при визначенні оптимальної стратегії першого гравця обчислюється мінімум по множині  $R_2(x_1)$ :

$$x_1^* \in \operatorname{Arg} \max_{x_1 \in X_1^0} \min_{x_2 \in R_2(x_1)} f_1(x_1, x_2).$$

У грі  $\Gamma_1$  агент вибирає дію в умовах повної інформованості, вже знаючи дію центру. Максимізація виграшу вибором своєї дії є тут окремим випадком застосування принципу МГР. Рівноважна по Штакельбергу дія центру також дає йому гарантований результат, якщо центр впевнений в тому, що агент вибирає свою дію відповідно до (3) і принципом доброзичливості.

Таким чином, рівноважні стратегії як центру, так і агента, є для них і такими, що гарантують.

Однак ситуація, коли перший хід дає перевагу, все ж таки більш типова. Тоді, якщо порядок ходів визначається самими гравцями, між ними виникає боротьба за лідерство. Грі двох осіб в нормальний формі можна поставити у відповідність дві гри  $\Gamma_1$  (ігри першого порядку), що відрізняються послідовністю ходів. Тоді боротьба за лідерство (перший хід) визначається вигідністю переходу від вихідної гри до якої-небудь з ієрархічних ігор першого порядку. Відомо [1], що, якщо в грі двох осіб існують хоча б дві різних оптимальних за Парето рівноваги Неша, то в цій грі має місце боротьба за перший хід.

Тим не менш, у багатьох випадках відповідна грі  $\Gamma_1$  поведінка центру не можна назвати ефективною. Тому, коли центр спостерігає дію агента, він зацікавлений повідомити агенту про свої плани щодо вибору дії залежно від дії агента, реалізуючі тим самим гру  $\Gamma_2$ .

Далі наводиться формулювання теореми про максимальний гарантований результат центру в грі типу  $\Gamma_2$ . До цієї грі зводяться багато моделей управління. Визначимо необхідні для формулювання теореми поняття.

Цільові функції гравців:  $w_1 = f_1(x_1, x_2)$ ,  $w_2 = f_2(x_1, x_2)$  неперервні на компактних множинах  $x_1 \in X_1^0$ ,  $x_2 \in X_2^0$  допустимих дій.

Стратегія центру –  $\tilde{x}_1 = \tilde{x}_1(x_2)$ , тобто передбачається наступний порядок функціонування: гравець 1, володіючи правом першого ходу, повідомляє гравцеві 2 план вибору своєї стратегії залежно від обраної гравцем 2 стратегії  $x_2$ . Після цього другий гравець вибирає дію  $x_2$ , максимізуючи свою цільову функцію з підставленої туди стратегією першого гравця, а потім перший гравець – дію  $\tilde{x}_1(x_2)$ .

Стратегія покарання  $x_1'' = x_1''(x_2)$  визначається з умови

$$f_2(x_1''(x_2), x_2) = \min_{x_1 \in X_1^0} f_2(x_1, x_2).$$

Якщо стратегії покарання декілька, то оптимальною стратегією покарання називають ту з них, на якій досягається максимум виграшу першого гравця.

Гарантований результат другого гравця (при використанні першим гравцем стратегії покарання) дорівнює

$$L_2 = \max_{x_2 \in X_2^0} f_2(x_1''(x_2), x_2) = \max_{x_2 \in X_2^0} \min_{x_1 \in X_1^0} f_2(x_1, x_2).$$

Множина дій другого гравця, що забезпечують йому максимальний виграш при використанні першим гравцем стратегії покарання:

$$E_2 = \left\{ x_2 \mid f_2(x_1^*(x_2), x_2) = L_2 \right\}.$$

Множина досяжності  
 $D = \left\{ (x_1, x_2) : f_2(x_1, x_2) > L_2 \right\}$  – це договірна множина гри, що розглядається, тобто множина поєднань стратегій першого і другого гравців, які гарантували б другому результат, суворо більший того, що той може отримати навіть при найгірших для нього діях першого гравця (тобто при використанні першим гравцем стратегії покарання).

Найкращий результат першого гравця на множині досяжності

$$K = \begin{cases} \sup_{(x_1, x_2) \in D} f_1(x_1, x_2), & D \neq \emptyset, \\ -\infty, & D = \emptyset. \end{cases}$$

Належність ситуації множині досяжності гарантує реалізованість цього результату шляхом використання стратегії покарання.

Дія першого гравця, що реалізує  $K - \varepsilon$  при виборі другим гравцем рекомендованої дії з  $D$ :

$$f_1(x_1^\varepsilon, x_2^\varepsilon) \geq K - \varepsilon, \quad (x_1^\varepsilon, x_2^\varepsilon) \in D \neq \emptyset.$$

$$M = \inf_{x_2 \in E_2} \sup_{x_1 \in X_1^0} f_1(x_1, x_2) \quad – гарантований$$

результат центру при застосуванні ним стратегії покарання (так як стратегії другого гравця обмежені множиною  $E_2$ ).

Стратегія  $x_1^{ae}(x_2)$  реалізує (з точністю  $\varepsilon$ ) найкращу відповідь центру на дію  $x_2$  агента ( $\varepsilon$ -домінантна стратегія), тобто

$$f_1(x_1^{ae}(x_2)) \geq \sup_{x_1 \in X_1^0} f_1(x_1, x_2) - \varepsilon.$$

*Теорема Ю. Б. Гермейера* [2]. У зазначених умовах найбільший гарантований результат центру дорівнює  $\max[K, M]$ . При  $K > M$   $\varepsilon$ -оптимальна стратегія центру

$$\tilde{x}_1^\varepsilon(x_2) = \begin{cases} x_1^\varepsilon, & \text{при } x_2 = x_2^\varepsilon, \\ x_1^*(x_2), & \text{при } x_2 \neq x_2^\varepsilon. \end{cases}$$

При  $K \leq M$  оптимальна стратегія центру полягає у застосуванні оптимальної стратегії покарання.

Якщо центр не планує самостійно отримати інформацію про дію агента, він може першим вибрати дію, реалізуючі гру  $\Gamma_1$ . Однак йому можна порекомендувати і більше складну поведінку. Центр може попросити агента повідомити йому свою стратегію  $x_2 = \tilde{x}_2(x_1)$ , яка заснована на очікуваній агентом інформації про дію центру. Реалізація права першого ходу центром полягає в цьому випадку в повідомленні агенту стратегії  $\tilde{x}_1(\tilde{x}_2(x_1))$ . Цю стратегію можна інтерпретувати, як обіцянку центру вибрати дію  $\tilde{x}_1(\tilde{x}_2(x_1))$  за умови, що агент обіцяє вибирати свою дію відповідно до  $\tilde{x}_2(x_1)$ . Так утворюється гра  $\Gamma_3$ .

Якщо центр визначає порядок обміну інформацією, він може вибирати, грati йому  $\Gamma_1$  чи  $\Gamma_3$ . В обох іграх центр змушений вибирати дію, не знаючи дії, обраної агентом. Можна вважати  $\Gamma_3$ , в деякому роді, ускладненням гри  $\Gamma_1$ .

Аналогічно тому, як, за допомогою утворення додаткової «петлі зворотного зв'язку», з  $\Gamma_1$  була утворена  $\Gamma_3$ , можна ускладнити і гру  $\Gamma_2$ . Так утворюється гра  $\Gamma_4$ . У ній агент, очікуючи від центру, як і в  $\Gamma_2$ , інформацію виду  $\tilde{x}_1(x_2)$ , формує і повідомляє центру свою стратегію  $\tilde{x}_2(\tilde{x}_1)$ . Центр, який має право первого ходу, користується стратегіями  $\tilde{x}_1(\tilde{x}_2)$ , які визначають, яку функцію  $\tilde{x}_1(x_2)$  вибере центр залежно від повідомлення агента  $\tilde{x}_2$ .

Таким же способом можна на основі  $\Gamma_3$  побудувати гру  $\Gamma_5$ , і так далі. У кожній з побудованих парних ігор  $\Gamma_{2m}$ ,  $m = 1, 2, \dots$ , центр використовує в якості стратегій відображення множини стратегій агента в цій грі на множину стратегій центру в грі  $\Gamma_{2m-2}$ . Аналогічно, стратегіями агента є відображення множини стратегій центру в  $\Gamma_{2m}$  на множину стратегій агента в грі  $\Gamma_{2m-2}$ .

Таку рефлексію можна було б нарощувати нескінченно, переходячи до все більш складних схем обміну інформацією, якби розгляд цих ігор збільшувало виграш центру. Проте має місце наступний результат.

*Теорема Н. С. Кукушкіна* [6]. Максимальний гарантований результат центру в грі  $\Gamma_{2m}$  при  $m > 1$  дорівнює максимальному гарантованому результату центру в грі  $\Gamma_2$ . В іграх ж  $\Gamma_{2m+1}$  при  $m > 1$  максимальний гарантований результат центру дорівнює його максимальному гарантованому результату в грі  $\Gamma_3$ .

Таким чином, при дослідженні гарантованого результату центру можна обмежитися дослідженням тільки ігор  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  і  $\Gamma_3$ . Крім того, відомо [6], що максимальний гарантований результат центру в грі  $\Gamma_2$  не менше його гарантованого результату в грі  $\Gamma_3$ , а той, у свою чергу, не менше гарантованого виграшу в грі  $\Gamma_1$ . Цей результат показує, що  $\Gamma_2$  є «ідеальною» грою для центру. Відповідно, якщо центр має можливість визначати порядок і зміст обміну інформацією, і, крім того, при виборі своєї дії знає дію, вибрану агентом, він повинен грати  $\Gamma_2$ . Якщо центр на момент вибору своєї дії не знає дії агента – йому найбільш вигідна гра  $\Gamma_3$ .

**Висновки.** На практиці часто доводиться стикатися з задачами, в яких необхідно приймати рішення в умовах невизначеності, тобто виникають ситуації, в яких дві (або більше) сторони переслідують різні цілі, а результати будь-якої дії кожної зі сторін залежать від заходів партнера. Такі ситуації відносяться до конфліктних: результат кожного ходу гравця залежить від відповідного ходу супротивника, мета гри – виграти одного з партнерів. В економіці конфліктні ситуації зустрічаються дуже часто і мають різноманітний характер. До них відносяться, наприклад, взаємини між постачальником і споживачем, покупцем і продавцем, банком і клієнтом. У всіх цих прикладах конфліктна ситуація породжується відмінністю інтересів партнерів і прагненням кожного з них приймати оптимальні рішення, які реалізують поставлені цілі найбільшою мірою. При цьому кожному доводиться рахуватися не тільки зі своїми цілями, але і з цілями партнера, і враховувати невідомі заздалегідь рішення, які ці партнери будуть приймати. В останні роки значення теорії ігор істотно зросло в багатьох областях економічних і соціальних наук. В економіці вона застосована не тільки для вирішення загальногосподарських задач, але і для аналізу стратегічних проблем підприємств, розробок організаційних структур і систем стимулювання.

#### Література

- Губко М. В. Теория игр в управлении организационными системами / М. В. Губко, Д. А. Новиков. – М.: Синтег, 2002. – 148 с.
- Новиков Д. А. Рефлексивные игры / Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. – М.: Синтег, 2003. – 160 с.
- Myerson R. B. Game theory: analysis of conflict / R. B. Myerson. – London: Harvard Univ. Press, 1991. – 568 p.
- Горелик В. А. Анализ конфликтных ситуаций в системах управления / В. А. Горелик, М. А. Горелов, А. Ф. Кононенко. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.

- Кононенко А. Ф. Принятие решений в условиях неопределенности / А. Ф. Кононенко, А. Д. Халезов, В. В. Чумаков. – М.: ВЦ АН СССР, 1991. – 211 с.
- Гермейер Ю. Б. Игры с непротивоположными интересами / Ю. Б. Гермейер. – М.: Наука, 1976. – 327 с.

#### References

- Gubko M. V. Teoriya igr v upravlenii organizacionnymi sistemami / M. V. Gubko, D. A. Novikov. – M.: Sinteg, 2002. – 148 s.
- Novikov D. A. Refleksivnye igry / D. A. Novikov, A. G. Chhartishvili. – M.: Sinteg, 2003. – 160 s.
- Myerson R. B. Game theory: analysis of conflict / R. B. Myerson. – London: Harvard Univ. Press, 1991. – 568 p.
- Gorelik V. A. Analiz konfliktnykh situacij v sistemah upravlenija / V. A. Gorelik, M. A. Gorelov, A. F. Kononenko. – M.: Radio i svjaz', 1991. – 288 s.
- Kononenko A. F. Prinjatije reshenij v uslovjakh neopredelennosti / A. F. Kononenko, A. D. Halezov, V. V. Chumakov. – M.: VC AN SSSR, 1991. – 211 s.
- Germejer Ju. B. Igry s neprotivopolozhnymi interesami / Ju. B. Germejer. – M.: Nauka, 1976. – 327 s.

**Іє О. Н., Онопченко С. В. Использование теории игр в экономике.**

В статье представлено полное описание основных понятий и моделей теории игр. В том числе кратко рассматриваются: некооперативные игры, кооперативные игры и иерархические игры.

**Ключевые слова:** теория игр, центр, агент, выигрыши, Равновесие Нэша, стратегия, принятие решений.

**Іє О. Н., Onopchenko S. V. The use of game theory in economics.**

The article presents a complete description of the basic concepts and models of game theory. Including briefly considered: non-cooperative games, cooperative games and hierarchical games.

**Key words:** game theory, the center, agent, prize, Nash equilibrium, the strategy, decision making.

**Іє Ольга Миколаївна,** к. ф. м. н., доцент, кафедра математичного аналізу та алгебри Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, olgaie@mail.ru

**Онопченко Світлана Володимирівна,** к. пед. н., доцент, кафедра інформаційних технологій та систем Луганського національного університету імені Тараса Шевченка

Рецензент: **Рач В. А.**, д. т. н., професор.

Стаття подана 15.03.2013

УДК 681.5

## МЕТОДОЛОГІЯ СТРУКТУРНО-КЛАСИФІКАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ТЕРІТОРІЙ

Райко Г. О., Ігнатенко Г.А.

### THE METHODOLOGY OF STRUCTURAL AND CLASSIFICATION ANALYSIS IN THE REGION COMPETITIVE CAPACITY MANAGEMENT

Rajko G., Ignatenko G.

Розглянуто методологію структурно-класифікаційного аналізу в управлінні конкурентоспроможністю території. Основою статті є визначення критерій якості класифікації та розгляд задачі комбінованої кускової апроксимації. На підставі сформульованих вимог до процедури апроксимації виробничих функцій визначені методологічні положення, базовий відрізок лінійної функції витрат, що має максимальне значення похідної. У більшості випадків цей відрізок включає лінійну частину апроксимуючої функції суккупних витрат; формування інших відрізків кусково-апроксимуючих функцій повинні відповідати вимогам обмежень на похибку апроксимації всієї виробничої функції, що розподіляється поміж адитивними складовими, та має бути алгоритмізованим у процедурному відношенні.

**Ключові слова:** структурна класифікація, кусково-лінійна апроксимація.

**Вступ.** На сьогоднішній день фінансово-економічна криза, яка найбільш загострилася на території України, в багатьох державах світу, стала індикатором того, що експерти різних напрямків є неспроможними, в світовому масштабі, осмислити та описати принципи функціонування сучасної економічної системи та її компонентів, прогнозувати поведінку та взаємодію процесів та закономірностей, що відбуваються. Багато експертів, що досліджують дану проблематику, сходяться в думках про те, що дане кризове явище є кризою свідомості людей, а єдиного універсального рецепту його подолання не існує.

Стає очевидним, що зневажливе ставлення до проблематики макроекономічного рівня та напрямків виходу із кризи може привести до неминучого краху економічної системи, тому актуальним перед світовою громадськістю гостро стає питання про стійкий розвиток економіки територій, при якому б ризик дефолту був би мінімальним [1].

Дослідження циклічності розвитку макроекономічних систем відзначенні в роботах М.Д. Кондрат'єва, які підтвердженні аналізом історичних

фактів, про те, що напівперіоди зростаючих хвиль великих циклів, як правило, збагачені значими соціальними потрясіннями та переворотами в житті суспільства (революції, війни та інше), чим напівперіоди спадаючих хвиль. Світова фінансово-економічна криза (2008-2009 рр.) підтвердила факт того, що реальна економічна система розвивається циклічно і не може знаходитися в стані рівноваги тривалий час (не більше 50-60 років, згідно теорії великих циклів Кондрат'єва [2]).

В основі стійкості розвитку макросистеми лежать поняття: рівноважна динаміка - знаходження системи в стані рівноваги впродовж часу; нерівноважна динаміка - розвиток, при якому система прагне до рівноважного стану, але не знаходиться в ньому в кожен момент часу. Виникає необхідність визначення поняття економічної рівноваги - стан економічної системи, при якому пропорції в народному господарстві забезпечують оптимальну узгодженість мети економічного розвитку та доступних ресурсів, попиту та пропозиції, товарних і грошових потоків, накопичення та споживання, збереження та накопичення, інших елементів і показників системи, а головне - відсутність економічних криз [3].

Існують різні визначення поняття стійкого розвитку економічної системи. В даному контексті, зокрема, стійкий розвиток економічної системи - безперервний процес створення оптимальної прибуткової взаємодії між усіма елементами із ефективними зв'язками, що дозволяють максимально довго підтримувати життєво важливі параметри діяльності системи на рівноважному рівні, необхідному для досягнення цілей, ефективно та своєчасно протидіяти дії збурень циклів зовнішнього середовища [4].

Якщо розглянути поняття стійкого розвитку економічної системи на мезорівні, тобто у регіональному вимірі, стійкість розвитку всієї системи забезпечується за рахунок стійкого розвитку її найменшого елемента (території), з

точки зору економічної інтерпретації - конкурентоспроможністю території.

Конкурентоспроможність території визначається конкурентоспроможністю суб'єктів господарювання, що ідентифікуються із певною територією та формується у логічну послідовність понять: конкурентне середовище - конкурентоспроможні економічні суб'єкти господарювання - конкурентна територія. У своїй статті автори дотримуються досить сталого поняття до визначення поняття «конкурентоспроможність території» - це зумовлений економічними, соціальними, природними та політичними та іншими факторами стан території, його окремих товаровиробників на внутрішньому та зовнішньому ринках, який визначається показниками (індикаторами), що адекватно характеризують цей стан та динаміку. Важливим аспектом конкурентоспроможності є забезпечення якості життя мешканців певної території.

Система управління територією є процес оптимізації розвитку складної, соціально-демографічної, економічної, просторової, екологічної складових підсистем, що доцільно представити у вигляді послідовності задач, що формуються за семантичними, методичними та інформаційними ознаками, і пов'язані між собою прямыми та зворотними інформаційними різнометровими потоками.

Загальною методологічною основою є досвід та теоретичні результати, отримані вітчизняними та зарубіжними вченими: Глушковим В.М., Згурівським М.З., Поспеловим Г.С., Дж.Моррісом, Р. Акоффом, Ф.Эмері, Месаровичем М.Д., Скурихіним В.І., Модіним А.А., Яковенком Є.Г., Соломатіним В.В., Цвіркуном А.Д., Бурковим В.М., Годлевським М.Д., Петровим Е.Г., Забродським В.А. та ін. Методологія організації та функціонування, проблеми виробничо-економічних систем промисловості регіону досліджувалися в працях багатьох вітчизняних економістів: Алимова О.М., Амоші О.І., Борщевського П.П., Гейця В.М., Герасимчука М.С., Данилишина Б.М., Дорогунцова С.І., Кухленка О.В., Паламарчука В.О., Паламарчука О.М., Покропивного С.Ф., Столярова В.Ф., Сухорукова А.І., Тарасової Н.В., Хачатурова Т.С., Чумаченко М.Г., Швиданенко Г.О. та ін.

Територія - регіон, обмежена частина земної поверхні в природних, державних, адміністративних або умовних межах: визначається протяжністю, як специфічним видом «просторового» ресурсу, площею, географічним розташуванням, природними умовами, господарською освоєністю. Територія є об'єктом конкретної діяльності.

Регіон - велика індивідуальна територіальна одиниця (наприклад, природна, економічна, політична тощо), дещо відмінна від існуючого політичного або адміністративного поділу. Також під регіоном іноді розуміють певну територію, що відрізняється від інших територій за низкою ознак і

володіє деякою цілісністю, взаємозв'язаністю складових її елементів [5].

Процес розробки регіональної стратегії соціально-економічного розвитку території передбачає вибір пріоритетів, що є конкурентними на внутрішніх та зовнішніх ринках. Цей вибір повинен базуватись на результатах діагностики природно-ресурсного потенціалу та оцінки ефективності всього організаційно-економічного механізму функціонування та господарського комплексу території в цілому. Тому програма реалізації стратегії соціально-економічного розвитку території повинна базуватися на тому, що її векторним напрямком є конкурентоспроможність території, а базовим пріоритетом є якість життя населення. Отже, необхідно враховувати фактори, які зумовлюють підвищення конкурентоспроможності та розробляти відповідні організаційно-економічні механізми її забезпечення.

В основі формування стратегії соціально-економічного розвитку території лежить комплексний аналіз всіх можливих параметрів, що сформовані в деякий масив даних, яких описує стан даної території. Тобто маємо  $k$  параметрів (числових, якісних, номінальних, значення яких  $x_{ij}^{(t)}, i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, n$ ) та визначає цей масив як матрицю даних. В динамічних випадках значення параметрів змінюються у часі  $x_{ij}^{(t)}$ . Необхідно визначити структуру масиву для побудови стислого, змістового опису досліджуваних об'єктів із метою: ідентифікації основних характеристик функціонування, розрахунок та прогнозування інтегральних показників поведінки об'єктів у часі, пошук взаємозалежностей їх взаємодії та інше.

**Основний матеріал.** Всі об'єкти, що входять до складу інтегральної оцінки території, складають деяку множину  $n$ , що утворюють за своїми властивостями  $N$  класів (об'єкти із близькими якостями попадають в один клас). Кожен об'єкт характеризується набором із  $k$  параметрів  $\{x_{1j}, \dots, x_{kj}\}$ , що достатньо повно відображає властивості об'єктів.

У розглянутому к-мірному просторі параметрів  $X$  і-ї осі відповідає значення параметра  $x_{ij}^{(t)}$ , тобто  $j$ -тому об'єкту, в просторі  $X$  відповідає точка  $x_j = (x_{1j}^{(t)}, \dots, x_{kj}^{(t)})$ . Таким чином, близьким у просторі  $X$  точкам будуть відповідати об'єкти із близькими властивостями. Тоді задачу визначення структури об'єктів можна представити як задачу розбиття простору  $X$  характеристик діяльності території на такі  $r$  класів, щоб близькі точки вихідної вибірки даних потрапляли в одну область [6].

Приймаючи до уваги вищезазначені припущення, доцільним являється визначення критерію якості розбиття на класи:

$$R = \sum_{i=1}^k R_i \iint_{A_i(A)} s(x, y) P(x|i) P(y|i) dx dy \quad (1)$$

де  $s(x, y)$  - втрати від віднесення параметрів точок  $x$  та  $y$  до одного класу  $A_i$ ;

$P(x|i)$  - умовна щільність розподілу ймовірностей у класі  $A_i$ ;

$R_i$  - апріорна ймовірність класу  $A_i$ .

Розглядаючи випадок кінцевої класифікаційної множини точок із квадратичною функцією втрат  $s(x, y) = (x - y)^2$  критерій (1) набуває вигляду середньозваженої дисперсії точок у вищезазначених класах  $R(i) = \sum_{j=1}^k \sum_{x_j \in A_i} (x_j - c_i)^2$ , де  $c_i$  - центр тяжіння точок в класі  $A_i$ .

Важливим являється визначення критеріїв якості класифікації, що базуються на характеристиках середньої близькості точок в класах та середньої близькості (віддаленості) самих класів:  $I = f(I_1, I_2)$ , причому  $I$  має збільшуватися із збільшенням  $I_1$  та зменшуватися із зменшенням  $I_2$

$$I_1 = I_1 - qI_2, \quad I_2 = \frac{I_1}{I_2}, \quad I_3 = \frac{I_1 - qI_2}{I_1 + qI_2} \quad (2)$$

$q$  - деяка константа, що корегує різномасштабність величин  $I_1$  та  $I_2$ .

У (2) критерій  $I_1$  - середня за класами міра близькості точок в класах

$$I_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k K(A_i, A_i),$$

$$\text{де } K(A_i, A_j) = \frac{1}{n_i(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} K(x_i, x_j)$$

; критерій  $I_2$  - середня міра близькості (віддаленості) класів один від одного

$$I_2 = \frac{1}{\binom{k(k-1)}{2}} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1, j \neq i}^k K(A_i, A_j), \text{ де } K(A_i, A_j) =$$

$$\frac{1}{n_i n_j} \sum_{x_i \in A_i} \sum_{x_j \in A_j} K(x_i, x_j)$$

. Тут  $K(x, y) = \frac{1}{1 + \lambda |x - y|^p}$  - потенційна функція,  $n_i$  -

число точок в класі  $A_i$ ,  $\lambda$  та  $p$  параметри, що налаштовуються. Класифікація тим краще, чим більше  $I_1$  та чим менше  $I_2$ .

Суттєво складним являється випадок безкінечної класифікації послідовності об'єктів, де використовуються рекурентні алгоритми, при яких критерії якості класифікації (екстремум функціоналу) та сам алгоритм формулюється на основі методу потенційних функцій [7].

В просторі  $Z$  критерій якості являється частковим випадком критерію (1) для квадратичної функції втрат (випадок при  $r=2$ ) (3):

$$K_1 = \\ \int_A (Z - Z_A)^2 P(Z) dZ + \\ \int_B (Z - Z_B)^2 P(Z) dZ = \frac{(M^H)^2}{P^A} + \frac{(M^P)^2}{P^B} \quad (3)$$

де  $Z_A$  та  $Z_B$  - центри класів А та В відповідно;

$P(Z)$  - функція щільності розподілу ймовірності появи точок послідовності, що класифікується.

$M^A = \int_A Z P(Z) dZ$  - перший ненормований момент класу А,  $P^A = \int_A Z P(Z) dZ$  - апріорна ймовірність класу А (нульовий ненормований момент). Аналогічно розраховується відповідні величини класу В.

В задачах автоматичної класифікації, в загальному формульованні, досліджується випадок розмитої кваліфікації, коли замість характеристичних функцій класів, вводяться функції приналежності до класу. Розмита класифікація задається г-мірною вектор-функцією  $H(x) = (h_1(x), \dots, h_r(x))$ , де  $h_i(x)$  - функція приналежності  $x$  до  $i$ -го класу [8].

Функція  $H(x)$  задовільняє наступним умовам:  $H(x) \in L_2(X, P)$ , для будь-якого  $x$  значення  $H(x)$ , тобто  $H(x) \in V \subseteq R^k$ . Шляхом вибору обмеженої множини  $V$  можна отримати різні типи розмитості, а саме: чітку класифікацію та класифікацію із розмитими межами. Критерій якості класифікації в загальному вигляді (4):

$$\Phi = \Phi_\mu(\mu(H)), \quad (4)$$

де  $\Phi$  - випуклий функціонал,

$$\mu(H) = (\mu_1, \mu_2), i = 1, \dots, r.$$

Значна частина відомих критеріїв якості класифікації точок евклідового простору являється окремим випадком функціоналу (4).

Для дослідження виду оптимальної розмитої класифікації використовується поняття опорної розмитої класифікації  $H_p(x)$  для довільного лінійного функціоналу  $F(H): H_p(x) = \operatorname{argmax}(F(x), H)$ .

Виходячи із вищезазначеного результату можна побудувати  $H \in V$  інтеракційний алгоритм максимізації функціоналу  $\Phi = \Phi_F$  ( $\Phi_F = \Phi_2(H)$  - довільний випуклий функціонал від вектор-функції  $H(x)$ ). В основу алгоритму включаються два правила: правило надходження опорної класифікації по даному лінійному функціоналу  $F(x)$  та правило знаходження за результатами класифікації функціоналу, який був би субградієнтом вхідного функціоналу.

В більшості задач класифікаційного аналізу є необхідним класифікувати об'єкти, що однаково віддалі від усіх класів (санация може виникнути при грубих помилках спостережень або при неправильно обраному числі класів (зниженню по відношенню до істинної кількості)). Для цього вводиться спеціальний клас, в межах якого не враховується близькість об'єктів один до одного, що називається фоновим [9].

При наявності фонового класу розмита класифікація задається вектор-функцією  $H(x) = (h_0(x), h_1(x), \dots, h_r(x))$ , де  $h_0(x)$  - функція

принадлежності  $x$  до фонового класу. При дослідженні структуризації із фоновим класом додатково до вищезазначених типів розмитості даних застосовується розмита класифікація із чітким фоновим класом.

В прикладних задачах пов'язаних із апроксимацією складних взаємозв'язків, залежність  $y = f(x)$  має наступну структуру: на фоні деякої, як правило простої залежності  $y = f(x)$ , в окремих (аномальних) областях  $B_j^*$  простору  $X$  (необов'язково у всіх), спостерігаються суттєві відхилення від  $f(x)$ . В такому випадку шукану функцію  $F(x)$  доцільно представити як композицію двох функцій – глобальної складової  $f(x)$  та локальної функції відхилення від неї  $F_j(x)$  в аномальних областях  $B_j^*$ . В такому випадку апроксимуючу функцію  $F(x)$  доцільно представити у вигляді (5):

$$F(x, \alpha) = f(x, \alpha) + \sum_{j=1}^n \epsilon_j^*(x) F_j(x, \alpha), \quad (5)$$

де  $\epsilon_j^*$  - характеристична функція аномальної області  $B_j^*$  (приймає значення 1 тільки для точок цієї області). Задача знаходження такої функції формулюється як задача комбінованої кускової апроксимації.

Доцільно відмітити ще один актуальний алгоритм кусково-лінійної апроксимації другого типу, в якому аналізується не тільки відстань областей  $B_j$ , а й відстань локальної регресії  $F_j(x, \alpha_j)$  в цих областях.

Спочатку за вибірковими значеннями вхідних параметрів простір  $X$  розбивається на  $r_{\text{парт}}$  областей, де  $r_{\text{парт}} \geq r$  ( $r$  – експертна оцінка невідомого числа режимів функціонування об'єкту дослідження єдиними обмеженнями для  $r_{\text{парт}}$  є можливість побудови статистично значимої оцінки локальної лінійної регресії  $F_j(x, \alpha_j)$  для більшості областей. Ті області, для яких це неможливо здійснити, об'єднуються, виходячи із введеної міри близькості області  $B_i$  та  $B_j$ . Далі розглядається гіпотеза: апроксимації локальної регресії  $F_j(x, \alpha_j)$  та  $F_i(x, \alpha_i)$  статистично еквівалентні. Якщо гіпотеза підтверджується, то області  $B_i$  та  $B_j$  об'єднуються і, для об'єднаної області, будується апроксимація локальної регресії  $F_{ij}(x, \alpha_{ij})$ . У протилежному випадку розглядається наступна пара найближчих областей із використанням відомих критеріїв перевірки гіпотез, а саме критерій Фішера, Ст'юдента,  $\alpha^2$  - (хі-квадрат), критерій Іоу та ін.

Для структурної класифікації параметрів об'єктів системи, які формують конкурентоспроможну територію, застосовують метод апроксимації індуктивних виробничих функцій об'єктів, що може бути представлений в наближеному вигляді на підставі кусково-лінійної апроксимації елементарних сукупних витратних функцій із подальшим їх аддитивно-послідовним

об'єднанням в єдиний математичний апарат. Сформована індуктивна виробнича функція, на підставі введення похибки, здатна об'єктивно відображати всі необхідні дані для економічного дослідження активного елементу системи. Процедура комплексного оцінювання дає можливість встановити граничні відхилення за певними критеріями. Завдяки визначеності шкали зведення, відносні величини допустимих похибок можуть бути перенесеними на інтегральні показники. Після дозованої апроксимації витратних функцій можна перейти до кусково-лінійного вигляду та використання індуктивної виробничої функції [10].

Основна ідея кускової апроксимації складної залежності полягає в розбитті простору аргументів (вхідних параметрів) на такі області, в межах кожної з яких складну, усьому просторі, функцію (залежність) можна апроксимувати простими функціями.

Проводиться апроксимація залежності вихідного показника у від вектору вхідних показників вибіркою із  $n$  об'єктів:

$x = (x^{(1)}, \dots, x^{(k)}) \in X = \mathbb{R}^k$ , кожен із яких описується вектором  $(y_t, x_t) = (y_t^{(1)}, \dots, y_t^{(k)}, x_t^{(k)}) \in X = \mathbb{R}^{k+1}$ .

Задача кусково-лінійної апроксимації полягає у знаходженні такої класифікації  $H = (H_1, \dots, H_r)$  простору  $\mathbb{R}^k$ , такого вектору коефіцієнтів  $c_i = (c_i^{(1)}, \dots, c_i^{(k)})$  та константи  $d_i$ , щоб функціонал  $I = \sum_{i=1}^r \sum_{t \in H_i} [y_t - (c_i \cdot x_t + d_i)]^2$  приймав мінімальне значення. Класифікацію  $H$  задають через вектор-функцію приналежності  $(h_1(x), \dots, h_r(x))$ . Оптимальна для  $I$  класифікація залежить не тільки від вихідного, а й від вихідного показника, що є неприйнятним для прогнозних моделей.

Для отримання кусково-лінійної апроксимації із розмитою класифікацією функціонал  $I$  модифікується (6):

$$I_2 = \sum_{i=1}^r \sum_{t \in H_i} [y_t - ((c_i \cdot x_t) + d_i)]^2 \varphi(h_i(x)), \quad (6)$$

де  $\varphi(h)$  - монотонно зростаюча функція, що визначає  $\min$  розмитості оптимальної класифікації

Можна виділити три типи розмитості:  $\varphi_1(h)$  – чітка класифікація;  $\varphi_2(h) = (h)^k, k > 1$  - розмита;  $\varphi_3(h) = t - \sqrt{t^2 - (2t-1)k}, t > 1$  – із розмитими межами.

Для оптимізації функціоналу (6) використовується загальний алгоритм класифікаційного аналізу даних, що реалізує послідовне використання двоетапної процедури: на першому етапі фіксується вектор-функція  $H(x)$  та для неї знаходиться оптимальне значення коефіцієнтів лінійних моделей  $c_i, d_i$ ; на другому – ці коефіцієнти фіксуються та знаходиться оптимальна вектор-функція  $H(x)$ .

Як і для чіткої класифікації, в процес апроксимації входять не тільки вхідні, а й вихідні показники. Для видалення цього недоліку класифікацію будують по одному набору показників, а апроксимацію в кожному класі – по іншому. Тому, окрім простору вхідних показників  $X$  вводиться простір  $Z = \mathbb{R}^s$ , в якому і проводиться класифікація об'єктів, при якій частина показників в просторах  $X$  та  $Z$  можуть бути спільними. Тоді кожен об'єкт описується  $k+s+1$  параметром, тобто вектором  $(y_t, x_t, z_t)$ .

Для критерію якості класифікації також використовується середньозважена дисперсія в класах. Для простору  $Z$  цей показник виражається як функціонал від еталонів класів  $\alpha_1, \dots, \alpha_r$  та від функції приналежності  $H(Z)$ :

$$I = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^r (z_t - \alpha_i)^2 \varphi(h_i(z_t)) \quad (7)$$

В даному випадку еталони класів можуть бути довільними точками простору  $Z$ , вектор-функція  $H(Z)$  задовільняє відповідним умовам, а функція  $\varphi$  обирається із  $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$ . Мінімізація функціоналу (7) проводиться як по класифікації  $H(Z)$ , так і по вибору еталонів класів  $H = (\alpha_1, \dots, \alpha_r)$ : в оптимальному випадку еталон і-го класу співпадає із центром відповідного класу.

В ітераційному алгоритмі мінімізація функціоналу (7) центральним моментом являється поняття еталонної класифікації. Еталона класифікація це  $H^A(Z) = (h_1^A(z), \dots, h_r^A(z))$ , що забезпечує мінімум критерію якості класифікації при фіксованому наборі еталонів класів  $A = (\alpha_1, \dots, \alpha_r)$ . Якщо визначений вектор  $A = (\alpha_1, \dots, \alpha_r)$ , тоді еталонна класифікація для кожної функції  $\varphi(h)$  визначається однозначно.

Якщо є обмеження множини еталонних класифікацій  $Z$ , то задача апроксимації зводиться до мінімізації функціоналу (7), для еталонної класифікації в просторі  $Z$  класифікації  $H(x)$ . Можна представити функціонал (7) у вигляді (8):

$$H_2(A, c_1, d_1, i = 1, \dots, r) = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^r [y_t - ((c_i x_t) + d_i)]^2 \varphi(h_i^A(z_t)) \quad (8)$$

Якщо в еталонній класифікації  $(\varphi_1) = \varphi_2(t)$  або  $(\varphi_1) = \varphi_3(t)$ , то функціонал (8) диференціється за вільними параметрами. Для його локальної оптимізації можна застосувати градієнтні процедури. Недоліком локальної оптимізації є висока залежність від початкових умов, тому актуальним є розробка методів глобальної оптимізації.

Для  $A = (\alpha_1, \dots, \alpha_r)$  за допомогою методу НМК знаходяться коефіцієнти моделей  $c_i, d_i, i = 1, \dots, r$ , що мінімізують (8). Таким чином, якщо можна перевірити всі групи еталонів класів, то можна знайти глобальний мінімум зворотного

функціоналу. Якщо у  $Z$  виділити кінцеву множину  $Z_p = \{\beta_1, \dots, \beta_p\}$ , то еталони можна обирати тільки із  $Z_p$ , тоді число варіантів перебору дорівнює  $p^r$ . В якості множини  $Z_p$  можна обрати реалізацію початкової сукупності  $Z$ .

В одномірний еталонний класифікації можуть перекриватися лише сусідні класи. Тому в задачах кусково-лінійної апроксимації корисно результууючу класифікацію проектувати на вихідний параметр  $y$ , що відповідає випадку  $Z = y$ , для якого також можна використовувати алгоритм глобальної оптимізації [11].

**Результати дослідження.** Процедури апроксимації виробничих функцій повинні бути алгоритмізованими. На підставі сформульованих вимог до процедури апроксимації виробничих функцій можна визначити методологічні положення апроксимації: найбільш оптимальним методом апроксимації функцій являється метод кусково-лінійної апроксимації; базовим відрізком лінійної апроксимації повинен бути відрізок функції витрат, що має максимальне значення похідної. У більшості випадків цей відрізок включає лінійну частину апроксимуючої функції сукупних витрат; формування інших відрізків кусково-апроксимуючих функцій повинні відповісти вимогам обмежень на похідку апроксимації всієї виробничої функції, що розподіляється поміж адитивними складовими, та має бути алгоритмізованим у процедурному відношенні.

**Висновки.** У даній статті розглянута методологія структурно-класифікаційного аналізу в управлінні конкурентоспроможністю території. Особливу увагу приділено визначенням критеріїв якості класифікації та задачі комбінованої кускової апроксимації.

Однією із важливих питань на регіональному рівні залишається проблема системи державної підтримки інвестиційних проектів, що призводить до збільшення валового регіонального продукту (ВРП) та розвитку регіону, що дозволило сформувати дворівневу стратегію по зменшенню витрат оптимізаційного процесу становлення інвестиційних відносин між потенційними інвесторами та реципієнтами.

## Література

- Сайт Всесвітнього банка. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : – <http://www.worldbank.org>.
- Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения: Избр. Тр / Кондратьев Н. Д.. – М. : Экономика, 2002. – 767 с.
- Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 1. - К.: Видавничий центр «Академія», 2000. – 864 с.
- Гордеев С. С. Устойчивость как свойство экономических систем / Гордеев С.С. // Известия ИГЭА. – 2010. – № 3.
- Алаев Э. Б. Социально-экономическая география. Понятийно-терминологический словарь / Алаев Э. Б. – М. : Мысль, 1983.

6. Донателла Медоуз Пределы роста: 30 лет спустя / Донателла Медоуз, Ёрген Рандерс, Деннис Медоуз.. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 353 с..
7. Новиков Д. А. Макроэкономический анализ и экономическая политика на базе параметрического регулирования / Новиков Д. А., Ашимов А. А., Султанов Б. Т., Адилов Ж. М., Боровский Ю. В., Нижегородцев Р. М., Ашимов А. А.. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2010. – 284 с.
8. Новиков Д. А. Курс теории активных систем / Новиков Д. А., Петраков С. Н.. М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.
9. Медницкий В. Т. О декомпозиции одной задачи оптимального управления / Медницкий В. Т., Медницкий Ю.А. // Изв. РАН, ТиСУ. – 1995 - № 3. – С. 10 – 15.
10. Забродский В. А. Развитие крупномасштабных экономико-производственных систем / Забродский В. А., Кизим Н. А.. – Харьков: Бизнес Информ, 2000 – 72 с.
11. Колпаков В. М. Теория и практика принятия управленческих решений: Учеб. пособие.- 2-е изд., перераб. и доп / Колпаков В. М. - К.: МАУП, 2004. – 504 с.

#### References

1. Sajt Vsemirnogo banka. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : – <http://www.worldbank.org>.
2. Kondrat'ev N. D. Bol'shie cikly kon#junktury i teorija predvidenija: Izbr. Tr / Kondrat'ev N. D.. – M. : Jekonomika, 2002. – 767 s.
3. Ekonomichna enciklopedija: U tr'oh tomah. T. 1. - K.: Vidavnichij centr «Akademija», 2000. – 864 s.
4. Gordeev S. S. Ustojchivost' kak svojstvo jekonomicheskikh sistem / Gordeev S.S. // Izvestija IGJeA. – 2010. – № 3.
5. Alaev Je. B. Social'no-jekonomiceskaja geog-rafija. Ponjatijno-terminologicheskij slovar' / Alaev Je. B. – M. : Mysl', 1983.
6. Donatella Medouz Predely rosta: 30 let spustja / Donatella Medouz, Jorgen Randers, Dennis Medouz.. – M.: BINOM. Laboratoriya znanij, 2012. – 353 s..
7. Novikov D. A. Makrojekonomiceskij analiz i jekonomiceskaja politika na baze parametricheskogo regulirovaniya / Novikov D. A., Ashimov A. A., Sultanov B. T., Adilov Zh. M., Borovskij Ju. V., Nizhegorodcev R. M., Ashimov A. A.. – M.: Izdatel'-stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 2010. – 284 s.
8. Novikov D. A. Kurs teorii aktivnyh sistem / Novikov D. A., Petrakov S. N.. M.: SINTEG, 1999. – 104 s.
9. Mednickij V. T. O dekompoziciji odnoj za-dachi optimal'nogo upravlenija / Mednickij V. T., Mednickij Ju.A. // Izv. RAN, TiSU. – 1995 - № 3. – S. 10 – 15.
10. Zabrodskij V. A. Razvitie krupnoma-shtabnyh jekonomiko-proizvodstvennyh sistem / Zabrodskij V. A., Kizim N. A.. – Har'kov: Biznes Inform, 2000 – 72 s.
11. Kolpakov V. M. Teoriya i praktika prinja-tija upravlencheskih reshenij: Ucheb. posobie.- 2-е izd., pererab. i dop / Kolpakov V. M. - K.: MAUP, 2004. – 504 s.

**Райко Г. А., Ігнатенко Г. А. Методологія структурно-класифікаціонного аналіза в управлінні конкурентоспроможністю території.**

Рассмотрена методология структурно - классификационного анализа в управлении конкурентоспособностью территории. Основой статьи является определение критерии качества классификации и рассмотрение задачи комбинированной кусковой аппроксимации. На основании сформулированных требований к процедуре аппроксимации производственных функций определены методологические положения, базовый отрезок линейной функции затрат, имеющей максимальное значение производной. В большинстве случаев этот отрезок включает линейную часть аппроксимирующей функции совокупных расходов; формирование других отрезков кусочно - аппроксимирующих функций должны соответствовать требованиям ограничений на погрешность аппроксимации всей производственной функции, распределяющейся между аддитивными составляющими, и должна быть алгоритмизированной в процедурном отношении.

**Ключові слова:** структурна класифікація, кусочно-лінійна аппроксимація.

**Rajko G., Ignatenko G. The methodology of structural and classification analysis in the region competitive capacity management.**

The article focuses on the methodology of structural and classification analysis in the region competitive capacity management. The particular attention is paid to the study of the quality classification criteria and the definition of the object of the combined lump approximation. Methodological propositions, the basis segment of a linear cost function, which has the maximum value of the derivative, are defined on basis of the formulated requirements to the procedure of production functions approximation. In the majority of cases, this segment includes a linear part of total costs approximation function; the formation of other segments of lump approximation functions must meet the restraint requirements to the approximation error of the entire production function that is distributed among the additive components and must be built as algorithms in procedural terms.

**Key words:** structural and classification analysis, the combined lump approximation.

**Райко Галина Олександрівна** – к.т.н., доцент кафедри економічної кібернетики та управління проектами Херсонського національного технічного університету.

**Ігнатенко Галина Анатоліївна** – старший викладач кафедри економічної кібернетики та управління проектами Херсонського національного технічного університету.

Рецензент: **Рамазанов С.К.**, д.т.н., д.е.н., професор.

Статтю подано 19.03.14

**ВІСНИК  
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
№ 5 (212) 2014**

**Науковий журнал**

Відповідальний за випуск                    Марченко Д.М.

Оригінал-макет                                    Донченко В.Ю.

Підписано до друку 11.06.2014 р.  
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 20,7. Обл. друк. арк. 22,9.  
Наклад 300 прим. Вид. № 3035. Ціна вільна.

Видавництво  
Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

**Адреса університета:** просп. Радянський 59-А  
м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна  
**E-mail:** vidavnictvoSNU.ua@gmail.com

**Надруковано у видавництві Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля**

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.  
просп. Радянський 59-А, м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна  
**E-mail:** vidavnictvoSNU.ua@gmail.com