

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: Інформатика та моделювання

№ 35 (1078) 2014

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 році

Харків
НТУ "ХПІ", 2014

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. — Харків: НТУ "ХПІ". — 2014. — № 35 (1078). — 201 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. № 1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України № 6, 2010 р., стор. 3, № 20).

Серія "Інформатика та моделювання" Вісника НТУ "ХПІ" включена в наукометричні бази Elibrary (РІНЦ), DOAJ (Швеція), Google Scholar і базу даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Координаційна рада:

Л.Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К.О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є.І. Сокол, чл.-кор. НАН України, д-р. техн.

наук, проф.; А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук,

проф.; М.Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А.І. Грабченко, д-р техн. наук,

проф.; В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В.Д. Дмитрієнко, д-р техн. наук, проф.;

І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В.В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.;

Ю.І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.; В.І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;

Г.В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О.К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.;

В.І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; Є.Є. Олександров, д-р техн. наук, проф.;

П.Г. Перерва, д-р техн. наук, проф.; В.О. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.;

М.І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: В.Д. Дмитрієнко, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: С.Ю. Леонов, канд. техн. наук, доц.

Члени редколегії: А.Г. Гурін, д-р техн. наук, проф.; Л.В. Дербунович, д-р техн.

наук, проф.; Є.Г. Жилияков, д-р техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук,

проф.; М.І. Корсунов, д-р техн. наук, проф.; О.С. Логунова, д-р техн. наук, проф.;

В.І. Носков, д-р техн. наук, проф.; І.І. Обод, д-р техн. наук, проф.;

А.І. Поворознюк, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"

Протокол № 6 від 26.06.2014 р.

© Національний технічний університет "ХПІ", 2014

**Размещение Вестника НТУ "ХПИ",
серия "Информатика и моделирование"
в международных наукометрических базах, репозиториях и
поисковых системах**

1. Serial registries: ISSN, Ulrich's Periodical Directory (США).

2. Abstracting systems: eLibrary (Россия), CiteFactor, SIS (Scientific Indexing Services), Open Academic Journals Index (Россия), UIF (Universal Impact Factor), Directory of Research Journals Indexing (Индия).

3. Web-based search systems: Google Scholar, Academic Index.

4. Electronic Libraries: Cyberleninka (Россия), Bielefeld Academic Search Engine (Германия), Open Journal Systems (Украина), Национальная библиотека им. Вернадского (Украина), Научно-техническая библиотека НТУ "ХПИ" (Украина), Text Archive (Россия).

5. Journal databases: Directory of open access journals (*DOAJ*, Швеция), OCLC WorldCat (США), Research Bible (Япония), Genamics Journal Seek (США), SHERPA/RoMEO, Academic Database Assessment Tool.

6. University Libraries: *США:* Walden University, Beardsley Library Journals, University at Albany, University of Texas, WRLC Catalogs, University Oregon, Monterey Bay Library, University of Kentucky, University of Georgia, Indiana University, Harvard Library, New York University, Northwestern University, San Jose State University, Library & Technology Services, Mercyhurst College Library System, Poudre River Public Library District, Virtual Science Library, Journal index, Jean and Alexander Heard Library. *Великобритания:* Birmingham Public Library, British Library, Social Services Knowledge Scotland, Linking Service, University of Strathclyde Glasgow, SUPrime Library, University of Glasgow, Royal Holloway University of London, University of Cambridge, University of Essex, University of Nottingham, One Search, UCL Library Services. *Канада:* University of New Brunswick, Trinity Western University, University of Saskatchewan, University of Ottawa, University of Regina, University of Windsor, Laurentian University. *Австралия:* Latrobe University Library, The Grove Library, State Library, SL On Search, Griffith University, UniSA. *Швеция:* IBRIS - Nationally bibliotheca system, Hogskolan Dalarna, Sodertorns hogskola, Stockholms University Library, Chalmers Bibliotheca. *Нидерланды:* Quality Open Access Market, University of Leiden. *Мексика:* University Mexico, CCG-IBT Bibliotheca. *Другие страны:* Universia (Испания), Babord+ (Франция), SLU (Швеция), Serge EL (Чехия), BON (Португалия), AUT Library (Новая Зеландия), Polska Bibliografia Naukowa (Польша), Государственная национальная техническая библиотека (Украина), Научная библиотека имени Говорова (Россия, Санкт-Петербург), Universiteits bibliotheek Gent (Бельгия), E-Resources Subject Access (Китай).

Электронный адрес сайта Вестника НТУ "ХПИ" серии
"Информатика и моделирование" www.pim.net.ua

УДК 62-83:621.77

С.Н. БАЛЮТА, д-р техн. наук, проф., НУПТ, Киев,
Т.Б. НИКИТИНА, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
Л.А. КОПЫЛОВА, асп., НУПТ, Киев,
М.О. ТАТАРЧЕНКО, асп., НТУ "ХПИ",
В.В. ХОМЕНКО, асп., НТУ "ХПИ"

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ СОВМЕСТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ, НАТЯЖЕНИЯ И ПЕТЛИ ПОЛОСЫ В ЧИСТОВОЙ ГРУППЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Разработан метод многокритериального синтеза комбинированной стохастической робастной системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы в чистовой группе широкополосного стана горячей прокатки. Показано, что разработанная система обеспечивает более высокую точность регулирования толщины, натяжения и величины петли полосы по сравнению с существующими системами. Ил.: 4. Библиогр.: 18 назв.

Ключевые слова: система совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы, комбинированная стохастическая робастная система, многокритериальный синтез.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. При проектировании новых и модернизации существующих прокатных станов особое внимание уделяется повышению точности и качества выпускаемого проката [1, 2]. Автоматизация прокатного производства является важнейшим средством в повышении качества и получении готовой продукции, удовлетворяющей жестким требованиям по геометрическим параметрам – толщине, форме, планшетности и т.д. В процессе прокатки возникают колебания технологических параметров – толщины, давления прокатки, натяжения полосы, обусловленные изменением толщины подката, его температуры и физико-химических свойств. Для обеспечения необходимых свойств проката системы автоматического регулирования толщины, натяжения и петли полосы должны обеспечить минимально возможные отклонения технологических параметров от заданных значений [3, 4].

Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме. При построении САУ технологическими параметрами на основе локальных систем регулирования толщины и натяжения в системе возникают возмущения, обусловленные работой каждой из систем, что приводит к ухудшению характеристик проката [5 – 7]. Для обеспечения

© С.Н. Балюта, Т.Б. Никитина, Л.А. Копылова, М.О. Татарченко, 2014

повышенных требований к прокату при построении системы управления технологическими параметрами необходимо учитывать наличие взаимного влияния между локальными системами регулирования, изменение технологических параметров и фазового состояния металла [8].

Синтез систем комбинированного управления, у которых сочетается принцип управления по разомкнутому и замкнутому контуру, позволяет получать точность, недостижимую в классических системах только с обратной связью [9 – 13]. Изменение параметров проката носит случайный характер, поэтому при синтезе систем целесообразно использовать робастные регуляторы, с помощью которых минимизируется анизотропийная норма вектора цели управления [14 – 16]. В системе совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы необходимо одновременно минимизировать несколько показателей качества, характеризующих отклонение толщины, натяжения и петли полосы от их заданных значений, так что исходная задача является многокритериальной [17]. Однако в существующих системах многокритериальный синтез комбинированной стохастической робастной системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы в чистовой группе широкополосного стана горячей прокатки не используется.

Целью данной статьи является разработка метода многокритериального синтеза комбинированной стохастической робастной системы совместного управления технологическими параметрами горячекатанного проката с учетом взаимного влияния технологических параметров и возмущений, обусловленных изменением толщины и твердости металла подката вследствие изменения его температуры, химического состава и фазового перехода металла из аустенита к ферриту и обратно, а также изменением раствора валков прокатной клетки.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Рассмотрим математическую модель системы совместного управления технологическими параметрами горячекатанного проката с учетом взаимного влияния технологических параметров и возмущений следуя работе [18]. Введем вектор состояния расширенной системы, включающий вектор состояния объекта управления и вектора состояния моделей задающего и возмущающего воздействий. Введем вектор внешних воздействий, компонентами которого являются вектора, возбуждающие модели формирующих фильтров векторов задающего и возмущающего воздействий, а также помех измерения векторов

задающих и возмущающих воздействий, а также помех измерения векторов выхода исходного объекта управления и доступных для измерения векторов состояния объекта управления.

В вектор цели стохастического робастного управления введем ошибку обработки системой задающего воздействия и ошибку компенсации возмущающего воздействия. Все эти компоненты берутся с определенными весами, которые определяются в процессе многокритериального синтеза комбинированного стохастического робастного управления. Эффект комбинированного управления при синтезе анизотропийных регуляторов определяется тем, что используется вся имеющаяся информация о задающем и возмущающем воздействии. Причем, при синтезе стохастического робастного управления учитываются помехи измерения этих сигналов с помощью соответствующих технических устройств.

Однако, в отличие от классического комбинированного управления, когда разомкнутые контуры управления по задающему и возмущающему воздействиям синтезируются отдельно, независимо друг от друга и, как правило, после синтеза контура обратной связи, при робастном управлении синтез контуров разомкнутого и замкнутого управлений выполняется одновременно для минимизации анизотропийной нормы вектора цели робастного управления.

Рассмотрим исходную дискретную систему, имеющую n -мерный вектор состояния x , m -мерный вектор входа ω и p -мерный вектор цели z , заданную в пространстве состояний матрицами A , B , C , D , так что

$$x_{k+1} = Ax_k + B\omega_k, \quad z_k = Cx_k + D\omega_k. \quad (1)$$

Средняя анизотопия этой системы равна

$$\bar{A}(G) = -\frac{1}{2} \ln \det \left(\frac{m \Sigma}{\text{Trace}(LPL^T + \Sigma)} \right), \quad (2)$$

где матрица P есть грамиан управляемости G , удовлетворяющий уравнению Ляпунова, а матрицы L и Σ соответствуют решению R уравнения Риккати [15]. Решение задачи синтеза анизотропийных регуляторов во временной области в виде матриц A , B , C , D реализации, с помощью которых минимизируется средняя анизотропия системы (2), сводится к вычислению трех алгебраических уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и уравнения специального вида для вычисления уровня анизотропии входного сигнала [16].

Исходная система, замкнутая синтезированным анизотропийным регулятором, обладает определенными динамическими характеристиками, которые определяются вектором цели. Возможность решения задачи многокритериального синтеза анизотропийных регуляторов многомассовых электромеханических систем путем соответствующего выбора вектора цели показана на основе концепции функционально множественной принадлежности вектора состояния, что позволяет удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе многомассовых электромеханических систем в различных режимах.

Введем вектор искоемых параметров $\chi = \{C, D\}$, компонентами которого являются элементы матриц C и D исходной системы (1), с помощью которых формируется вектор цели z стохастического робастного управления. Зададим начальное значение вектора χ , синтезируем анизотропийный регулятор и определим прямые показатели качества замкнутой системы в различных режимах. Пронормируем эти частные критерии y_i , так чтобы они находились в диапазоне $0 \leq y_i \leq 1$. Приближение нормированного значения i -го частного критерия к единице соответствует напряженной ситуации, а если величина нормированного значения частного критерия приближается к нулю, то это соответствует спокойной ситуации.

При многокритериальном синтезе обычно бывает ситуация, когда исходная точка по некоторым критериям является недопустимой. В частности, это касается заданных значений времени первого согласования, перерегулирования, точности отработки и компенсации случайных внешних воздействий и многих других показателей качества, предъявляемых к системе. Однако, ряд критериев, таких как величины управляющих воздействий и переменных состояния являются допустимыми. Поэтому, в нелинейной схеме компромиссов [17] используется комбинация метода штрафных функций с внутренней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся допустимыми, и метода с внешней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся недопустимыми, так что целевая функция примет следующий вид

$$f(\chi, r, \lambda) = \sum_{i=1}^J \alpha_i [1 - y_i(\chi)]^{-1} + s(r)L(z) + p(\lambda)T(\chi), \quad (3)$$

где α_i – весовые коэффициенты, характеризующие важность частных критериев y_i , $s(r)$ и $p(\lambda)$ – весовые функции, учитывающие влияние

функции штрафа $L(\chi, r) = r^2 \sum_{i=1}^m \frac{1}{g_i(\chi)}$ для метода внутренней точки и

функции штрафа $T(\chi) = \sum_{i=1}^m \frac{1}{2r} \{\min[0, g_i(\chi(r))]\}^2$ для метода внешней

точки. Для получения оптимального решения и выполнения ограничений необходимо, чтобы $r \rightarrow 0$, а $\lambda \rightarrow \infty$. Для решения такой задачи нелинейного программирования с ограничениями (3) использован метод последовательного квадратичного программирования (Sequential quadratic programming – SQP method).

Архитектура системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы. Для обоснования архитектуры системы совместного управления толщиной и натяжением проката в чистовой группе клеток широкополосного стана горячей прокатки, рассмотрим взаимодействия между локальными системами автоматического регулирования толщины, натяжения и петли полосы при наличии возмущений. Основными возмущениями являются: изменение толщины, входящей в клетъ полосы – подката, изменение ее температуры и химического состава, обуславливающие изменение коэффициента деформации проката.

На рис. 1 показаны графики изменения технологических параметров при прохождении полосы, состоящей из 6 прокатных клеток чистовой группы непрерывного стана горячей прокатки, оборудованной локальными системами регулирования толщины, натяжения и петли полосы. Между клетями 5 и 6 происходит фазовый переход состояния металла. Это обусловлено понижением выходной температуры за чистовой группой ниже 900 градусов. Уменьшение температуры полосы из-за ее охлаждения вызвало преобразование металла от аустенита к ферриту с соответствующим большим понижением температуры и уменьшением твердости [6]. Последующее увеличение температуры металлопроката, входящего в чистовую группу вновь приводит к аустенитной прокатке.

Одним из эффективных способов предотвращения изменений формы полосы и поддержания необходимых условий прокатки при наличии возмущений является управление натяжением и петлей полосы на основе постоянства секундного расхода металла – потока массы проката. При создании системы управления технологическими

параметрами прокатки необходимо сформировать структуру системы управления и реализовать регуляторы, которые позволят учесть сложные взаимодействия в чистовой группе клеток стана.

На рис. 2 представлена схема системы взаимосвязанного регулирования толщины (САРТ), системы управления высотой подъема петледержателя и натяжения полосы (САРНП) и системы управления компенсации изменения потока массы (СКПМ) широкополосного стана горячей прокатки (ШСГП).

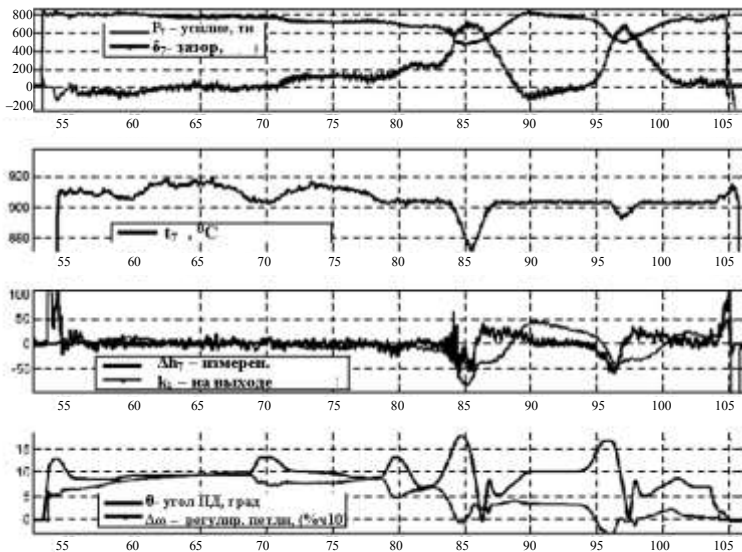


Рис. 1. Параметры прокатки в чистовой группе клеток широкополосного стана горячей прокатки при фазовом переходе в металле стальной полосы

В САРНП используется непосредственно измеряемый угол петледержателя, на основании которого вычисляется длина полосы в межклетьевом промежутке и требуемое изменение скорости вращения рабочего вала. Натяжение полосы обеспечивается с помощью ролика петледержателя, используя крутящий момент приводного двигателя привода петледержателя (ПП). На стане с гидронажимными устройствами раствор валков прокатной клетки изменяется с помощью быстродействующего гидропривода, что вызывает дополнительное

перемещение петледержателя, который управляется более медленным главным приводом.

Чтобы повысить устойчивость работы петледержателя, используется система СКПМ, которая формирует упреждающее управляющее изменение скорости вращения главного привода последующей клетки для компенсации изменения всех возмущений, измеренных с помощью наблюдателя (НБ) и, в особенности, изменение коэффициента твердости материала полосы.

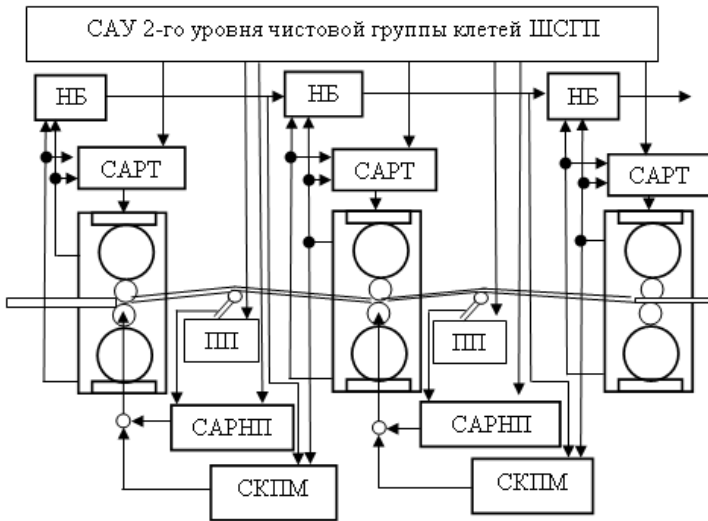


Рис. 2. Система взаимосвязанного управления толщиной, натяжением и петлей полосы широкополосного стана горячей прокатки

Результаты моделирования на ЭВМ. Результаты оценки отклонения толщины и температуры полосы представлены на рис. 3. Здесь показаны следующие зависимости: 1 – оцененные значения температуры полосы за 6-й клетью ($+60^{\circ}\text{C}$); 2 – оцененные значения температуры полосы за 7-й клетью ($+40^{\circ}\text{C}$); 3 – измеренные значения температуры полосы за 7-й клетью; 4 – оцененные значения толщины полосы за 6-й клетью ($+0,4\text{ мм}$); 5 – оцененные значения толщины полосы за 7-й клетью ($+0,2\text{ мм}$); 6 – измеренные значения толщины полосы за 7-й клетью.

Так как толщина и температура непосредственно измеряются только за последней клетью, то в распоряжении имеются контрольные значения только для этого места. Результаты сравнения представленных

оценочных и измеренных значений толщины и температуры показывают достаточно хорошее совпадение.

Результаты моделирования переходного процесса в разработанной системе при совместной работе САРТ и САРНП, а также СКПМ с учетом компенсации всех возмущений, представлены на рис. 4.

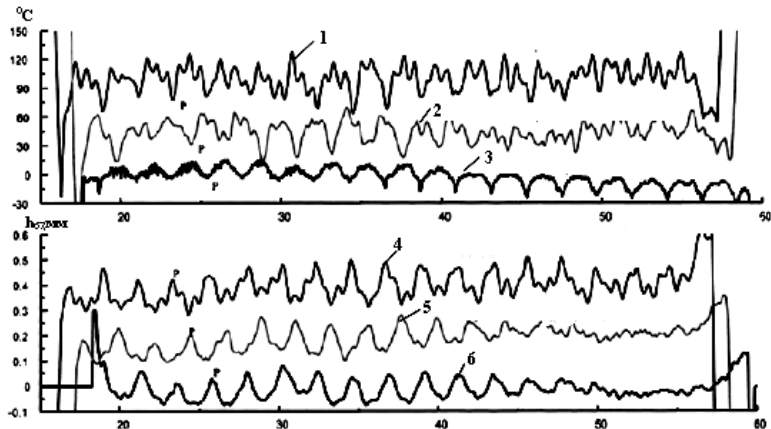


Рис. 3. Измеренные и оцененные значения параметров полосы

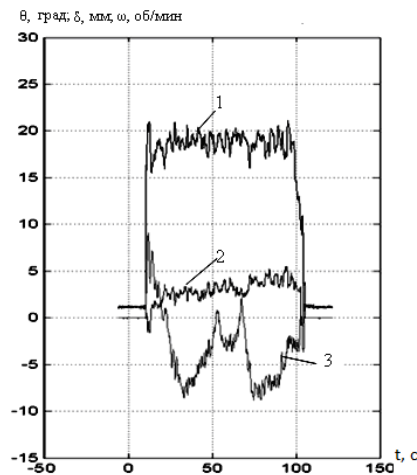


Рис. 4. Динамические характеристики системы взаимосвязанного регулирования толщины, натяжения и петли полосы

Представленные на рис. 4 переходные процессы показывают значительное улучшение качества регулирования в разработанной САРН и П при использовании СКПМ с учетом всех возмущений, действующих на полосу, по сравнению с существующей системой СКПМ с компенсацией только разнотолщинности подката. Здесь показаны следующие переменные: 1 – угол петледержателя; 2 – раствор валков; 3 – изменение частоты вращения валков прокатной клетки для обеспечения постоянства потока металлопроката.

Выводы из проведенного исследования, перспективы этого направления. Разработан метод многокритериального синтеза комбинированной стохастической робастной системы совместного управления технологическими параметрами горячекатанной полосы с учетом взаимного влияния технологических параметров и возмущений, обусловленных изменением толщины и твердости металла подката вследствие изменения его температуры, химического состава и фазового перехода металла из аустенита к ферриту и обратно, а также изменением раствора валков прокатной клетки. Выполнено исследование динамических характеристик синтезированной системы взаимосвязанного регулирования толщины, натяжения и величины петли полосы и показано, что разработанная система обеспечивает более высокую точность геометрических параметров проката при наличии возмущений в виде изменения толщины подката, его температуры, химического состава, фазового состояния металла и соответствующего изменения коэффициента твердости металла по сравнению с существующими системами регулирования толщины, натяжения и величины петли полосы.

Список литературы: 1. Айгнер Х. Модернизация приводов широкополосного стана горячей прокатки фирмы Voestalpine Stahl / Х. Айгнер, А. Фухс // Черные металлы. – 2006. – № 6. – С. 45-47. 2. Вебербергер Э. Повышение производительности и качества продукции широкополосного стана горячей прокатки компании VOESTALPINE STAHL GMBH / Э. Вебербергер, В. Зайрук, Г. Миттер, Р. Коннерт // Черные металлы. – 2008. – № 1. – С. 26-32. 3. Дегнер М. Разработки в области горячей и холодной прокатки / М. Дегнер, У. Ратцек // Черные металлы. – 2006. – № 1. – С. 33-42. 4. Дегнер М. Третья европейская конференция по прокатке. Актуальные разработки в области горячей и холодной прокатки / М. Дегнер, А. Франк, Х. Лакинге, П.-Й. Маук // Черные металлы. – 2004. – № 4. – С. 28-35. 5. Джелали М. Современные стратегии регулирования на прокатных станах / М. Джелали, У. Мюллер, А. Вольфф, В. Унгерер // Черные металлы. – 2001. – № 6. – С. 72-81. 6. Архангельский В.И. Интегрированные АСУ в промышленности / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Н.А. Рюмишн. – Киев: НПК КИА, 1995. – 316 с. 7. Архангельский В.И. Нейронные сети в системах автоматизации / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмишн. – К.: Техника, 1999. – 364 с. 8. Архангельский В.И. АСУ листопрокатным производством / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, В.И. Васичкин и др. – М.: Металлургия, 1994. – 334 с. 9. Кунцевич В.М. Инвариантность и квазиинвариантность

систем управління / В.М. Кунцевич // Праці міжнародної конференції "50 років інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України". – Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. – 2008. – С. 61-74. **10.** Кунцевич В.М. Квазиінваріантність, робастність і адаптація в системах управління / В.М. Кунцевич // Труды научного семинара "70 – лет теории инвариантности". Москва, 2 июня 2008 г. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 61–90. **11.** Gu D.-W. Robust Control Design with MATLAB / D.-W. Gu, P.Hr. Petkov, M.M. Konstantinov. – Springer, 2005. – 389 p. **12.** Hoyle D. An H^∞ approach to two-degree-of-freedom design / D. Hoyle, R. Hyde, D.J.N. Limebeer // In Proceedings of the 30 th IEEE Conference on Decision and Control. – 1991. – P. 1581-1585. **13.** Limebeer D.J.N. On the design of robust two degree of freedom controllers / D.J.N. Limebeer, E.M. Kasenally, J.D. Perkins // Automatica – 1993. – № 29. – P. 157–163. **14.** Diamond P. Anisotropy – based performance analysis of linear discrete time invariant control systems / P. Diamond, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov, A.V. Semyonov // Int. J. Control. – 2001. – №. 74. – P. 28–42. **15.** Vladimirov I.G. State-space solution to anisotropy-based stochastic H_∞ – optimization problem / I.G. Vladimirov, A.R. Kurdjukov, A.V. Semyonov // Proc. 13th IFAC World Congress. – San-Francisco (USA). – 1996. – P. 427–432. **16.** Semyonov A.V. Stochastic approach to H_∞ – optimization / A.V. Semyonov, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov // Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control. – Florida (USA). – 1994. – P. 2249–2250. **17.** Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем / А.Н. Воронин. – К.: Наукова думка, 1992. – 160 с. **18.** Кузнецов Б.И. Синтез автоматизированных систем управления технологическими процессами прокатки / Б.И. Кузнецов, С.Н. Балута, В.В. Коломиец, Т.Б. Никитина. – Харьков: УИПА, 2011. – 356 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Ajgner H. Modernizacija privodov širokopolosnogo stana gorjachej prokatki firmy Voestalpine Stahl / H. Ajgne, A. Fuhs // Chernye metally. – 2006. – № 6. – S. 45-47. **2.** Veberberger Je. Povyshenie proizvoditel'nosti i kachestva produkcii širokopolosnogo stana gorjachej prokatki kompanii VOESTALPINE STAHL GMBH / Je. Veberberger, V. Zajruk, G. Mitter, R. Konnert // Chernye metally. – 2008. – № 1. – S. 26-32. **3.** Degner M. Razrabotki v oblasti gorjachej i holodnoj prokatki / M. Degner, U. Ratcek // Chernye metally. – 2006. – № 1. – S. 33-42. **4.** Degner M. Tret'ja evropejskaja konferencija po prokatke. Aktual'nye razrabotki v oblasti gorjachej i holodnoj prokatki / M. Degner, A. Frank, H. Lakinge, P.-J. Mauk // Chernye metally. – 2004. – № 4. – S. 28-35. **5.** Dzhelali M. Sovremennye strategii regulirovaniya na prokatnyh stanah / M. Dzhelali, U. Mjuller, A. Vol'ff, V. Ungerer // Chernye metally. – 2001. – № 6. – S. 72-81. **6.** Arhangel'skij V.I. Integrirrovannye ASU v promyshlennosti / V.I. Arhangel'skij, I.N. Bogaenko, N.A. Rjumshin. – Kiev: NPK KIA, 1995. – 316 s. **7.** Arhangel'skij V.I. Nejronnye seti v sistemah avtomatizacii / V.I. Arhangel'skij, I.N. Bogaenko, G.G. Grabovskij, N.A. Rjumshin. – K.: Tehnika, 1999. – 364 s. **8.** Arhangel'skij V.I. ASU listoprokatnym proizvodstvom / V.I. Arhangel'skij, I.N. Bogaenko, V.I. Vasichkin i dr. – M.: Metallurgija, 1994. – 334 s. **9.** Kuncovich V.M. Invariantnost' i kvaziinvariantnost' sistem upravlenija / V.M. Kuncovich // Praци mizhnarodnoї konferencii "50 rokov institutu kibernetiki imeni V.M. Glushkova NAN Ukraini". – Kiiv: Institut kibernetiki im. V.M. Glushkova NAN Ukraini. – 2008. – S. 61-74. **10.** Kuncovich V.M. Kvaziinvariantnost', roblastnost' i adaptacija v sistemah upravlenija / V.M. Kuncovich // Trudy nauchnogo seminaru "70 – let teorii invariantnosti". Moskva, 2008. – M.: Izdatel'stvo LKI, 2008. – S. 61-90. **11.** Gu D.-W. Robust Control Design with MATLAB / D.-W. Gu, P.Hr. Petkov, M.M. Konstantinov. – Springer, 2005. – 389 p. **12.** Hoyle D. An H^∞ approach to two-degree-of-freedom design / D. Hoyle, R. Hyde, D.J.N. Limebeer // In Proceedings of the 30 th IEEE Conference on Decision and Control. – 1991. – P. 1581-1585. **13.** Limebeer D.J.N. On the design of robust two degree of freedom controllers / D.J.N. Limebeer, E.M. Kasenally, J.D. Perkins // Automatica – 1993. – № 29. – P. 157-163. **14.** Diamond P. Anisotropy – based performance analysis of linear discrete time invariant control

systems / *P. Diamond, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov, A.V. Semyonov* // Int. J. Control. – 2001. – V. 74. – P. 28-42. **15.** *Vladimirov I.G.* State-space solution to anisotropy-based stochastic H_{∞} – optimization problem / *I.G. Vladimirov, A.R. Kurdjukov, A.V. Semyonov* // Proc. 13th IFAC World Congress. – San-Francisco (USA). – 1996. – P. 427-432. **16.** *Semyonov A.V.* Stochastic approach to H_{∞} – optimization / *A.V. Semyonov, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov* // Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control. – Florida (USA). – 1994. – P. 2249-2250. **17.** *Voronin A.N.* Многокритеріальний синтез динамічних систем / *A.N. Voronin*. – К.: Наукова думка, 1992. – 160 с. **18.** *Kuznetsov B.I.* Синтез автоматизированных систем управления технологическими процессами прокатки / *B.I. Kuznetsov, S.N. Baljuta, V.V. Kolomiets, T.B. Nikitina*. – Хар'ков: UIPA, 2011. – 356 с.

Поступила (received) 11.05.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. Научно-технического центра магнетизма технических объектов НАН Украины Кузнецов Б.И.

Baliuta Sergei, Dr. Sci. Profesor
National university of food technologies
Volodymyrska str. 68, Kyiv, Ukraine, 01601
tel/pfone 0669530459, e-mail: EPP11@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-1100-095X

Nikitina Tatyana, Dr. Sci. Profesor
Kharkiv National Automobile and Highway University
Petrovskogo st, 25, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel/pfone 0505766900, e-mail: bikuznetsov@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-0185-3078

Kopilova Liudmila, master
National university of food technologies
Volodymyrska str. 68, Kyiv, Ukraine, 01601
tel/pfone 0677330767, e-mail: EPP11@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-9073-5793

Tatarchenko Maxim, master
Ukraine, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Frunze str, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel/pfone 0506680086, e-mail: maxtat@gmail.com
ORCID ID 0000-0002-9826-1123

Khomenko Viktor, master
Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy
Universitetskaya st., 16, Kharkiv, Ukraine, 61003
tel/pfone 0957128818, e-mail: vitman_@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-9826-1123

УДК 579.2:573.3:577

Г.І. БАРИЛО, канд. техн. наук, доц., НУ "ЛП", Львів,

В.В. ВІРТ, студент, НУ"ЛП", Львів,

З.Ю. ГОТРА, д-р техн. наук, проф., НУ "ЛП", Львів,

М.С. ІВАХ, канд. техн. наук, ас., НУ "ЛП", Львів,

О.Т. КОЖУХАР, д-р техн. наук, проф., НУ "ЛП", Львів

СХЕМОТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ДІАГНОСТИЧНО-ЛІКУВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ PSoC

Проведено огляд засобів та електронних систем активного контролю лікувальних процедур під час їх проведення. Використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення, а також сучасний тип мікроконтролерів PSoC розроблено дослідний взірць приладу, який дозволяє проводити неперервний контроль та корекцію лікувальної процедури. Лл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключевые слова: схемотехнічні особливості, діагностично-лікувальні прилади, мікроконтролер, контроль та корекція лікувальних процедур.

Постановка проблеми та аналіз літератури. З розвитком нових медичних технологій та розширення використання в них інтерактивних режимів роботи, виникає нагальна необхідність застосування сучасних підходів при створенні діагностично-лікувальних приладів нового класу, здатних здійснювати впродовж лікувальної процедури неперервне автоматичне оцінювання її дієвості на пацієнта для оперативного прийняття лікарського рішення [1 – 3].

Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є реалізація нового погляду на можливості сучасних високопродуктивних мікроконтролерів та спеціалізованих програмних засобів [4 – 7].

Проектування діагностично-лікувальних приладів зазначеного типу вимагає вирішення завдань, пов'язаних з аналізом значної кількості контрольованих параметрів [8 – 10], а це викликає проблему вибору таких схемотехнічних рішень, які дозволили б оптимально розподілити апаратні та програмні ресурси приладу в цілому.

Вибір нових схемотехнічних рішень повинно значно скоротити тривалість процесу розроблення приладів та досягнути їх високих технічних показників у відповідності до сучасних медичних вимог і потреб лікарської практики [2].

Аналізом новітніх фотомедичних технологій, тобто медичних технологій, що є безконтактними щодо пацієнта, оскільки ґрунтуються на оптичних принципах, встановлено, що в процесі проектування

відповідних лікувально-діагностичних приладів не в повній мірі реалізується функція неперервного спостереження лікувально-діагностичного втручання та контролю за його впливом на пацієнта.

Відсутність такого контролю не дає можливості оперативного прийняття об'єктивного лікарського рішення та подальшої стратегії лікування обраною технологією. Підвищення інформативності про перебіг лікування через неперервне тестування пацієнта впродовж процедури дало б можливість прискорення, автоматизації та об'єктивності прийняття лікарського рішення, створення можливості роботи лікаря в інтерактивному форматі.

У відомих розглянутих рішеннях алгоритми їх функціонування не є достатньо гнучкими. Передусім це стосується необхідності в оптимізації вибору сигналів сенсорів контрольного засобу за пріоритетом вагомості. Відповідно до ситуації, що склалась у сфері медичних технологій, особливостям побудови лікувально-діагностичним приладів, які реалізують вказані функції, приділяється недостатньо уваги.

Мета статті – розроблення схемотехнічних рішень для вдосконалення процесу побудови та створення нових діагностично-лікувальних приладів на основі мікроконтролерів сімейства PSoC, з функцією неперервного оцінювання дієвості на пацієнта лікувально-діагностичного втручання (процедури).

Особливості побудови систем контролю лікувально-діагностичних приладів.

На даний час контроль за ефективністю лікувально-діагностичного втручання (процедури або сеансу), в основному, здійснюється на основі результатів: лабораторних аналізів тканин, досліджень крові пацієнта, терапевтичних досліджень.

Перспективним напрямком контролю за ефективністю лікувально-діагностичного втручання є створення апаратури, в основу якої покладено нові досягнення досліджень у напрямку оптоелектроніки та конструювання оптикоелектронних систем. Такі системи з напівпровідниковими джерелами та приймачами оптичного випромінювання, дозволяють створювати стимуляційне опромінення біомедичного об'єкта у відповідності до його просторово-часових характеристик з можливістю неперервного оперативного тестування опромінюваного пацієнта за змінами його оптичних характеристик. Структура одної з систем такого контролю на основі мікроконтролера PsoC наведено на рис. 1 [2].

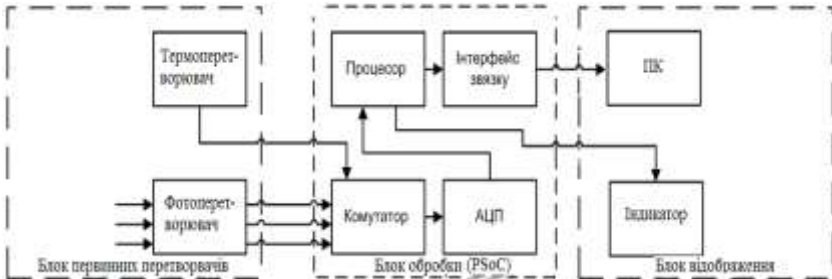


Рис. 1. Структура системи контролю

Представлена система складається з блоку первинних фото- та термоперетворювачів, блоку оброблення, побудованого на основі мікроконтролера PSoC і блоку відображення та індикації.

Робота системи полягає у неперервному аналізі сигналів блоку первинних перетворювачів, закладеного в алгоритм роботи мікроконтролера. Отримані результати опрацювання передаються до блоку відображення та в персональний комп'ютер для подальшого програмного аналізу.

Особлива увага в процесі оброблення приділяється алгоритму аналізу вхідних даних, які формуються первинними перетворювачами. Основу таких алгоритмів складають методи ймовірнісного підходу (метод Байеса) та послідовного статистичного аналізу (метод Вальда) [1, 2].

Перспективними для систем, які використовують гнучкі алгоритми можна вважати мікроконтролери сімейства PSoC (програмовані системи на кристалі) з гнучкою архітектурою. Особливої уваги заслуговує продукція фірми Superss, яка є лідером у виробництві таких мікроконтролерів.

Для налаштування конфігурації мікроконтролера та відлагодження алгоритму його роботи виробник надає спеціалізоване програмне забезпечення PSoC Designer та PSoC Programmer, яке в поєднанні із програмним середовищем проектування електронних пристроїв, наприклад, Proteus забезпечить високу ефективність всього процесу розробки. На основі цього підходу запропоновано одну з можливих схем реалізації алгоритму проектування (рис. 2).

Для моделювання роботи окремих функціональних вузлів, та розроблення пристрою в цілому, перспективним є використання програмного середовища Proteus. Воно об'єднує в собі дві основні програми: ISIS – засіб розроблення і налагодження в режимі реального

часу електронних схем [4, 5]; ARES – засіб розроблення друкованих плат [3].

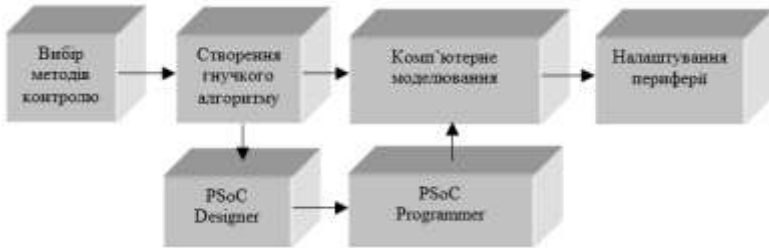


Рис. 2. Алгоритм проектування

Використання вбудованих редакторів Proteus дозволяє проводити моделювання електричної принципової схеми у відповідності до структури пристрою та, на основі отриманих результатів, виготовити друковану плату. На рис. 3 зображено електричну принципову схему (а) та вигляд друкованої плати (б) приладу неперервного контролю.

Для практичної реалізації запропонованого приладу з системою неперервного контролю використано мікроконтролер PSoC CY8C247143. Налаштування внутрішньої конфігурації мікроконтролера та зовнішніх портів, а також налаштування алгоритму роботи проведено з використанням програмного забезпечення PSoC Designer. Вказана програма дозволяє користувачу будувати довільні функції перетворення вхідних даних із використанням наявних внутрішніх логічних блоків, що є оптимальним для реалізації гнучких алгоритмів.

Внутрішня архітектура мікроконтролера дає можливість також використовувати наявні функціональні вузли: цифро-аналогові та аналогово-цифрові перетворювачі (DAC, ADC), програмовані операційні підсилювачі (PGA), інтерфейс для роботи з дисплеєм (LCD) та інші.

Результати налаштування, отримані в процесі роботи програмного забезпечення, PSoC Designer формуються у відповідний файл, дані з якого за допомогою програми PSoC Programmer записуються у мікроконтролер. Виробником передбачено багаторазове (до 1000 разів) перепрограмування конфігурації, що є особливо актуальним в процесі використання функціональних можливостей.



Висновки. За аналізом сучасних фотомедичних технологій встановлено необхідність створення діагностично-лікувальних приладів з інтерактивним режимом роботи на основі неперервного автоматичного оцінювання дії технології на пацієнта. Наведено особливості побудови та основні алгоритми роботи систем контролю діагностично-лікувальних приладів на основі мікроконтролерів PSoC.

Розроблено структуру процесу проектування з використанням запропонованих схемотехнічних рішень, які передбачають рівномірний розподіл використання апаратних та програмних ресурсів. Налаштування внутрішньої архітектури та гнучкого алгоритму обробки даних проведено за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Показано ефективність моделювання роботи пристрою, та створено друковану плату в прикладному програмному середовищі Proteus.

Запропонована структура може бути використана в розробленні структур проектування інших електронних пристроїв, які використовують складні алгоритми аналізу вхідних сигналів різноманітних первинних перетворювачів.

Список літератури: 1. *Готра З.* Використання елементів штучного інтелекту в оптичних діагностично-лікувальних приладах / *З. Готра, О. Кожухар, Г. Барило* // Технічні вісті. – 2013. – № 1 (37), 2 (38). – С. 27-29. 2. *Барило Г.І.* Апаратно-програмне забезпечення лікувального процесу в оториноларингології з неперервним оптико-електронним тестуванням біооб'єкта / *Г.І. Барило, З.Ю. Готра, О.Т. Кожухар* // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. – № 2 (24). – С. 81-85. 3. *Sanjeetha Sara John* Pulse Oximeter using PSoC / *Sanjeetha Sara John, P. Anatha Christhu Raj* // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2013. – Vol. 2. – Issue 4. – P. 223-225. 4. *Килочек Д.* Проектирование на программируемых системах на кристалле PSoC Cypress / *Д. Килочек* // Компоненты и технологии. 2009. – № 4. – С. 56-60. 5. *Гопкало В.Н.* Проектирование радиоэлектронных устройств в программной среде "Proteus": Методические указания / *В.Н. Гопкало, А.И. Блох.* – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. – 20 с. 6. *Ляшенко О.І.* Моделювання та дослідження електронних пристроїв: навч. посіб. / *О.І. Ляшенко, О.С. Мартинюк.* – Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2013. – 217 с. 7. *Павлов С.В.* Оптоелектронні медичні системи: навч. посібник / *С.В. Павлов, Г.С. Тимчик, В.П. Кожем'яко та ін.* – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 156 с. 8. *Абакумов В.Г.* Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів: навч. посібник / *В.Г. Абакумов, З.Ю. Готра, С.М. Зелко та ін.* – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 352 с. 9 *Handbook of Photonics for Biomedical Science, Valery V. Tuchin* (ed.), CRC Press, Taylor & Francis Group, London, 2010. 10. *Sriraam N.* Development of a secure body area network for a wearable physiological monitoring system using a PSoC processor / *N. Sriraam, S. Swathy, S. Vijayalakshmi* // Journal of Medical Engineering & Technology. – 2010. – Vol. 36. – Issue.1. – P. 26.

Bibliography (transliterated): 1. *Hotra Z.* Vykorystannya elementiv shtuchnoho intelektu v optychnykh diahnostychno-likuval'nykh pryladakh / *Z. Hotra, O. Kozhukhar, H. Barylo* // Tekhnichni visti. – 2013. – № 1 (37), 2 (38). – S. 27-29. 2. *Barylo H.I.* Aparatno-prohramne zabezpechennya likuval'nogo protsesu v otorynolarynholohiyi z neperervnym optyko-elektronnym testuvannyam bioob'yekta / *H.I. Barylo, Z.Yu. Hotra, O.T. Kozhukhar* // Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi. – 2012. – № 2 (24). – S. 81-85. 3. *Sanjeetha Sara John* Pulse Oximeter using PSoC / *Sanjeetha Sara John, P. Anatha Christhu Raj* // International Journal

of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2013.– Vol. 2. – Issue 4. – P. 223-225. **4.** *Kylochek D.* Proektyrovanye na prohrammyruemukh systemakh na krystalle PSoC Cypress / *D. Kylochek* // Komponentu y tekhnolohyy. – 2009. – № 4. – S. 56-60. **5.** *Hopkalo V.N.* Proektyrovanye radyoelektronnukh ustroystv v prohrammnoy srede "Proteus": Metodicheskiye ukazaniya / *V.N. Hopkalo, A.Y. Blokh.* – Khabarovsk: Yzd-vo DVHUPS, 2010. – 20 s. **6.** *Lyashenko O.I.* Modelyuvannya ta doslidzhennya elektronnykh prystroyiv: navch. posib. / *O.I. Lyashenko, O.S. Martynyuk.* – Luts'k: Skhidnoyeurop. nats. un-t im. Lesi Ukrayinky, 2013. – 217 s. **7.** *Pavlov S.V.* Optoelektronni medychni systemy: navch. posibnyk / *S.V. Pavlov, H.S. Tymchyk, V.P. Kozhem'yako ma in..* – Vinnytsya: VNTU, 2011. – 156 s. **8.** *Abakumov V.H.* Reyestratsiya, obrobka ta kontrol' biomedychnykh syhnaliv: navch. posibnyk / *V.H. Abakumov, Z.Yu. Hotra, S.M. Zlepko.* – Vinnytsya: VNTU, 2011. – 352 s. **9.** Handbook of Photonics for Biomedical Science, *Valery V. Tuchin* (ed.), CRC Press, Taylor & Francis Group, London, 2010. **10.** *Sriraam N.* Development of a secure body area network for a wearable physiological monitoring system using a PSoC processor / *N. Sriraam, S. Swathy, S. Vijayalakshmi* // Journal of Medical Engineering & Technology. – 2010. – Vol. 36. – Issue. 1. – P. 26.

Надійшла (received) 11.05.2014

Статтю представив д-р техн. наук, проф. НУ "Львівська політехніка" Голяка Р.Л.

Barylo Gryhoriy, PhD Tech.
Lviv Polytechnic National University
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013
tel./phone: (032) 258-21-73, e-mail: skb_mp@ukr.net
ORCID ID:0000-0001-5749-9242

Virt Volodymyr, master
Lviv Polytechnic National University
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013
tel./phone: (032) 258-21-73, e-mail: ep@lp.edu.ua
ORCID ID:0000-0001-6537-3172

Hotra Zenon, Dr.Sci.Tech, Professor
Lviv Polytechnic National University
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013
tel./phone: (032) 258-21-57, e-mail: ep@lp.edu.ua
ORCID ID:0000-0002-6566-6706

Ivakh Mariya, PhD Tech.,
Lviv Polytechnic National University
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013
tel./phone: (032) 258-21-73, e-mail: ivah_m@ukr.net
ORCID ID:0000-0002-6735-5426

Kozhukhar Oleksandr, Dr.Sci.Tech, Professor,
Lviv Polytechnic National University
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013
tel./phone: (032) 258-21-73, e-mail: akozhukha@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0002-7432-2526

УДК 519.87

Д.С. БІРЮКОВ, канд. техн. наук, головний консультант,
Національний інститут стратегічних досліджень, Київ,
О.В. ЗАСЛАВСЬКА, фахівець, Київський національний університет
ім. Тараса Шевченка, Київ

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

В роботі розглядається формальна постановка задачі дискретної оптимізації спеціального виду, яка виникає при розміщенні об'єктів інфраструктури автомобільних доріг загального користування. Специфіка задачі та алгоритму її розв'язування пов'язана із властивостями цільової функції, наявністю булевих та цілочисельних змінних, нелінійних функцій в обмеженнях та інтервальних обмежень на значення цілочисельних змінних. Запропонована загальна схема декомпозиційного алгоритму розв'язування задачі. Лл.: 1. Бібліограф.: 12 назв.

Ключові слова: дискретна оптимізація, декомпозиційний алгоритм, цільова функція, розміщення об'єктів інфраструктури.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Розвиток мережі автомобільних доріг загального користування є одним зі стимулюючих механізмів економічного зростання як окремих регіонів, так і держави в цілому [1]. Ефективність дорожньої мережі залежить від охопленості територій дорогами, стану дорожнього полотна, безпеки руху, наявності придорожньої інфраструктури. Саме об'єкти придорожньої інфраструктури (заклади харчування та відпочинку, пункти медичної допомоги, станції технічного обслуговування, АЗС) створюють зручні умови користування автошляхами. Будівництво цих об'єктів, як правило, пов'язано з проведенням інфраструктурних мереж (лінії електропередачі, водопровід, зв'язок), аналізом попиту на послуги, що планується надавати в таких об'єктах, і, відповідно, розрахунком "потужності" об'єктів.

Таким чином, в умовах обмеженості ресурсів виникають задачі оптимального планування розвитку придорожньої інфраструктури автомобільних доріг. В залежності від типу об'єктів придорожньої інфраструктури їх розміщення здійснюється виходячи з певних критеріїв та вимог (наприклад, при розміщенні АЗС [2]). Причому вартість розміщення об'єктів придорожньої інфраструктури складається з фіксованої (витрати на створення інфраструктурних мереж) та змінної (в залежності від кількості об'єктів) складових.

Дослідженню проблем оптимального розміщення ресурсів

© Д.С. Бірюков, О.В. Заславська, 2014

присвячені численні роботи вітчизняних та зарубіжних вчених. Велика розмірність та специфіка задач вимагає використання при їх розв'язуванні декомпозиційних підходів [3], усунення з розгляду тих частин області допустимих розв'язків, що гарантовано не містять оптимального розв'язку задачі [4], використання метаевристичних алгоритмів [5]. Як правило задачі оптимального розміщення ресурсів, вибору параметрів розбудови об'єктів, планування робіт, прийняття рішень про розміщення об'єктів в кожному конкретному випадку мають характерні особливості, що враховуються при формалізації у вигляді задач оптимізації та при розробці алгоритмів їх розв'язування [6 – 10].

Вказані особливості задачі розміщення придорожньої інфраструктури впливають на вигляд математичної постановки, яка виявляється схожою із задачею про посередника через використання булевих та цілочисельних змінних, обмежених на інтервалах, нелінійної цільової функції [11]. Тому для розв'язування даної задачі був розроблений декомпозиційний алгоритм, подібний до запропонованого в роботі [12].

Мета дослідження – розробити формальну постановку задачі про оптимальне розміщення об'єктів придорожньої інфраструктури в класі задач дискретної оптимізації та декомпозиційний алгоритм її розв'язування.

Формальна постановка задачі. Нехай задані місця можливого розміщення об'єктів придорожньої інфраструктури. Кожному місцю відповідає деякий номер $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$. Дискретна природа множини місць розміщення пов'язана як з об'єктивною можливістю будівництва на територіях, так і з проведенням попереднього евристичного (експертного) аналізу. Для кожного місця можливим є будівництво об'єктів придорожньої інфраструктури (АЗС, СТО, готелі, ресторани) різного типу $k \in K = \{1, 2, \dots, k^*\}$.

Позначимо x_i^k – цілочисельна змінна, що визначає "потужність" надання послуги чи сервісу виду $k \in K$ на об'єкті $i \in I$ (з заданої скінченної множини $X_i^k = [\alpha_i^k, \beta_i^k] \subset Z_+$, де $0 < \alpha_i^k < \beta_i^k$), та C_i^k – вартість будівництва одиниці "потужності" об'єкту.

Позначимо δ_i^k – булева змінна, що приймає значення 1, якщо на пункті $i \in I$ розміщено об'єкт типу $k \in K$, та 0 в протилежному випадку. На кожному з місць розміщення можуть бути побудовані одночасно декілька різних типів об'єктів, або не побудовано жодного.

Кожне місце розміщення $i \in I$ характеризується набором

показників: C_i^0 – вартість спорудження інфраструктурних мереж (ліній електропередачі, підключення до водовідводу та мережі газопостачання), s_i^k – очікуваний попит на послугу $k \in K$ в пункті $i \in I$ (в одиницях вимірювання "потужності" об'єкту).

Нехай вся мережа автомобільних доріг розбита на окремі маршрути, та задані множини W_h , $h \in H = \{1, 2, \dots, h^*\}$, в які входять як елементи номери пунктів $i \in I$.

При розміщенні об'єктів придорожньої інфраструктури вони починають "конкурувати" між собою. Тому доцільно враховувати значення d_h^k – очікуване (за статистичними даними) або оцінене (за експертним судженням) споживання послуг кожного виду $k \in K$ на маршрутах $h \in H$.

В цілях поступового соціально-економічного розвитку територій, покращення умов подорожування автомобільними шляхами України, доцільно розглядати розміщення об'єктів придорожньої інфраструктури виходячи з таких міркувань. Об'єкти придорожньої інфраструктури мають:

- в середньому (за очікуваними характеристиками пасажиропотоків) задовольняти потреби усіх користувачів (людей, що подорожують автодорогами, та водіїв автотранспорту) за всіма послугами;
- покривати територіально всі автодороги загального користування;
- бути прибутковими, тобто конкурувати, проте при рівноймовірному надходженні клієнтів приносити прибуток не менший за встановлену межу.

Задачу розміщення об'єктів придорожньої інфраструктури можна формалізувати в класі задач дискретної оптимізації таким чином.

Мінімізувати вартість розбудови придорожньої інфраструктури

$$\sum_{i \in I} \left(C_i^0 \vee_{k \in K} \delta_i^k + \sum_{k \in K} C_i^k \delta_i^k x_i^k \right) \rightarrow \min \quad (1)$$

при умові виконання обмежень:

$$\sum_{i \in W_h} \delta_i^k x_i^k \geq d_h^k, \quad k \in K, \quad h \in H, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} p_k \min(s_i^k, \delta_i^k x_i^k) \geq \alpha \left(C_i^0 \vee_{k \in K} \delta_i^k + \sum_{k \in K} C_i^k \delta_i^k x_i^k \right), \quad i \in I, \quad (3)$$

$$\delta_i^k \in \{0, 1\}, \quad x_i^k \in X_i^k, \quad k \in K, \quad i \in I, \quad (4)$$

де p_k – очікуваний розмір прибутку, що принесе одиниця "потужності" на об'єкті типу $k \in K$ за весь час його функціонування; $\alpha > 1$ – деяке задане значення, що встановлює нижню допустиму границю прибутковості.

В (3) оператор $\min$ використовується через те, що фізично при меншому попиту пропозиція, що його перевищить, буде надлишковою.

При виконанні умов (2) загальний очікуваний прибуток від розбудови інфраструктури складатиме величину

$$\sum_{k \in K} p_k \sum_{h \in H} \min(d_h^k, \sum_{i \in W_h} \delta_i^k x_i^k). \quad (5)$$

Якщо усунути обмеження (2), то можна було б розглядати задачу максимізації (5) при обмеженні на розмір використання коштів:

$$\sum_{i \in I} \left(C_i^0 \vee_{k \in K} \delta_i^k + \sum_{k \in K} C_i^k \delta_i^k x_i^k \right) < C, \quad (6)$$

де C – задане значення.

Модель (1) – (4) є задачею дискретної оптимізації з цілочисельними та булевими змінними, складність якої викликана:

- властивостями функцій в (1) та (3), які є нелінійними щодо змінних $\delta_i^k, x_i^k, k \in K, i \in I$;
- наявністю балансних обмежень (2);
- використанням оператора $\min$ в (3);
- наявністю обмежень на змінні x_i^k на інтервалах $[\alpha_i^k, \beta_i^k]$, $k \in K, i \in I$.

Алгоритм розв'язування задачі. Структурні особливості задачі (1) – (4) дозволяють звести її до задачі про посередника [3], для якої в [4] запропоновано швидкий декомпозиційний алгоритм.

Робота декомпозиційного алгоритму полягає в поступовому формуванні підзадач при фіксованих значеннях змінних $\delta_i^k, k \in K, i \in I$. Процедура формування підзадач виконує наступні операції:

- рекурсивно добудовує набір значень булевих змінних, на кожному рівні рекурсії, утворюючи варіанти наборів зі значеннями 1 чи 0 для наступної в наборі змінної;

- усуває з розгляду підзадачі, які не мають допустимих розв'язків, та такі, що гарантовано не покращать найкращий поточний розв'язок.

Усунення з розгляду підзадач здійснюється на основі використання простих для обчислення тверджень. Цей процес може бути

сформульований в термінах обчислення допусків та усунення родових підмножин, що використовуються в методі послідовного аналізу варіантів [4]. Усунення з розгляду підзадач, оптимальний розв'язок яких гарантовано не покращать найкращий поточний розв'язок вихідної задачі, є аналогією з обчисленням обмежень за цільовою функцією в методі послідовного аналізу варіантів.

Принципова відмінність запропонованого підходу полягає в висуванні вимоги про наявність швидкого алгоритму розв'язування підзадач. Такі алгоритми було запропоновано в роботах [11, 12] для відповідних підзадач.

Будемо позначати фіксовані значення булевих змінних: $\tilde{z}_i, \dots, i \in I$. Введемо такі допоміжні позначення: $I^* = \{i \in I \mid \bigvee_{k \in K} \tilde{z}_i\}$, – підмножина індексів з I , для яких значення хоча б однієї булевої змінної зафіксовано 1; $K_i^* = \{k \in K \mid \tilde{z}_i\}$, – підмножина індексів з K , для яких значення відповідних булевих змінних зафіксовані 1; $W_h^* = I^* \cap \dots$, $h \in H$.

Тоді для випадку задачі оптимізації (1) – (4), при застосуванні процедури формування підзадач, отримуємо підзадачі такого виду:

$$\sum_{i \in I^*} \sum_{k \in K_i^*} C_i^k x_i^k \rightarrow \min \quad (7)$$

при умові виконання обмежень:

$$\sum_{i \in W_h^*} \tilde{\delta}_i^k x_i^k \geq d_h^k, \quad k \in K, \quad h \in H, \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K_i^*} (q_k \min(s_i^k, x_i^k) - C_i^k x_i^k) \geq D_i^0, \quad i \in I, \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I^*} \sum_{k \in K_i^*} C_i^k x_i^k < C_0, \quad (10)$$

$$x_i^k \in X_i^k, \quad k \in K_i^*, \quad i \in I^*, \quad (11)$$

де $D_i^0 = C_i^0 \bigvee_{k \in K} \tilde{z}_i$, $q_k = p_k / \alpha$, C_0 – різниця між найменшим значенням цільової функції (1), отриманим для попередніх підзадач, та $\sum_{i \in I} \bigvee_{k \in K} \tilde{z}_i$.

Усунення підзадачі (перевірки коректності набору $\tilde{z}_i$, $k \in K$, $i \in I$) здійснюється за умови порушення хоча б однієї з таких нерівностей:

$$\sum_{i \in W_h^*} \tilde{\delta}_i^k \beta_i^k \geq d_h^k, \quad k \in K, \quad h \in H, \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I^*} \sum_{k \in K_i^*} C_i^k \alpha_i^k < C_0, \quad (13)$$

$$\sum_{k \in K} \tilde{\delta}_i^k (q_k - C_i^k) x_i^k < D_i^0 \quad \text{для} \quad \forall x_i^k \in [\alpha_i^k \dots s_i^k], \quad k \in K_i^*. \quad (14)$$

Якщо хоча б одна з умов (12) – (14) не виконується, то такий набір значень булевих змінних $\tilde{\delta}_i^k$, $k \in K$, $i \in I$ не дозволить сформулювати підзадачу, розв'язок якої покращує значення, отримане для попередніх підзадач.

На рис. представлена загальна схема розв'язування задачі (1) – (4).

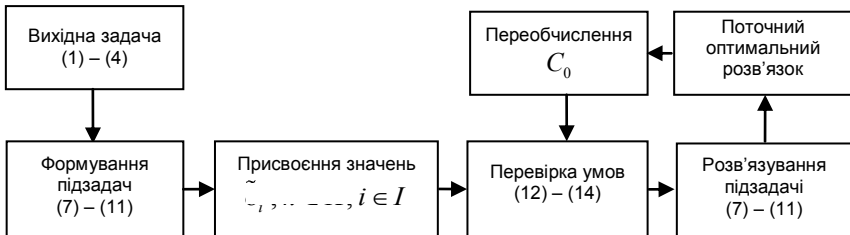


Рис. Схема розв'язування задачі

Коли всі можливі підзадачі сформувані (розв'язані, або усунені з розгляду), тоді поточний оптимальний розв'язок є розв'язком вихідної задачі оптимізації (1) – (4).

Висновки. Запропонована формальна постановка задачі про оптимальне розміщення об'єктів придорожньої інфраструктури. Для її розв'язування пропонується скористатися алгоритмічною схемою, яка раніше була розроблена для задач про посередника, які мають схожі особливості.

Список літератури: 1. *Прейгер Д.К.* Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку / *Д.К. Прейгер, О.В. Собкевич, О.Ю. Смельянова.* – К.: НІСД, 2011. – 37 с. 2. *Губар Ю.* Дослідження особливостей вибору місця розташування автозаправних комплексів / *Ю. Губар* // Сучасні досягн. геодез. науки та виробництва. – Львів: Вид-во Львів. політехн., 2011. – Вип.1 (21). – С. 260-264. 3. *Танаев В.С.* Декомпозиция и агрегирование в задачах математического программирования / *В.С. Танаев* / Под ред. А.Д. Закревского. – Минск.: Наука и техника, 1987. – 183 с. 4. *Михалевич В.С.* Методы последовательной оптимизации в дискретных сетевых задачах оптимального распределения ресурсов / *В.С. Михалевич, А.И. Кукса.* – М.: Наука, 1983. – 208 с. 5. *Сергиенко И.В.* Задачи дискретной оптимизации. Проблемы, методы решения, исследования / *И.В. Сергиенко, В.П. Шило.* – К.: Наук. думка, 2003. – 261 с.

6. *Исследование операций*: в 2-х т. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби: пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – Т. 1.: Методологические основы и математические методы. – 712 с.
7. *Love R.F. Facilities location: models & methods* / R.F. Love, J.G. Morris, G.O. Wesolowsky. – North-Holland, 1988. – 296 p.
8. *Daskin M.S. Network and discrete location: models, algorithms, and applications* / M.S. Daskin. – Wiley, 1995. – 498 p.
9. *Owen S.H. Strategic facility location: A review* / S.H. Owen, M.S. Daskin // *Europ. J. Oper. Res.* – 1998. – 111. – P. 423-447.
10. *Sonmez A.D. A decomposition approach for facility location and relocation problem with uncertain number of future facilities* / A.D. Sonmez, G.J. Lim // *Europ. J. Oper. Res.* – 2012. – 218 (2). – P. 327-338.
11. *Заславська О.В. Моделі прийняття рішень в оптовій торгівлі* / О.В. Заславська // *Вісн. Київськ. ун-ту. Серія: фіз.-мат. наук.* – 2005. – № 3. – С. 275-280.
12. *Заславська О.В. Декомпозиційний алгоритм оптимізації прибутку посередника* / О.В. Заславська // *Вісн. Київськ. ун-ту. Серія: фіз.-мат. наук.* – 2005. – № 4. – С. 163-169.

Bibliography (transliterated): 1. *Prejger D.K. Realizacija potencialu transportnoј infrastrukтури Ukraїni v strategii postkrizovogo ekonomichnogo rozvitku* / D.K. Prejger, O.V. Sobkevich, O.Yu. Yemel'janova. – K.: NISD, 2011. – 37 s. 2. *Gubar Yu. Doslidzhennja osoblivostej vioru miscja roztashuvannja avtozapravniх kompleksiv* / Yu. Gubar // *Suchasni dosjagn. geodez. nauki ta virobniцtva.* – L'viv: Vid-vo L'viv. politehn., 2011. – Vyp. 1 (21). – S. 260-264. 3. *Tanaev V.S. Dekompozicija i agregirovanie v zadachah matematicheskogo programirovanija* / V.S. Tanaev / *Pod red. A.D. Zakrevskogo.* – Minsk.: Nauka i tehnika, 1987. – 183 s. 4. *Mihalevich V.S. Metody posledovatel'noj optimizacii v diskretnyh setevyh zadachah optimal'nogo raspredelenija resursov* / V.S. Mihalevich, A.I. Kuksa. – M.: Nauka, 1983. – 208 s. 5. *Sergienko I.V. Zadachi diskretnoj optimizacii. Problemy, metody reshenija, issledovanija* / I.V. Sergienko, V.P. Shilo. – K.: Nauk. dumka, 2003. – 261 s. 6. *Issledovanie operacij: v 2-h t.* / *Pod red. Dzh. Moudera, S. Elmagrabi:* per. s angl. – M.: Mir, 1981. – T. 1.: Metodologicheskie osnovy i matematicheskie metody. – 712 s. 7. *Love R.F. Facilities location: models & methods* / R.F. Love, J.G. Morris, G.O. Wesolowsky. – North-Holland, 1988. – 296 p. 8. *Daskin M.S. Network and discrete location: models, algorithms, and applications* / M.S. Daskin. – Wiley, 1995. – 498 p. 9. *Owen S.H. Strategic facility location: A review* / S.H. Owen, M.S. Daskin // *Europ. J. Oper. Res.* – 1998. – 111. – P. 423-447. 10. *Sonmez A.D. A decomposition approach for facility location and relocation problem with uncertain number of future facilities* / A.D. Sonmez, G.J. Lim // *Europ. J. Oper. Res.* – 2012. – 218 (2). – P. 327 – 338. 11. *Zaslavs'ka O.V. Modeli priijnjattja rishen' v optovij torgivli* / O.V. Zaslavs'ka // *Visn. Kiіvs'k. un-tu. Serija: fiz.-mat. n.* – 2005. – № 3. – S. 275-280. 12. *Zaslavs'ka O.V. Dekompozicijnij algoritm optimizacii pributku poserednika* / O.V. Zaslavs'ka // *Visn. Kiіvs'k. un-tu. Serija: fiz.-mat. n.* – 2005. – № 4. – S. 163-169.

Надійшла (received) 25.05.2014

*Статтю представив д-р техн. наук, голоний науковий співробітник
НІСД Яковлев Є.О.*

Biriukov Dmytro, Cand.Tech.Sci
chief consultant, National Institute for Strategic Studies
Botkin str., 3, app. 49, Kyiv, Ukraine, 03056
Tel.: (+38)050-4698259, e-mail: dmytro.biriukov@niss.gov.ua
ORCID ID: 0000-0002-9141-5142

Zaslavska Olena
Kyiv National University named by Taras Shevchenko
Piterska str., 3., app. 39, Kyiv, Ukraine, 03085
Tel.: (+38)044-2362966, e-mail: zasla@univ.kiev.ua
ORCID ID: 0000-0002-1113-8780

УДК 004.932:616-073.7

Д.А. БОЙКО, асп., НТУ "ХПИ",
Е.А. ЗАМОЖСКАЯ, асс., ХНМУ, ГУ Институт медицинской
радиологии им. С.П. Григорьева Национальной академии наук
Украины, Харьков,
А.Е. ФИЛАТОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАДИОЛОГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАТОЛОГИЙ

Обоснована актуальность разработки и представлена структурная схема системы поддержки принятия решений в радиологии для улучшения визуализации патологий на маммограммах. Описаны автоматизированное рабочее место врача маммолога, интерфейсы, модули системы и их взаимодействие между собой. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, радиология, визуализация патологий.

Постановка проблемы. По данным статистики всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в Украине на 2010 год на первом месте стоят заболевания сердечно-сосудистой системы, а второе место занимают онкологические заболевания. Одними из наиболее распространенных онкологических заболеваний являются заболевания молочной и щитовидной железы. Основными рекомендациями ВОЗ в Украине для улучшения результатов лечения рака молочной железы и выживаемости является профилактика и своевременная диагностика среди женщин в возрасте старше 40 лет. Раннее выявление рака молочной железы дает возможность повысить эффективность лечения этого заболевания.

Маммография является одним из наиболее эффективных способов диагностики рака молочной железы на ранних стадиях. По статистическим данным число пациентов за последние годы значительно увеличивается, поэтому хранение и обработка большого количества снимков весьма рутинная работа. Для повышения эффективности работы врача-маммолога создание системы поддержки принятия решений (СППР) в медицинской радиологии для улучшения визуализации патологий является актуальной задачей на сегодняшний день [1].

Анализ литературы. Уровень развития технологической базы и информационных технологий, используемых в отечественной системе здравоохранения, значительно отстает от мировых разработок последнего

десятилетия [2]. Одним из недорогих и эффективных способов профилактики рака молочной железы является маммография, однако устаревшее аналоговое оборудование усложняет задачу разработки СППР и эффективного использования таких систем в медицинской радиологии [3]. С появлением цифровых маммографов появилась возможность разработки и внедрения специализированных СППР для помощи врачу-маммологу. Но данные аппараты весьма дорогостоящие и лишь начинают появляться в отечественных медицинских учреждениях.

На сегодняшний день не существует отечественных разработок данного вида СППР. В Украине существуют лишь поисковые системы для радиологов, базы данных (БД) с различного рода маммограммами, специализированные БД для медицинского персонала и радиологические информационные системы (РИС). При помощи РИС осуществляется сбор информации и создание различного рода медицинских карт. Однако перечисленные выше системы не могут генерировать диагностические решения, которые необходимы врачу-маммологу при постановке окончательного диагноза. [4, 5]. В связи с этим существует необходимость создания специализированных СППР в медицинской радиологии, которые помогут существенно упростить работу врача-маммолога.

Целью статьи является разработка структуры СППР в медицинской радиологии для улучшения визуализации патологий на маммограммах.

Проектирование СППР. Создание подобного рода систем является трудоемкой и сложной задачей. При проектировании СППР необходимо изначально заложить архитектурные принципы, которые в будущем обеспечат возможность расширения и изменения системы, но не в целом, а лишь некоторых ее модулей, а также дадут возможность простоты использования системы [6]. Для обеспечения требуемых качеств, в настоящее время, широко используется проектирование с применением модульно-блочной технологии, где отдельные модули не зависят друг от друга и легко могут быть заменены или модифицированы. На рис. представлена структурная схема разрабатываемой СППР.

Данную систему можно условно разбить на две части: автоматизированное рабочее место (АРМ) врача-маммолога (работа с пациентом) и подсистема поддержки принятия решений (ПППР) (постобработка данных) [7].

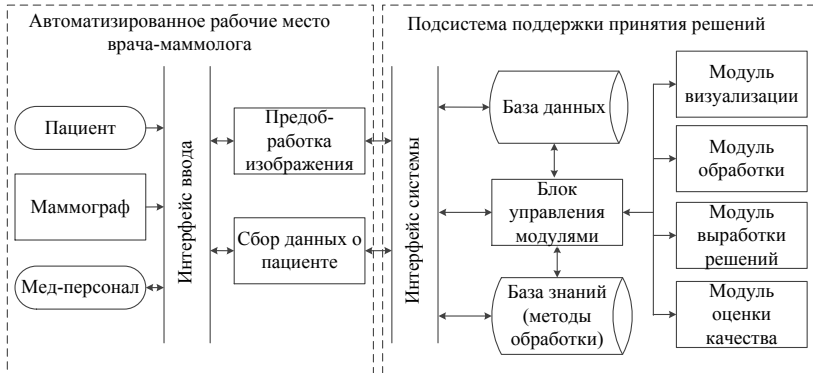


Рис. Структурная схема СППР

АРМ врача-маммолога служит для взаимодействия врача и пациента. Проведение маммографического обследования можно условно разбить на следующие этапы: первичный опрос, получение рентгеновских снимков груди (маммограммы) и заполнение полученных данных. Интерфейс ввода служит для связи между аппаратной частью (маммографом) и программной частью АРМ. Данный интерфейс имеет графический дизайн, который представляет исходную информацию в удобном для врача-маммолога виде. Модуль предобработки изображений используется для представления рентгеновских снимков в заданном формате, удобном для хранения в БД. Модуль сбора данных о пациенте формирует запись (личные данные и анамнез пациента) в соответствующем виде для занесения в базу данных.

ПППР. Связь АРМ и ПППР осуществляется через интерфейс системы. ПППР содержит следующие части: блок управления модулями, модуль обработки, модуль визуализации, модуль оценки качества, модуль выработки решений, БД и база знаний. Рассмотрим более подробно каждый из модулей.

Блок управления модулями предназначен для взаимодействия между различными модулями системы и целостной работы СППР. Данный модуль может расширяться набором функций, необходимых врачу для работы, и при этом легко позволяет изменить и расширить функционал СППР за счет модификации существующих или добавления новых модулей, что не повлечет за собой изменение архитектуры СППР в целом [8].

Модуль обработки получает исходные изображения из БД и осуществляет их обработку функциями из базы знаний. В данном модуле

используются разработанные ранее авторами методы и алгоритмы [9], применение которых дает возможность визуализировать патологии на маммограммах. Обработанные изображения передаются в модуль визуализации.

Модуль визуализации используется для отображения изображений, которые могут быть представлены в оригинальном виде или после манипуляций над исходными изображениями в модуле обработки.

Модуль оценки качества используется для экспертной оценки качества визуализации патологических структур, а также качества классификации выделенных зон интереса на маммограммах.

Модуль выработки решений предназначен для формирования диагностических решений на основании анамнеза и результатов обработки маммограмм (выделение и классификация зон интереса, а также расчет статистических и диагностических показателей).

В базе данных хранятся основные данные о пациенте: дата исследования, Ф.И.О., личные данные пациента, возраст, анамнез и рентгеновские снимки. Количество снимков может варьироваться от четырех до шести штук (снимки груди в двух проекциях – косой и прямой, а также при необходимости дополнительные снимки) [10]. Врачу-маммологу необходимо знать динамику развития заболевания, поэтому в БД также хранятся истории болезней пациентов.

База знаний – это специализированная БД, которая имеет структурированную систему. Каждая структура представляет собой набор функций для решения специфической задачи. Возможность доступа к данным функциям может быть и из других модулей.

Разработанная система может легко расширяться за счет добавления или изменения модулей системы, расширения базы знаний и дает возможность централизованного хранения БД с использованием локальных АРМ. Разработка СППР ведется совместно с государственным учреждением "Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева Национальной академии наук Украины".

Выводы. В данной работе обоснована актуальность разработки системы поддержки принятия решений в радиологии для улучшения визуализации патологических структур на маммограммах, приведена структурная схема и рассмотрены основные модули разрабатываемой системы. Дальнейшая работа направлена на разработку новых методов для различных модулей СППР и программную реализацию модулей разрабатываемой СППР.

Список литературы: 1. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс] http://www.who.int/nmh/countries/ukr_en.pdf?ua=1. NCD Country Profiles, 2011 // Режим

доступа: <http://www.who.int/>, свободный. – Загл. с экрана. 2. Хай Г.А. Компьютерная поддержка работы врача / Г.А. Хай // Информационные технологии в здравоохранении. – 2001. – № 10-12. – С. 10-11. 3. Лебедева Г.С. Классификация медицинских информационных систем / Г.С. Лебедева, Ю.Ю. Мухина // "Информационные технологии в медицине. 2011-2012". – М.: Радиотехника, 2012. – С. 42-62. 4. Покровский В.И. Текущие задачи информатизации медицинской науки / В.И. Покровский, В.А. Лишук, Г.В. Шевченко // Вестник Рос. акад. мед. наук. – 2004. – № 2. – С. 3-6. 5. Лишук В.А. Об инфраструктуре информационной поддержки клинической медицины / В.А. Лишук, А.В., Гаврилов Г.В., Шевченко и др. // Медицинская техника. – 2003. – № 4. – С. 36-42. 6. Бурцев М.В. Архитектура системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 26-31. 7. Классификация методов поддержки принятия решений. – Институт проблем информатики РАН [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.ipiran.ru/niap/pages/st_19.pdf / Режим доступа: <http://www.ipiran.ru/> – Загл. с экрана. 8. Терелянский П. В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования: монография / П.В. Терелянский. – Волгоград: ВолгГТУ, 2009. – 127 с. 9. Boyko D. The Imaging Method of Pathologic Structures on Mammograms Using Layerwise Overlay / D. Boyko, A. Filatova, A. Povoroznyuk // International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science": Lviv Polytechnic National University, 2014. – P. 745-747. 10. Терновой С.К. Лучевая маммология / С.К. Терновой, А.Б. Абдураимов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 128 с.

Bibliography (transliterated): 1. Vsemirnaya organizatsiya zdorvoohraneniya [Elektronnyiy resurs] http://www.who.int/nmh/countries/ukr_en.pdf?ua=1. NCD Country Profiles, 2011 // Rezhim dostupa: <http://www.who.int/>, svobodnyiy. – Zagl. s ekrana. 2. Hay G.A. Kompyuternaya podderzhka raboty vracha / G.A. Hay // Informatsionnyie tehnologii v zdorvoohranenii, 2001. – № 10-12, S. 10-11. 3. Lebedeva G.S. Klassifikatsiya meditsinskih informatsionnyih sistem / G.S. Lebedev, Yu.Yu. Muhina // «Informatsionnyie tehnologii v meditsine. 2011-2012» – M.: Radiotekhnika. – 2012. – S. 42–62. 4. Pokrovskiy, V.I. Tekuschie zadachi informatizatsii meditsinskoy nauki / V.I. Pokrovskiy, V.A. Lischuk, G.V. Shevchenko // Vestnik Ros. akad. med. nauk. – 2004. – № 2. – S. 3–6. 5. Lischuk V.A. Ob infrastrukture informatsionnoy podderzhki klinicheskoy meditsiny / V.A. Lischuk, A.V. Gavrilov, G.V. Shevchenko i dr.// Meditsinskaya tehnika. – M.: 2003. – № 4. – S. 36–42. 6. Burtsev M.V. Arhitektura sistemyi podderzhki prinyatiya resheniy v meditsine, osnovannoy na kombinirovannom reshayuschem pravile / M.V. Burtsev, A.I. Povoroznyuk // Visnik NTU "HPI". Zblnik naukovih prats. Seriya: Informatika I modelyuvannya. – Harkiv: NTU "HPI". – 2012. – № 38. – S. 26-31. 7. Klassifikatsiya metodov podderzhki prinyatiya resheniy / Institut problem informatiki RAN [Elektronnyiy resurs] http://www.ipiran.ru/niap/pages/st_19.pdf / Rezhim dostupa: <http://www.ipiran.ru/>. – Zagl. s ekrana. 8. Terehlyanskiy, P.V. Sistemyi podderzhki prinyatiya resheniy. Opyit proektirovaniya: monografiya / P.V. Terehlyanskiy – Volgograd, 2009. – 127 s. 9. Boyko D. The Imaging Method of Pathologic Structures on Mammograms Using Layerwise Overlay / D. Boyko, A. Filatova, A. Povoroznyuk // International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science": Lviv Polytechnic National University, 2014. – P. 745-747. 10. Ternovoy S.K. Luchevaya mammologiya / S.K. Ternovoy, A.B. Abduraimov. – M.: GEOTAR-Media, 2007. – 128 s.

Поступила (received) 01.04.2014

Работу представил д-р техн. наук, проф НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.

Boyko Dmytro, Post-graduate
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 (063) 288-98-90, e-mail: boyko_bda@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-8236-3750

Zamozhska Olena, Assist. Of The Radiology Dep. Of KhNMU
State Institution "Grigoriev Institute for Medical Radiology of
National Academy of Medical Science of Ukraine"
Str. Pushkinskaya, 82, Kharkiv, Ukraine, 61024
tel./phone: (052) 704-10-61
ORCID ID: 0000-0001-9214-6602

Filatova Ganna Evgenivna, Cand.Tech.Sci
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-60-19, e-mail: filatova@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-1982-2322

УДК 651.326

Н.Н. БОНДИНА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
Р.Ю. МУРАРОВ, студент, НТУ "ХПИ"

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯ КОНТРАСТА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассмотрена адаптивная фильтрация на основе линейных и медианных алгоритмов, изменения размеров апертуры и выбора различных шаблонов апертуры. Приведены примеры видоизменения гистограмм на базе адаптивных алгоритмов. Вычислены объективные оценки для сравнения алгоритмов фильтрации адаптивными фильтрами. Ил.: 3. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы фильтрации, видоизменения гистограммы изображения, сравнение алгоритмов фильтрации.

Постановка проблемы. Адаптивные алгоритмы широко применяются в различных задачах обработки изображений наряду с классическими линейными и медианными методами. Представляет интерес проследить влияние различных алгоритмов адаптации на качество получаемых изображений, сравнить эти методы и сформулировать рекомендации по их использованию. При этом адаптацию можно применять как для фильтрации изображений, так и для изменения их контраста.

Анализ литературы. Адаптивные алгоритмы описаны в классическом труде по обработке изображений Р. Гонсалеса и Р. Вудсона [1]. Идея адаптации алгоритмов изложена так: "Важным аспектом обработки изображений при использовании значений локальных среднего и дисперсии является гибкость, которая позволяет использовать простые, но мощные методы улучшения, основанные на статистических измерениях, имеющих близкое и предсказуемое соответствие виду самого изображения". Такой подход к адаптации алгоритмов обработки изображений является актуальным и в настоящее время [2, 3].

При адаптации алгоритмов наиболее подходящими статистическими параметрами для характеристики изображения являются среднее значение и дисперсия, отвечающие небольшим участкам изображения. Именно они определяют внешний вид изображения. Среднее значение даёт меру средней яркости, а дисперсия – меру среднего отклонения яркости или контраста. Для фрагмента изображения S_{xy} , представляющего собой матрицу размером $m \times n$, эти статистические характеристики рассчитываются по формулам [1, 4]:

$$\mu = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s,t),$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} (g(s,t) - \mu)^2,$$

где μ – среднее значение уровня яркости фрагмента S_{xy} ; $g(s, t)$ – текущий уровень яркости во фрагменте; σ^2 – дисперсия фрагмента.

Адаптацию алгоритма к локальным характеристикам изображения можно также выполнить посредством выбора размера апертуры или шаблона для фильтрации [5, 6]. Ещё одна характеристика изображения – её гистограмма, связана с контрастом, от которого также зависит качество изображения. Значения яркостей можно рассматривать как случайные величины, характеризующиеся функцией плотности распределения вероятностей, а гистограмма даёт представление об этой функции.

Цель статьи – сравнение алгоритмов адаптивной фильтрации по их эффективности, сложности и быстродействию для использования в обработке изображений, применение методов видоизменения гистограмм для изменения контраста. Все эти методы объединяет использование различных статистических параметров изображения для его целенаправленной обработки.

Сравнение алгоритмов адаптивной фильтрации. Линейные и медианные фильтры удобно использовать для фильтрации аддитивного гауссова и импульсного шума соответственно. Их применение не учитывает того факта, что параметры изображения изменяются от точки к точке. Адаптивные фильтры лишены этого недостатка: их свойства изменяются в соответствии с изменяющимися характеристиками изображения. Возможности адаптивных фильтров могут превосходить возможности линейных и медианных фильтров, на основе которых они созданы. Это зависит как от самого изображения, так и его зашумлённости. При этом увеличивается сложность алгоритмов и, возможно, время работы фильтра. Адаптивный алгоритм на базе линейного фильтра (АЛ) описан в [1, 7]. Решение о замене пикселя принимается в зависимости от локальной дисперсии. Если локальная дисперсия велика по отношению к дисперсии всего изображения, то считается, что пиксель находится на границе и его изменять не нужно, в противном случае работает усреднение. Адаптация заключается в том, что не всегда происходит усреднение, это должно препятствовать размытию изображения в ходе фильтрации.

Адаптивный алгоритм на базе медианного фильтра (АМ) также описан в [1, 7]. В случае медианного фильтра значение пикселя всегда заменяется медианой, независимо от того, является ли этот пиксель импульсом. При повышении плотности импульсного шума медианный фильтр заметно ухудшает свою работу. Адаптация заключается в том, что сначала пиксель детектируется на импульс, то же происходит и с медианой. Замена происходит только в том случае, если пиксель есть импульс, а медиана – нет. Если импульсом оказалась медиана, происходит увеличение размеров апертуры, что изменит медиану и, возможно, даст лучшие результаты, поскольку теперь всё проверяется заново.

Размеры апертуры изменяются и в алгоритме на базе линейного, но с учётом вычисленной дисперсии, это – адаптивный алгоритм с изменением размера апертуры (АИРА) [8]. Известно, что размеры апертуры влияют на степень сглаживания, меньшие размеры апертуры лучше сохраняют контрастные детали, но шум будет сглажен хуже. Большие размеры апертуры обеспечивают лучшее удаление шума, но могут размыть детали. Поэтому размер апертуры должен следовать за самим изображением: в монотонных областях можно работать с большими размерами апертуры, вблизи перепадов яркости размер апертуры следует уменьшать. Это реализовано в алгоритме на основе сопоставления дисперсий – локальной и всего изображения.

Линейные алгоритмы усредняют все точки апертуры вокруг центрального пикселя, что может привести к размытию деталей. Размытие можно уменьшить, выбирая среди точек апертуры такие, что имеют незначительные различия по яркости, и среднее брать по этим точкам. Апертура 5×5 разбивается на отдельные шаблоны из девяти вариантов (рис.1).

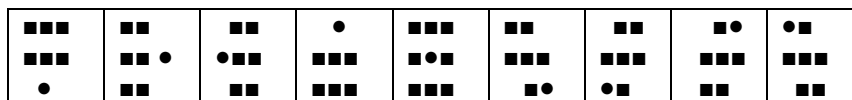


Рис.1. Шаблоны окон: ● – центральный пиксель, куда записывается выход фильтра, ■ – точки апертуры для расчёта характеристик фильтра.

Такой метод представляет собой объединение линейных и нелинейных методов в развитие идей, изложенных в [5]. Это – фильтр адаптивный с выбором шаблонов (АВШ). Уровень яркости центрального элемента определяется как среднее значение в шаблоне, где дисперсия будет наименьшей. Кроме уменьшения потерей деталей, такая обработка позволяет адаптировать алгоритм фильтрации к различным шумам, что

представляет особый интерес в случае, если тип шума заранее неизвестен.

На вопрос, какой фильтр лучше использовать в каждом конкретном случае, можно ответить, опробовав все эти методы. Для этого была разработана на языке С# система обработки изображений с учётом их статистических характеристик. Обработка изображений сопровождается вычислением количественных характеристик оценки качества фильтрации [9]. Результаты сравнения описанных фильтров по пиковому отношению сигнал/шум, а также линейного и медианного приведены в таблице.

Апертура линейного, медианного фильтров и АЛ имеет размеры 5×5 . Апертура в алгоритмах АМ и АИРА в процессе фильтрации изменяется от размеров 5×5 до размеров 11×11 . Изображения были зашумлены аддитивным гауссовым шумом ($m = 0$; $\sigma^2 = 0,2$; $0,5$) и импульсным шумом с плотностью $p = 0,1$; $0,2$.

Таблица

Отношение сигнал/шум для различных фильтров

Изображение или применяемый фильтр	Аддитивный гауссов шум		Импульсный шум	
	$\sigma^2=0,2$	$\sigma^2=0,5$	$p=0,1$	$p=0,2$
Зашумлённое изображение	40,69	28,79	27,03	23,51
Линейный фильтр	40,86	32,37	33,87	28,73
Медианный фильтр	36,88	29,68	32,77	24,72
АЛ	40,27	31,24	30,90	26,68
АМ	39,70	29,67	41,02	38,86
АИРА	29,35	30,39	29,42	29,85
АВШ	40,95	33,17	40,23	35,45

Значения отношения сигнал/шум после фильтрации разными методами увеличиваются. Для АМ и АВШ эти значения остаются примерно на одном и том же уровне. Сравнение по времени работы отдаёт предпочтение фильтрам на базе линейных, они примерно в 4 раза быстрее медианных. АМ увеличивает время обработки по сравнению с медианным, но незначительно. Время обработки у АВШ примерно такое же, как у медианного.

Аддитивный шум, как видно из таблицы, хорошо удаляется линейной фильтрацией. При малых значениях σ^2 отношение сигнал/шум исходного изображения имеет изначально достаточно большое значение, поэтому его увеличение после фильтрации невелико, при больших значениях σ^2 заметно преимущество линейных методов и их адаптивных аналогов. Но при этом наблюдается размытие изображения: наибольшее для линейного метода, меньше для АЛ и не наблюдается размытие в алгоритме АВШ. Таким образом, для аддитивного шума наилучшие результаты показал АВШ.

Импульсный шум хорошо удаляется медианным фильтром, но при этом заметно размытие границ, а также с увеличением плотности шума снижается его эффективность. АМ и АВШ лишены этих недостатков. С увеличением плотности шума лучшие результаты и по показателям и по снижению размытия у АВШ.

В случае комбинированного шума при небольших плотностях шума лучший результат у АМ, с увеличением плотности шума на первом месте АВШ. Если заранее характер шума неизвестен, имеет смысл попробовать АВШ, поскольку этот алгоритм неизменно даёт хороший результат.

На рис 2. представлен результат фильтрации на МРТ изображения, шум комбинированный.

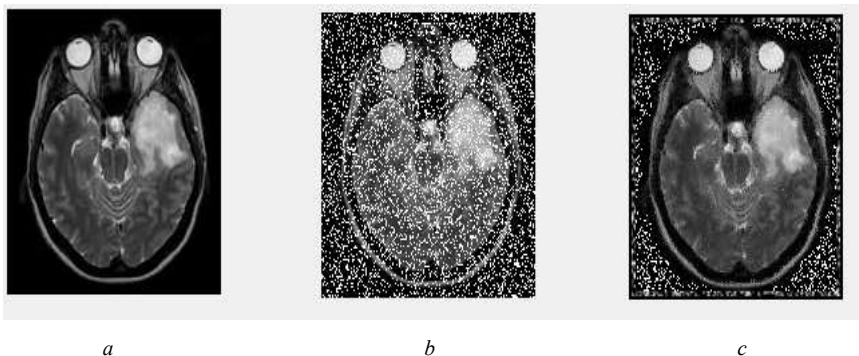


Рис.2. Результат фильтрации адаптивным медианным фильтром МРТ изображения (комбинированный шум, $\sigma^2 = 0,2, p = 0,2$): *a* – исходное изображение; *b* – зашумлённое изображение; *c* – восстановленное изображение.

Рис. 2 подтверждает оценки таблицы, визуально качество фильтрации может быть оценено как высокое. Результат работы фильтра АИРА тоже удовлетворительный, но после фильтрации изображение

менее контрастно. Этот недостаток можно исправить, используя гистограмму изображения.

Видоизменение гистограмм. Гистограмма содержит полезную статистическую информацию об изображении, которую можно использовать для улучшения его контраста. В системе реализован линейный метод преобразования гистограмм. Пример работы с гистограммой показан на рис. 3. На нём представлено три изображения: исходное, результат линейного контрастирования и результат изменения контраста адаптивным методом. Алгоритм линейного контрастирования требует определения минимального и максимального значения уровней яркости обрабатываемого изображения.

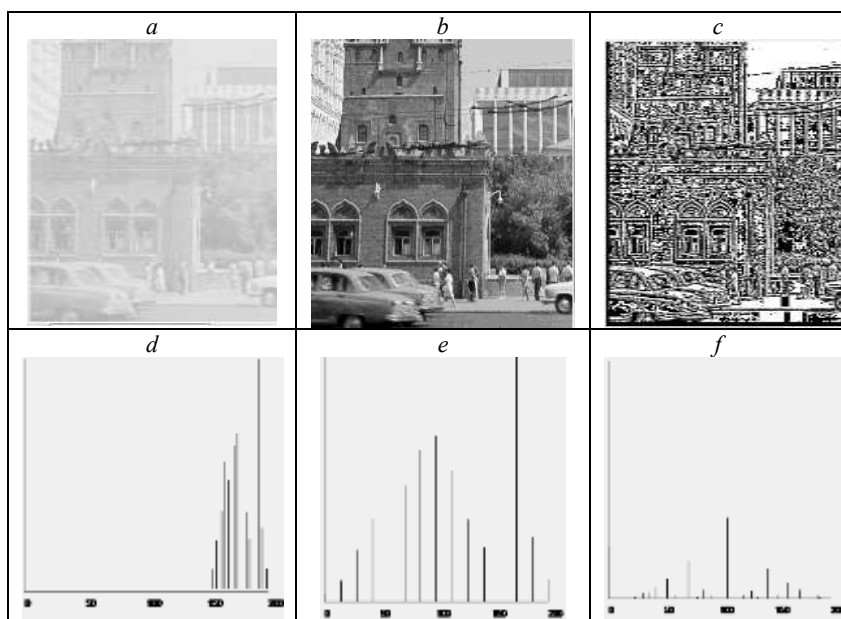


Рис. 3. Линейное преобразование гистограммы; *a* – исходное изображение; *b* – изображение после линейного контрастирования; *c* – контрастирование с использованием шаблонов; *d* – гистограмма исходного изображения; *e, f* – гистограммы после контрастирования линейного и с шаблонами соответственно

Адаптивный алгоритм рассчитывает минимальный и максимальный уровень яркости локально, в пределах апертуры. Нами предложено для адаптации алгоритма изменения контраста использовать выбор шаблонов, как это было описано в случае фильтрации. Выбирается

шаблон с минимальной дисперсией, а в нём вычисляется минимальное и максимальное значение уровня яркости. Этот алгоритм позволяет подчеркнуть границы изображения, что хорошо видно на рис. 3, с. После преобразования гистограмма в обоих случаях растягивается по всему диапазону (рис. 3, *d* и 3, *f*), что гарантирует метод линейного контрастирования.

Таким образом, адаптивные методы обработки изображений позволяют сглаживать шум изображения и изменять контраст, используя для этого статистические свойства изображения, увеличивая отношение сигнал/шум в изображении, уменьшая степень размытия границ и улучшая контраст изображения с подчёркиванием границ.

Выводы.

1. Использование статистических характеристик изображения действительно способствуют улучшению качества обработки изображений.

2. При сравнении алгоритмов фильтрации лучшие результаты по пиковому отношению сигнал/шум показал АМ, а при увеличении плотности шума – АВШ.

3. Фильтры АМ, АИРА, АВШ хорошо справляются со всеми видами шумов.

4. По времени работы фильтры на основе линейных примерно в четыре раза быстрее тех, что основаны на медианных фильтрах.

5. Предложен вариант линейного контрастирования с выбором шаблона при определении параметров обработки, что позволяет подчеркнуть детали изображения.

Список литературы: 1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Изд-во ТЕХНОСФЕРА, 2005. – 1072 с. 2. Калинин В. Статистические, нейросетевые и комбинированные алгоритмы фильтрации аппликативных помех на изображениях / В. Калинин, А.А. Сирота // Автометрия. – 2012. – № 6. – С. 18-28. 3. Воскобойников Ю.Е. Адаптивный алгоритм фильтрации и преобразование изображений в векторный формат / Ю.Е. Воскобойников, А.Б. Колкер // Автометрия. – 2002. – № 4. – С. 3-11. 4. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 5. Digital Processing of Biomedical Images / Edited by K. Preston and M. Onoe. – PLENUM PRESS, New York, 1976. – 442 p. 6. Kyprianidis J.E. Image and Video Abstraction by Multi-scale Anisotropic Kuwahara Filtering / J.E. Kyprianidis // Proc. 9th Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR). – 2011. – P. 55-64. 7. Бондина Н.Н. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, В.Е. Кривенцов // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38 – С. 14-25. 8. Белявцев В.Г. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры / В.Г. Белявцев, Ю.Е. Воскобойников // Автометрия. – 1998. – № 3. – С. 18-27. 9. Бондина Н.Н. Сравнение объективных оценок качества фильтрации медицинских изображений. / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, О.А. Козина // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 15-21.

Bibliography (transliterated): 1. *Gonsales R.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / *R. Gonsales, R. Vuds.* – M.: Izd-vo TEHNOSFERA, 2005. – 1072 s. 2. *Kalinin V.* Statisticheskie, nejrosetevye i kombinirovannye algoritmy fil'tracii aplikativnyh pomех na izobrazhenijah / *V. Kalinin, A.A. Sirota* // *Avtometrija*. – 2012. – № 6. – S. 18-28. 3. *Voskobochnikov Ju.E.* Adaptivnyj algoritм fil'tracii i preobrazovanie izobrazhenij v vektornyj format / *Ju.E. Voskobochnikov, A.B. Kolker* // *Avtometrija*. – 2002. – № 4. – S. 3-11. 4. *Jane B.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / *B. Jane.* – M.: Tehnosfera, 2007. – 584 s. 5. *Digital Processing of Biomedical Images* / *Edited by K. Preston and M. Onoe.* – PLENUM PRESS, New York, 1976. – 442 p. 6. *Kyprianidis J.E.* Image and Video Abstraction by Multi-scale Anisotropic Kuwahara Filtering / *J.E. Kyprianidis* // *Proc. 9th Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR)*. – 2011. – S. 55–64. 7. *Bondina N.N.* Sravnitel'nyj analiz algoritmov fil'tracii medicinskih izobrazhenij / *N.N. Bondina, A.S. Kalmychkov, V.E. Krivencov* // *Vestnik NTU "HPI". Serija: Informatika i modelirovanie.* – Har'kov: NTU "HPI". – 2012. – № 38 – S. 14-25. 8. *Beljavcev V.G.* Algoritmy fil'tracii izobrazhenij s adaptaciej razmerov apertury / *V.G. Beljavcev, Ju.E. Voskobochnikov* // *Avtometrija*. – 1998. – № 3. – S. 18-27. 9. *Bondina N.N.* Sravnenie ob'ektivnyh ocenok kachestva fil'tracii medicinskih izobrazhenij / *N.N. Bondina, A.S. Kalmychkov, O.A. Kozina* // *Visnik NTU "HPI". Serija: Informatika ta modeljuvannja.* – Harkiv: NTU "HPI". – 2013. – № 39 (1012). – S. 15-21.

Поступила (received) 30.03.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. ХТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.

Bondina Nina, Cand.Sci.Tech,
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-60-19, e-mail: bondinina@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0003-2413-0021

Murarov Ruslan, magistr
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 0939646797, e-mail: myr4ikl@gmail.com

УДК 658.012

В.А. ГОЛОВКО, асп., НТУ "ХПИ",
ЯМЕН ХАЗИМ, асп., НТУ "ХПИ"

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРЕЛИРОВАННОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА ПО МАЛОЙ ВЫБОРКЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Рассмотрен метод оценки прогнозируемого значения случайного процесса, отсчеты которого коррелированы. Выделение детерминированных полиномиальной и гармонической составляющих наблюдаемого процесса с учетом малого объема выборки реальных статистических данных осуществляется методом наименьших квадратов. Расчет случайной составляющей прогнозируемого значения выполнен с использованием значения корреляционной функции, соответствующего интервалу между наблюдениями процесса. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: коррелированный временной ряд, малая выборка, прогнозирование.

Постановка проблемы и анализ литературы. Пусть совокупность значений случайного процесса, наблюдаемого через равные промежутки времени ΔT , образует последовательность $\{y_1, y_2, \dots, y_n, \dots\}$. Ограничимся n наблюдениями, имеющимися к текущему моменту времени. Будем считать, кроме того, что эти наблюдения коррелированы.

Прогнозирование случайных процессов – важнейший элемент сложной задачи описания изменения показателей динамических процессов, протекающих в системах различного назначения (в экономике, технике, медицине, социологии, военном деле и т.д.). К настоящему времени известны более ста различных методов построения прогнозирующих моделей, детальный анализ и классификация которых приведены в [1, 2]. В задачах, когда реальный объем статистических данных ограничен, наиболее применимыми оказываются экстраполяционные методы прогнозирования [3 – 5], к которым относятся метод наименьших квадратов и совокупность методов сглаживания. При этом, если выборка исходных данных мала, применение методов сглаживания, принципиальная особенность которых состоит в учете неравноважности "старых" и "новых" наблюдений, не дает заметных преимуществ перед методом наименьших квадратов [6 – 8]. Рассмотрим возможность применения метода наименьших квадратов для прогнозирования, например, случайного процесса спроса, наблюдения которого коррелированы.

Пусть временной ряд представлен совокупностью n коррелированных отчетов $\{y_1, y_2, \dots, y_n, \dots\}$. Поставим задачу краткосрочного прогнозирования ряда. Наблюдаемый процесс, предположительно, представляет собой суперпозицию детерминированных процессов, содержащих полиномиальную (трендовую) и гармоническую составляющие, измерения которого искажены случайным процессом, формируемым за счет ошибок измерений и, возможно, коррелированным за счет шумового влияния неконтролируемых факторов.

Цель статьи – решить задачу выделения и аналитического описания детерминированных и случайных составляющих процесса и его прогнозирования.

Основной результат. Построение искомой математической модели проведем поэтапно в следующей последовательности.

Этап 1. Выделение детерминированного тренда. Для аналитического описания поведения детерминированной составляющей наблюдаемого процесса введем полиномиальную модель

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_d t^d. \quad (1)$$

Пусть наблюдения процесса проводятся в моменты времени $\{\Delta T, 2\Delta T, \dots, n\Delta T\}$. Надлежащим масштабированием приведем последовательность моментов наблюдения к виду $\{1, 2, \dots, n\}$.

Параметры модели найдем методом наименьших квадратов [5, 6]. С этой целью используем матрицу H и векторы A и Y :

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & 2^d & 3^d & \dots & n^d \end{pmatrix}; \quad A = \begin{pmatrix} a_0 \\ \dots \\ a_d \end{pmatrix}; \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}.$$

Тогда наилучшие в смысле наименьших квадратов оценки коэффициентов полинома (1) определяются по формуле

$$\hat{A} = (H^T H)^{-1} H^T Y.$$

Этап 2. Выделение периодической составляющей. После выделения из последовательности наблюдений процесса трендовой составляющей необходимо провести анализ наличия или отсутствия колебаний спроса. Отметим, что в задаче краткосрочного прогнозирования сезонными

колебаниями спроса можно пренебречь. В связи с этим для описания суточных колебаний используем простейшую модель

$$\tilde{y}(t) = b \sin \frac{2\pi}{T_0} t + c \cos \frac{2\pi}{T_0} t, \quad T_0 = 24 \text{ часа.} \quad (2)$$

Выбор этой модели определяется следующими её достоинствами.

Во-первых, она позволяет оценить неизвестные амплитуду и фазу гармонической составляющей, так как $c \cos \omega t + b \sin \omega t = A \sin(\omega t + \varphi)$,

$$A = \sqrt{c^2 + b^2}, \quad \varphi = \arctg(c/b), \quad \omega = 2\pi/T_0.$$

Во-вторых, модель (2) линейна относительно оцениваемых параметров. В модели (2) $\tilde{y}(t) = y(t) - \hat{y}(t)$ – результат, получающийся после удаления из наблюдаемого процесса трендовой полиномиальной составляющей. При этом для моментов наблюдений $\{\Delta T, 2\Delta T, \dots, n\Delta T\}$ получим соответствующую совокупность $\{\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_n\}$. Неизвестные параметры b и c вновь найдем методом наименьших квадратов. Введем

$$I_1 = \sum_{j=1}^n \left(b \sin \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T + c \cos \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T - \tilde{y}_j \right)^2. \quad (3)$$

Далее

$$\begin{aligned} \frac{dI_1}{dc} = c \sum_{j=1}^n \cos^2 \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T + b \sum_{j=1}^n \sin \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T \cdot \cos \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T - \\ - \sum_{j=1}^n \tilde{y}_j \cos \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{dI_1}{db} = c \sum_{j=1}^n \sin \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T \cdot \cos \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T + b \sum_{j=1}^n \sin^2 \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T - \\ - \sum_{j=1}^n \tilde{y}_j \sin \frac{2\pi}{T_0} j\Delta T = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Решение системы уравнений (4), (5) определяет параметры b и c аналитического описания гармонической составляющей процесса.

Этап 3. Обработка случайной составляющей. После выделения из наблюдаемого процесса детерминированных полиномиальной (1) и

периодической (2) составляющих получим случайную последовательность $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$, $\tau_j = y_j - \hat{y}_j - \tilde{y}_j$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Найдем оценку дисперсии случайной величины, выборка значений которой образует последовательность $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$. Эта оценка равна

$$\hat{\sigma}_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \tau_j^2.$$

Рассчитаем теперь величину коэффициента корреляции между соседними членами в последовательности T , которая

определяется по формуле $K_{n-1} = \frac{1}{(n-1)\hat{\sigma}_n^2} \sum_{j=1}^{n-1} \tau_j \tau_{j+1}$. Дополним

последовательность T неизвестным прогнозируемым значением спроса τ_{np} . Запишем соотношение для коэффициента корреляции между соседними членами в дополненной последовательности $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n, \tau_{np}$:

$$\begin{aligned} K_n &= \frac{1}{n\sigma_{n+1}^2} \sum_{j=1}^n \tau_j \tau_{j+1} = \frac{1}{n\sigma_{n+1}^2} \left(\sum_{j=1}^{n-1} \tau_j \tau_{j+1} + \tau_n \tau_{np} \right) = \\ &= \frac{(n-1)\hat{\sigma}_n^2}{n\sigma_{n+1}^2} K_{n-1} + \frac{1}{n\sigma_{n+1}^2} \tau_n \tau_{np}. \end{aligned} \quad (6)$$

Заметим теперь, что даже если число наблюдаемых членов в последовательности T не слишком велико, можно приближенно считать, что $\sigma_n^2 \approx \sigma_{n+1}^2$, $K_n \approx K_{n-1}$.

Тогда соотношение (6) упростится к виду:

$$\begin{aligned} K_{n-1} &\cong \frac{n-1}{n} K_{n-1} + \frac{1}{n\sigma_n^2} \tau_n \tau_{np}, \text{ откуда} \\ \tau_{np} &\cong \frac{K_{n-1} \cdot \sigma_n^2}{\tau_n}. \end{aligned} \quad (7)$$

Теперь с использованием (1), (2), (7) получим оценку прогнозируемого значения процесса:

$$\begin{aligned} y(t_{np}) &= \hat{y}(t_{np}) + \tilde{y}(t_{np}) + \tau_{np} = \\ &= \sum_{i=0}^d \hat{a}_i t_{np}^i + \hat{b} \sin \frac{2\pi}{T_0} t_{np} + \hat{c} \cos \frac{2\pi}{T_0} t_{np} + \frac{K_{n-1} \sigma_n^2}{\tau_n}. \end{aligned}$$

Выводы. Таким образом, с использованием традиционных методов получены простые соотношения для оценки прогнозируемого значения коррелированного случайного процесса. Прогнозируемое значение является суммой соответствующих значений для детерминированных полиномиальной и гармонической составляющих и значения случайной составляющей, рассчитанной с использованием корреляционной функции процесса.

Список литературы: 1. *Вартанян В.М.* Моделирование динамических процессов по временным рядам / *В.М. Вартанян, Ю.А. Романенков, Д.С. Ревенко, В.Ю. Кащеева.* – Х.: НАУ им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", 2012. – 266 с. 2. *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического процесса / *Э. Янч.* – М.: Прогресс, 1980. – 568 с. 3. *Льюис К.* Методы прогнозирования экономических показателей / *К. Льюис.* – М.: Финансы и статистика, 1986. – 133 с. 4. *Шелобаев С.И.* Математические методы и модели / *С.И. Шелобаев.* – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. – 496 с. 5. *Линник Ю.В.* Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений / *Ю.В. Линник.* – М.: Физматгиз, 1968. – 352 с. 6. *Вучков И.* Прикладной линейный регрессионный анализ / *И. Вучков, И. Бояджиева, Е. Солаков.* – М.: Финансы и статистика, 1987. – 239 с. 7. *Більчук В.М.* Теорія ймовірностей, випадкові процеси та математична статистика / *В.М. Більчук.* – Х.: ХУПС, 2009. – 436 с. 8. *Красс М.С.* Математические методы и модели для магистрантов в экономике / *М.С. Красс, Б.П. Чупрынов.* – СПб.: ПИТЕР, 2010. – 496 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Vartanjan V.M.* Modelirovanie dinamicheskikh processov po vremennym rjadam / *V.M. Vartanjan, Ju.A. Romanenkov, D.S. Revenko, V.Ju. Kashheeva.* – H.: NAU im. N. E. Zhukovskogo "HAI", 2012. – 266 s. 2. *Janch Je.* Prognozirovanie nauchno-tehnicheskogo processa / *Je. Janch.* – M.: Progress, 1980. – 568 s. 3. *L'juis K.* Metody prognozirovanija jekonomicheskikh pokazatelej / *K. L'juis.* – M.: Finansy i statistika, 1986. – 133 s. 4. *Shelobaev S.I.* Matematicheskie metody i modeli / *S.I. Shelobaev.* – M.: JuNITI-DANA, 2009. – 496 s. 5. *Linnik Ju.V.* Metod naimen'shikh kvadratov i osnovy teorii obrabotki nabljudenij / *Ju.V. Linnik.* – M.: Fizmatgiz, 1968. – 352 s. 6. *Vuchkov I.* Prikladnoj linejnyj regressionnyj analiz / *I. Vuchkov, I. Bojadzhieva, E. Solakov.* – M.: Finansy i statistika, 1987. – 239 s. 7. *Bil'chuk V.M.* Teorija jmovirnostej, vipadkovi procesi ta matematichna statistika / *V.M. Bil'chuk.* – H.: HUPS, 2009. – 436 s. 8. *Krass M.S.* Matematicheskie metody i modeli dlja magistrantov v jekonomike / *M.S. Krass, B.P. Chuprynov.* – SPb.: PITER, 2010. – 496 s.

Поступила (received) 26.02.2014

Работу представил д-р техн. наук, проф НТУ "ХПИ" Раскин Л.Г.

Golovko Vitaliy, graduate student
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-66-28, e-mail: Sova_vika92@mail.ru

Yamen Hazim, graduate student
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-66-28, e-mail: Sova_vika92@mail.ru

УДК 004.93'1

В.А. ГОРОХОВАЦКИЙ, д-р техн. наук, проф., зав. каф.,
Харьковский институт банковского дела университета банковского
дела Национального банка Украины, Харьков,

Н.В. ВЛАСЕНКО, канд. техн. наук, преп., Харьковский
национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков,

Т.В. ПОЛЯКОВА, канд. техн. наук, асс., Харьковский
национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков

ПОСТРОЕНИЕ МОДИФИКАЦИЙ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ СТРУКТУРНЫХ ОПИСАНИЙ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Обсуждаются принципы построения, трансформации и свойства модификаций для структурных описаний изображений в виде множества характерных признаков. Приведены результаты экспериментов по оцениванию достоверности и помехозащищенности предложенных методов, которые в плане достоверности и быстродействия лучше известных методов. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: характерный признак, структурное описание, трансформация, достоверность, помехозащищенность.

Постановк проблемы и анализ литературы. В современных системах компьютерного зрения получили практическое применение структурные методы распознавания визуальных объектов, описание которых представлено в виде множества характерных признаков (ХП) [1 – 4]. ХП – это числовой вектор $z \in R^n$ фиксированной размерности n , рассматриваемый совместно с его координатами (x, y) . Каждый вектор z содержит информацию о функции яркости изображения в локальной окрестности точки (x, y) и формируется специальными методами, например, SURF [2]. Конечное множество векторов $\{z\}$ образует описание изображения, его элементы обладают рядом важных для распознавания свойств, таких как инвариантность к геометрическим преобразованиям анализируемого объекта в поле зрения, а также равенством 1 модуля вектора z . Эти свойства позволяют рассматривать все множество векторов $\{z\}$ как подмножество векторного пространства $\{z\} \subset R^n$.

В результате описание Z анализируемого изображения приобретает вид конечного множества $Z = \{z_i, x_i, y_i\}_{i=1}^s$, где s – его мощность.

© В.А. Гороховацкий, Н.В. Власенко, Т.В. Полякова, 2014

Учитывая разнородный состав множества Z , его можно рассматривать как объединение двух множеств $Z = \{z\} \cup$, где $\{z\}$ отражает информацию о функции яркости объекта и в общем случае есть мультимножество, множество координат $\{(x, y)\}$ содержит пространственную информацию о взаимосвязи элементов $\{z\}$. Процедура распознавания объекта сводится к сопоставлению полученного описания Z с некоторым эталонным описанием $Z(j)$ из класса j на основе вычисления некоторой меры подобия описаний $\mathfrak{A}[Z, Z(j)]$ и оптимизации значения этой меры на конечном множестве классов $j = 1, \dots, J$ [4]. В самом общем виде классификация есть отображение $\mathfrak{R}: Z \rightarrow \{Z(j)\}$, где $\{Z(j)\}_{j=1}^J$ – конечное множество эталонных описаний (база изображений). Отображение $\mathfrak{R}$, как правило, реализуется путем решения задачи оптимизации

$$c(Z) = \arg \operatorname{opt}_{j \in \{1, \dots, J\}} \mathfrak{A}[Z, Z(j)], \quad (1)$$

где $\mathfrak{A} \in R^1$ – мера подобия, $c(Z)$ – функция получения класса объекта.

Следуя теории метрических пространств [5] и соотношению $\{z\} \in R^n$, для элементов $z_1, z_2 \in \{z\}$ можно задать произвольную метрику $\rho(z_1, z_2)$, которая определяет расстояние для пары произвольных конечных вещественных векторов в пространстве R^n , в результате чего появляется возможность оценить в теоретическом аспекте эквивалентность, а в практическом плане – близость двух векторов на основе условия $\rho(z_1, z_2) \leq \delta_z$, где δ_z – некоторый порог (параметр) точности. Исходя из этого, на основе сравнения составляемых элементов можно рассмотреть также метрическое пространство для множеств Z^1, Z^2 путем введения $\mathfrak{A}[Z^1, Z^2]$ как метрики для конечных множеств. Однако более практичным для объектов-изображений в условиях действия помех есть применение мер подобия $\mathfrak{A}[Z^1, Z^2]$, которые подсчитывают нормированное число эталонных элементов в анализируемом описании (голосование), на основе чего по максимуму функции подобия выбирается наиболее подходящий класс изображения.

Цель исследования – анализ свойств и эффективности применения модификаций систем структурных признаков при инвариантном распознавании изображений в компьютерном зрении.

Задачи работы состоят в модернизации систем признаков на основе исходного структурного описания, сравнительной оценке их эффективности с традиционными подходами, экспериментальном исследовании предложенных методов для баз изображений.

Системы признаков на основе множества ХП. Исходя из сути информационного разделения элемента описания (z_i, x_i, y_i) на вектор z_i инвариантного описания локальной окрестности и координаты (x_i, y_i) центра этой окрестности, целесообразно рассмотреть следующие пути построения, обобщения и сопоставления признаков описаний:

- на основе множества векторов-дескрипторов $\{z_i\}$;
- на основе множества координат $\{x_i, y_i\}$;
- на основе гибридного представления с одновременным включением $\{z_i\}$ и $\{x_i, y_i\}$.

В работе [6] применено преобразование множества $\{x_i, y_i\}$ координат описания к множеству $\{\gamma_k, \varsigma_k, \eta_k\}$ пространственных структур (ПС), $\gamma_k, \varsigma_k, \eta_k \in R^1$, отражающих геометрическое расположение точек $\{x_i, y_i\}$ между собой внутри описания. Значения $\gamma_k, \varsigma_k, \eta_k$ вычисляются несложным путем как решение системы линейных уравнений с учетом координат точки и базиса из трех неколлинеарных точек. Эти признаки получили название "аффинные инварианты" [1]. Их вычисление можно представить некоторой функцией F преобразования множеств $\{\alpha\} = \{\gamma_k, \varsigma_k, \eta_k\} = F\{x_i, y_i\}$. ПС $\alpha = (\gamma_k, \varsigma_k, \eta_k)$ геометрически закрепляет положение точки описания в пространстве других точек, превращая описание во множество "гроздей" из четверок ХП (один признак представлен в базисе трех других, рис. 1).

Применение аппарата ПС способствует повышению достоверности распознавания за счет включения в процесс распознавания информации о пространственных связях элементов описания. В основном это достигается за счет снижения вероятности "ложной тревоги", т.к. отдельные элементы структурных описаний разных изображений и даже группы элементов могут быть близкими между собой [6]. В то же время при применении ПС признаков возникает проблема сокращения объема полученного синтезированного пространства, т.к. мощность множества $\{\alpha\} = \{\gamma_k, \varsigma_k, \eta_k\}$ оказывается значительно большей, чем исходного множества $\{x_i, y_i\}$. Максимальное число признаков ПС непосредственно может быть оценено через исходное число ХП в описании через число

сочетаний. Другим недостатком рассмотренных методов можно считать некоторое снижение помехоустойчивости в случае действия пространственных помех, искажающих отдельные ХП описания. Из-за включения помеховых ХП в интегрированное описание структуры произойдет искажение и вновь созданного структурного элемента.

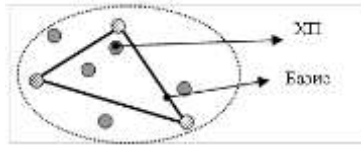


Рис. 1. Иллюстрация схемы формирования $\{\alpha\}_k$

Однако следует отметить, что рассмотренные недостатки нельзя считать критическими, т.к. объемом нового описания можно управлять параметрически (строить столько структур из возможного объема, сколько нужно). Кроме того, процедуру построения структур также можно адаптировать к прикладной задаче. Снижение же помехозащищенности к пространственным помехам, как показывают эксперименты [7], компенсируется увеличением устойчивости к аддитивному шуму за счет большей агрегации данных. Поэтому с применением ПС появляется возможность адаптивного выбора нужного числа признаков для обеспечения высокого уровня эффективности распознавания в условиях допустимого уровня помех разных типов.

Комбинирование путей 1 и 2 при построении признаковых описаний приводит к гибридным представлениям в обработке [6, 7], причем пространственные признаки здесь могут выбираться как из исходного множества $\{(z_i, x_i, y_i)\}$, так и из преобразованного $\{\gamma_k, \varsigma_k, \eta_k\}$ в ПС. Основная идея агрегирования состоит в вычислении значения некоторой комбинированной меры подобия между двумя "партнерскими" описаниями фактически из разных пространств. Исследованы следующие способы комбинирования:

- логическая обработка или анализ значений мер подобия в двух пространствах (геометрия и дескрипторы ХП), например, с использованием двух различных порогов для значений подобия, что устанавливает наличие логической связи между подобиями;

- последовательная модель сопоставления, когда один из типов признаков используется как основной при принятии решения, а второй играет роль контроля или подтверждения; например, находится минимум значения метрики по одному типу признаков, а по второму проверяется

условие удовлетворения порогу; из-за простоты построения эта модель получила наибольшее применение на практике;

– ассоциативная модель сопоставления, в которой фигурирует совместное использование пространственно-атрибутивных признаков в единой мере, например, в виде расстояния между элементами s_{iA}, s_{qB} описаний A, B

$$\rho(s_{iA}, s_{qB}) = \frac{1}{2} [\rho_{\alpha}(\alpha_{iA}, \alpha_{qB}) + \rho_d(z_{iA}, z_{qB})], \quad (2)$$

которое есть метрикой как линейная комбинация метрик; применение ассоциативной модели предполагает, что для всех геометрических признаков, построенных для одного ХП, используется одно и то же значение ее дескриптора; значения метрик ρ_{α}, ρ_d в (2) обычно нормируются к отрезку $[0, 1]$ для исключения преобладания одной из них.

Следует отметить, что применение сложных комбинированных мер в разнотипных пространствах несколько усложняет процедуру вычисления подобия в целях классификации, однако, как показывают эксперименты, ее применение оправдано в условиях помех [6, 7], т.к. помехозащищенность комбинированных подходов оказывается выше, чем при применении одного из пространств. Каждая из рассмотренных моделей описаний из некоторого пространства признаков допускает трансформации в виде сжатия, фильтрации элементов, перехода в другие более эффективные пространства и т.д. путем преобразования описания вида [8]

$$T: Z \rightarrow Z_T, \quad (3)$$

где T – отображение трансформации; Z_T – трансформированное описание.

Отображение T строится таким образом, чтобы описание Z_T обладало новыми, более совершенными свойствами по сравнению с Z в плане качества распознавания. Обычно качество характеризуется такими показателями, как вероятность правильного распознавания, достоверность, помехозащищенность, быстроедействие [4, 6]. Наши исследования показали, что в отдельных случаях трансформированное описание Z_T может быть получено в виде числового вектора v с целыми компонентами, например, в результате ортогонального разложения первоначального описания в некотором базисе [8].

Рассмотрим преобразование, связанное с разложением по семейству прямоугольных базисных функций, в качестве которых применим дискретные функции Уолша (ФУ). Преобразуем описание путем умножения матриц

$$U = Z * A, \quad (4)$$

где A – матрица Адамара размера $n \times n$, включающая n векторов ФУ $w_1, \dots, w_n$. Осуществим классификацию элементов Z по максимуму квадрата их значений из матрицы U^2 , в результате получим распределение s элементов описания Z по m априорно заданным классам, связанным с конкретными номерами ФУ. Сформируем сжатое описание u^* в агрегированном виде как вектор целых чисел

$$u^* = (u_1, \dots, u_m), \quad \sum_{j=1}^m u_j = s, \quad (5)$$

где элементы u_j – число векторов ХП, отнесенных к классу j [8]. Учитывая, что эталоны классов могут содержать в своем составе разное число ХП, на практике часто необходимо осуществить нормировку описания (5): $u_j = u_j / s$, что гарантирует выполнение соотношения

$$\sum_{j=1}^m u_j = 1.$$

Последовательность трансформации исходного описания Z в процессе сжатия можно формализовать как $Z \Rightarrow U \Rightarrow u^*$ или в функциональном виде

$$u^* = F_2[F_1[Z]], \quad (6)$$

где F_1 – преобразование к пространству функций Уолша, F_2 – классификация элементов в этом пространстве.

Предложенный метод трансформирует исходное описание в виде матрицы размера $s \times n$ к вектору из m числовых значений, причем выбор $m \ll n$ существенно снижает вычислительные затраты особенно при больших значениях числа s , которое в практических задачах иногда достигает 200 – 1000. Важным преимуществом при этом есть то, что преобразование множества эталонных ХП к сжатому виду выполняется

один раз на предварительном этапе и в целом не влияет на общее время классификации.

Для каждой из рассмотренных моделей описания в процессе классификации необходимо применение соответствующих мер подобия описаний на предмет установления их близости или эквивалентности. Для описаний в виде множества это будет мера сопоставления множеств, для описаний в виде вектора – мера для сопоставления векторов. Для векторов обычно используется подходящая метрика (в частности, для детекторов SIFT и SURF применяется евклидово расстояние), а для множеств – метрика или мера подобия в виде числа голосов эквивалентных элементов [4]. Примерами мер для множеств могут быть метрики Танимото, Хаусдорфа, а также большое разнообразие мер на основе подсчета схожих и несхожих элементов. Для объемных описаний в виде множества ХП часто целесообразно применение преобразований сжатия [4, 6]. Схема построения модификаций структурных описаний, включая разнообразие мер для их сопоставления, показана на рис. 2.

Результаты экспериментальных исследований. Как показали результаты компьютерного моделирования, предложенные модификации признаков пространств обеспечивают преимущественные показатели при классификации [7]. Эффективность проведения классификации для конечного числа классов в конкретном пространстве признаков (контрольная выборка) может быть оценена на основе значения критерия достоверности

$$\theta = \vartheta_m / \vartheta_0, \quad (7)$$

где ϑ_0 – значение максимального элемента матрицы подобия для всех эталонов, которое соответствует априорно заданному эталону, ϑ_m – максимум значения подобия с другими эталонами (недиагональные элементы матрицы подобия). Величина (7) непосредственно отображает степень различимости объектов в рассматриваемой базе изображений с применением выбранной системы признаков и связана с оценкой вероятности правильного распознавания. Чем меньше значение θ , тем увереннее работает метод распознавания с конкретными данными. Как показало компьютерное моделирование для фиксированной базы изображений, значение критерия θ при применении традиционного метода голосования (независимые ХП) достигает значения $\theta = 0,8$, в то время как для предложенного метода на основе ПС величина $\theta = 0,02$. Такое низкое значение критерия θ для разработанного метода

подтверждает его высокий показатель правильной классификации в эксперименте.



Рис. 2. Схема построения модификаций структурных описаний

В другом эксперименте исследовалась устойчивость методов с использованием ПС относительно действия пространственных помех, модель формирования которых состояла в преобразовании координат ХП в пределах окрестности ± 3 с некоторой вероятностью p . Эксперименты показали, что вероятность правильной классификации, которая подсчитывалась на основе отношения числа правильных ответов к общему числу экспериментов, для модифицированного метода с использованием ПС снижается не так быстро, как для традиционного. Так при $p = 0,35$ она составила значения 0,9 для разработанного метода и 0,8 для традиционного. Этот факт говорит о достаточно высоких показателях функционирования предложенных подходов на основе применения ПС.

Проведен сравнительный эксперимент по классификации для базы домашних животных [8], в котором признаковое описание представлено в пространстве 8 ФУ. Для сопоставления проведены также эксперименты

и для метода голосования, порог эквивалентности двух ХП выбран равным 0,16 (1% от максимума значения евклидовой метрики). Предложенный метод построения информативного описания на основе ортогонального пространства ФУ (4) – (6) имеет несомненное преимущество в плане помехозащищенности перед традиционным голосованием. До уровня аддитивной помехи, характеризуемой значением дисперсии $\sigma^2 = 0,02$, эффективность методов примерно одинакова (вероятность правильного распознавания выше 0,94), далее с увеличением σ^2 кривая вероятности для разработанного метода выше, и при $\sigma^2 = 0,03$ вероятности составляют 0,8 и 0,6 соответственно. Высокая устойчивость к шуму обусловлена прежде всего интегральными свойствами ФУ. В то же время быстродействие разработанного метода существенно выше: сравнительное время классификации одного изображения составило 0,03 с и 0,95 с соответственно, т.е. более чем в 30 раз лучше (компьютер Intel Core2 Duo 2,67 ГГц).

Выводы. Модифицированные методы построения и сопоставления структурных описаний визуальных объектов за счет учета пространственных геометрических соотношений и преобразования к векторному описанию обеспечивают лучшую достоверность распознавания и существенное сокращение объема вычислений по сравнению с традиционным подходом на основе голосования. Применение комбинированного анализа на основе объединения разных признаков пространств еще в большей степени улучшает характеристики распознавания в базах изображений.

Предложенные модифицированные системы признаков целесообразно применять для прикладных задач, требующих тщательного анализа особенностей изображений, когда традиционные методы не дают результата в плане достоверности. Другим направлением есть использование структурных методов в системах реального времени.

Впервые проведен анализ принципов построения и свойств систем структурных признаков, в основе которых лежит применение пространственных связей между ХП и агрегирование описания в векторное представление. На примерах моделирования процесса классификации с применением разработанных систем признаков для реальных изображений получено экспериментальное подтверждение эффективности предложенных методов. Практически важным есть получение предпочтительных характеристик распознавания в плане достоверности и быстродействия по сравнению с известными методами,

что говорит о целесообразности развития и применения предложенных модификаций в задачах компьютерного зрения.

Перспективы исследования состоят в анализе применений разработанных методов для объемных баз изображений.

Список литературы: 1. Шاپиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шاپиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 2. By H. SURF: Speeded Up Robust Features / H. By, A. Ess, T. Tuytelaars, L. Gool // Computer Vision and Image Understanding (CVIU). – 2008. – № 110 (3). – P. 346-359. 3. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski. – Springer. – 2010. – 979 p. 4. Гороховатский В.А. Структурное распознавание изображений на основе моделей голосования признаков характерных точек / В.А. Гороховатский, Е.П. Путятин // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – Т. 10. – № 4. – С. 75-85. 5. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1976. – 544 с. 6. Gorokhovatskiy V.A. Geometrical Invariant Features Peculiar for the Methods of Structural Classification of Images / V.A. Gorokhovatskiy, T.V. Poliakova // Telecommunications and Radio Engineering. – 2012. – № 71 (17). – P. 1557-1564. 7. Полякова Т.В. Анализ и сжатие структурных описаний на основе геометрических инвариантных признаков / Т.В. Полякова // Прикладная радиоэлектроника. – 2012. – Т. 11. – № 3. – С. 417-420. 8. Власенко Н.В. Построение информативных компактных описаний и классификация объектов путем представления в ортогональном базисе / Н.В. Власенко // Бионика интеллекта. – 2013. – №1 (80). – С. 93-98.

Bibliography (transliterated): 1. Shapiro L. Komp'yuternoe zrenie / L. Shapiro, Dzh. Stokman. – М.: BINOM. Laboratorija znaniy, 2006. – 752 s. 2. By H. SURF: Speeded Up Robust Features / H. By, A. Ess, T. Tuytelaars, L. Gool // Computer Vision and Image Understanding (CVIU). – 2008. – № 110 (3). – P. 346-359. 3. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski. – Springer. – 2010. – 979 p. 4. Gorokhovatskiy V.A. Strukturnoe raspoznavanie izobrazhenij na osnove modelej golosovaniya priznakov harakternyh toчек / V.A. Gorokhovatskiy, E.P. Putjatin // Reestracija, zberigannja i obrobka danih. – 2008. – Т. 10. – № 4. – С. 75-85. 5. Kolmogorov A.N. Jelementy teorii funkcij i funkcional'nogo analiza / A.N. Kolmogorov, S.V. Fomin. – М.: Nauka, 1976. – 544 s. 6. Gorokhovatskiy V.A. Geometrical Invariant Features Peculiar for the Methods of Structural Classification of Images / V.A. Gorokhovatskiy, T.V. Poliakova // Telecommunications and Radio Engineering. – 2012. – № 71 (17). – P. 1557-1564. 7. Poljakova T.V. Analiz i szhatie strukturnyh opisanij na osnove geometricheskih invariantnyh priznakov / T.V. Poljakova // Prikladnaja radiojelektronika. – 2012. – Т. 11. – № 3. – С. 417-420. 8. Vlasenko N.V. Postroenie informativnyh kompaktnyh opisanij i klassifikacija ob'ektov putem predstavlenija v ortogonal'nom bazise / N.V. Vlasenko // Bionika intellekta. – 2013. – № 1 (80). – С. 93-98.

Поступила (received) 26.03.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных технологий и мехатроники ХНАДУ Никонов О.Я.

Gorokhovatskiy Vladimir, Dr.Sci.Tech, Professor
Kharkiv Institute of banking of the University of banking of the National bank of Ukraine
Ave. Peremohy 55, Kharkiv, Ukraine, 61174
tel./phone: (057) 336-05-64, e-mail: gorokhovatsky-v@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0002-7839-6223

Vlasenko Natalia
Kharkiv National University of Economics

Ave. Lenina 9, Kharkiv, Ukraine, 61166
tel./phone: +38 (057) 702-06-74, e-mail: gorohovatskaja@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-2560-9854

Poliakova Tatiana, asst.
Kharkiv National Automobile and Highway University
Str. Petrovskogo 25, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 057 7073774, e-mail: assiada@list.ru
ORCID ID: 0000-0002-2857-8897

УДК 681.5

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
А.Ю. ЗАКОВОРТНЫЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
А.О. НЕСТЕРЕНКО, асп., НТУ "ХПИ"

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ К ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ЛИНЕЙНЫМ В ФОРМЕ БРУНОВСКОГО

Для пакета Matlab разработана программа, автоматизирующая преобразование нелинейных систем к эквивалентному линейному виду с помощью средств геометрической теории управления. Выполнен синтез линейной математической модели движения дизель-поезда в канонической форме Бруновского. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: форма Бруновского, преобразование нелинейных систем, геометрическая теория управления, математическая модель движения дизель-поезда.

Постановка проблемы и анализ литературы. Вопросами оптимизации функционирования железнодорожного транспорта на протяжении многих лет занималось множество ученых [1 – 8]. При этом большинство исследований выполнялось с помощью математического моделирования на сложных моделях, описываемых системами обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка. Это, в свою очередь, приводит к серьезным трудностям при поиске оптимальных управлений тяговым подвижным составом, так как большинство из известных методов применимы лишь для объектов, которые описываются системами обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений не выше 2-3 порядка [9, 10]. В связи с этим в работах [8, 11, 12] была решена задача поиска оптимальных управлений с помощью динамической линеаризации исходной нелинейной модели, методами геометрической теории управления [13], при этом были получены законы оптимального управления для объектов, которые описывались системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений 5-6 порядка. Однако для поиска оптимальных законов управления реальным приводом, который учитывает параллельную работу нескольких электродвигателей, необходима разработка специализированных программных средств, которые могли бы автоматизировать процесс преобразования нелинейных систем к линейному виду.

Целью статьи является разработка программных средств,

автоматизирующих в пакете Matlab преобразование нелинейной математической модели движения дизель-поезда к эквивалентному линейному виду в форме Бруновского с помощью инволютивных распределений геометрической теории управления.

Подход, основанный на геометрической теории управления, динамической линеаризации обратной связью в пространстве "вход – состояние" нелинейной математической модели движения дизель-поезда, с помощью последовательности инволютивных распределений, может быть представлен в виде алгоритма:

Шаг. 1. Задание исходной системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений.

Шаг. 2. Построение векторных полей, связанных с нелинейной системой дифференциальных уравнений.

Шаг. 3. Проверка последовательности распределений на выполнение условий инволютивности. В случае выполнения условий инволютивности последовательности распределений – переход к шагу 5 алгоритма.

Шаг. 4. В случае невыполнения условий инволютивности последовательности распределений – увеличение размерности пространства, путем введения дополнительных фазовых координат в каналы, связанные с управлениями. Переход к шагу 2 алгоритма.

Шаг. 5. Определение индекса управляемости для рассматриваемой системы управления, используя теорему о линейном эквиваленте для нелинейной аффинной системы с векторным управлением.

Шаг. 6. По индексу управляемости системы, определяется форма линейного эквивалента, т.е. определяется количество клеток канонической формы Бруновского.

Шаг. 7. Построение системы дифференциальных уравнений, из которой путем последовательного дифференцирования, вдоль соответствующих векторных полей, определяются функции перехода к канонической форме Бруновского.

Шаг. 8. Нахождение функций перехода к канонической форме Бруновского.

Шаг. 9. Определение управляющих воздействий для линейной системы уравнений в канонической форме Бруновского.

Шаг. 10. Переход от управлений линейной системой в форме Бруновского к управлениям для исходной нелинейной системы уравнений.

Шаг. 11. Останов.

Этот алгоритм программно реализован в пакете Matlab.

Рассмотрим применение разработанного программного продукта для линеаризации математической модели движения дизель-поезда.

Математическая модель движения дизель-поезда, учитывающая работу двух тяговых приводов, может быть описана следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_{12}x_2 = f_1; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{235}x_3x_5 - a_{246}x_4x_6 + a_{289}x_8x_9 - a_{2,7,10}x_7x_{10} - a_{200} - \\ &\quad - a_{220}x_2 - a_{222}x_2^2 = f_2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_{33}x_3 + a_{34}x_4 + U_1^1 = f_3 + U_1^1; \\ \frac{dx_4}{dt} &= a_{43}x_3 + a_{44}x_4 + a_{425}x_2x_5 = f_4; \\ \frac{dx_5}{dt} &= a_{55}x_5 + a_{56}x_6 + a_{524}x_2x_4 = f_5; \\ \frac{dx_6}{dt} &= a_{65}x_5 + a_{66}x_6 + U_2^1 = f_6 + U_2^1; \\ \frac{dx_7}{dt} &= a_{77}x_7 + a_{78}x_8 + a_{729}x_2x_9 = f_7; \\ \frac{dx_8}{dt} &= a_{87}x_7 + a_{88}x_8 + U_1^2 = f_8 + U_1^2; \\ \frac{dx_9}{dt} &= a_{99}x_9 + a_{9,10}x_{10} + a_{9,2,7}x_2x_7 = f_9; \\ \frac{dx_{10}}{dt} &= a_{10,9}x_9 + a_{10,10}x_{10} + U_2^2 = f_{10} + U_2^2, \end{aligned} \tag{1}$$

где x_1 – расстояние, отсчитываемое от начала перегона; t – время; $a_{12}, a_{235}, a_{246}, \dots, a_{10,9}, a_{10,10}$ – постоянные коэффициенты определяемые параметрами привода; x_2 – скорость движения состава; x_3, x_4 и x_7, x_8 – потокосцепления по оси u соответственно первого и второго двигателей; x_5, x_6 и x_9, x_{10} – потокосцепления по оси v соответственно первого и второго двигателей; U_1^q, U_2^q ($q=1, 2$) – питающие напряжения первого и второго тяговых двигателей.

С системой дифференциальных уравнений (1) связаны векторные поля $X(x) = |f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9, f_{10}|^T$, $Y_1 = |0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T$, $Y_2 = |0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0|^T$, $Y_3 = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0|^T$, $Y_4 = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1|^T$, которые в пакете Matlab могут быть заданы следующим образом:

```
f1 = sym('a12 * x2');
f2 = sym('a235 * x3 * x5 - a246 * x4 * x6 + a289 * x8 * x9 - a2710 * x7 * x10 - a200 - a220 * x2 - a222 * x2^2');
f3 = sym('a33 * x3 + a34 * x4');
f4 = sym('a43 * x3 + a44 * x4 + a425 * x2 * x5');
f5 = sym('a55 * x5 + a56 * x6 + a524 * x2 * x4');
f6 = sym('a65 * x5 + a66 * x6');
f7 = sym('a77 * x7 + a78 * x8 + a729 * x2 * x9');
f8 = sym('a87 * x7 + a88 * x8');
f9 = sym('a99 * x9 + a910 * x10 + a927 * x2 * x7');
f10 = sym('a109 * x9 + a1010 * x10');
X = [f1; f2; f3; f4; f5; f6; f7; f8; f9; f10];
Y1 = [0; 0; sym('1'); 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
Y2 = [0; 0; 0; 0; 0; sym('1'); 0; 0; 0; 0];
Y3 = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; sym('1'); 0; 0];
Y4 = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; sym('1')];
x = [sym('x1') 'x2' 'x3' 'x4' 'x5' 'x6' 'x7' 'x8' 'x9' 'x10'];
```

Система уравнений (1) может быть преобразована к форме Бруновского только в случае, если инволютивны распределения $M^0 = \text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\}$, $M^1 = \text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_1, L_X Y_2, L_X Y_3, L_X Y_4\}$ и M^2 для этой системы [13], где $\text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\}$ – линейная оболочка векторов Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 , $L_X Y_k$ ($k = \overline{1, 4}$) – производные Ли вдоль векторного поля X векторных полей Y_k ($k = \overline{1, 4}$). Производные Ли вычисляются следующим образом:

$$L_X Y_k = [X, Y_k] = \frac{\partial Y_k}{\partial x} X - \frac{\partial X}{\partial x} Y_k = -\frac{\partial X}{\partial x} Y_k =$$

$$= - \begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_{10}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_{10}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{10}}{\partial x_1} & \frac{\partial f_{10}}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_{10}}{\partial x_{10}} \end{vmatrix} \cdot Y_k, \quad k = \overline{1, 4}.$$

В пакете Matlab разработаны функции для вычисления производных Ли (*Dif_Li*) и проверки условий инволютивности последовательности распределений (*involutivity*). Функция *Dif_Li(X, Y, x, N)* возвращает N -ю производную Ли вдоль векторного поля X векторного поля Y , по элементам вектора x , а функция *involutivity(M, x)* возвращает 1, если для распределения M условия инволютивности выполняются и 0 – если нет.

Проверку инволютивности распределения M^0 в пакете Matlab можно осуществить следующим образом:

```
M0 = [Y1, Y2, Y3, Y4];
involutive = involutivity(M0, x);

>>involutive = 1
```

Поскольку векторные поля Y_i ($i = \overline{1, 4}$) постоянны, то распределение M^0 – инволютивно и размерность распределения $\dim M^0 = 4$.

Проанализируем распределение M^1 , для этого, сначала, осуществим вычисления производных Ли:

```
C1_1 = Dif_Li(X, Y1, x, 2);
M1_1 = C1_1(:, 1 : (size(C1_1, 2) - 1));
C1_2 = Dif_Li(X, Y2, x, 2);
M1_2 = C1_2(:, 1 : (size(C1_2, 2) - 1));
C1_3 = Dif_Li(X, Y3, x, 2);
M1_3 = C1_3(:, 1 : (size(C1_3, 2) - 1));
C1_4 = Dif_Li(X, Y4, x, 2);
M1_4 = C1_4(:, 1 : (size(C1_4, 2) - 1));
M1=[M1_1(:,1), M1_2(:,1), M1_3(:,1), M1_4(:,1), M1_1(:,2), M1_2(:,2),
M1_3(:,2), M1_4(:,2)];
involutive = involutivity(M1, x);

>>involutive = 0
```

Непосредственная проверка скобок Ли $[X_i, X_j]$, где X_i, X_j – векторные поля из множества $\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_1, L_X Y_2, L_X Y_3, L_X Y_4\}$, и ранга матриц $B_l = \|Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_1, L_X Y_2, L_X Y_3, L_X Y_4, [X_i, X_j]\|$ показывает, что распределение M^1 не является инволютивным, однако все его подраспределения $M_k^1 = \text{span}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, L_X Y_k\}$, $k = \overline{1, 4}$, являются инволютивными:

```
M11=[M1_1(:,1), M1_2(:,1), M1_3(:,1), M1_4(:,1), M1_1(:,2)];
involutive = involutivity(M11, x);
```

```
>>involutive = 1
```

```
M12=[M1_1(:,1), M1_2(:,1), M1_3(:,1), M1_4(:,1), M1_2(:,2)];
involutive = involutivity(M12, x);
```

```
>>involutive = 1
```

```
M13=[M1_1(:,1), M1_2(:,1), M1_3(:,1), M1_4(:,1), M1_3(:,2)];
involutive = involutivity(M13, x);
```

```
>>involutive = 1
```

```
M14=[M1_1(:,1), M1_2(:,1), M1_3(:,1), M1_4(:,1), M1_4(:,2)];
involutive = involutivity(M14, x);
```

```
>>involutive = 1
```

Поэтому дополнительные переменные или интеграторы можно вводить в любой канал управления. Однако введение одного, двух или трех интеграторов в любые каналы не позволяет решить проблему получения инволютивного распределения M^1 для расширенной системы. Распределение M^1 становится инволютивным только при введении одного интегратора в каждый канал объекта управления.

Для расширенной модели объекта управления введем следующие обозначения:

$$y_i = x_i, \quad i = \overline{1, 3}; \quad y_4 = U_1^1; \quad U_1 = \frac{dy_4}{dt}; \quad y_5 = x_4; \quad y_6 = x_5;$$

$$y_7 = x_6; \quad y_8 = U_2^1; \quad U_2 = \frac{dy_8}{dt}; \quad y_9 = x_7; \quad y_{10} = x_8;$$

$$y_{11} = U_1^2; \quad U_3 = \frac{dy_{11}}{dt}; \quad y_{12} = x_9; \quad y_{13} = x_{10}; \quad y_{14} = U_2^2; \quad U_4 = \frac{dy_{14}}{dt}.$$

В этих обозначениях расширенная модель объекта записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}\frac{dy_1}{dt} &= \varphi_1 = a_{12}y_2; \\ \frac{dy_2}{dt} &= \varphi_2 = a_{235}y_3y_6 - a_{246}y_5y_7 + a_{289}y_{10}y_{12} - a_{2,7,10}y_9y_{13} - a_{200} - a_{220}y_2 - a_{222}y_2^2; \\ \frac{dy_3}{dt} &= \varphi_3 = a_{33}y_3 + a_{34}y_5 + y_4; & \frac{dy_9}{dt} &= \varphi_9 = a_{77}y_9 + a_{78}y_{10} + a_{729}y_2y_{12}; \\ \frac{dy_4}{dt} &= U_1; \quad \varphi_4 = 0; & \frac{dy_{10}}{dt} &= \varphi_{10} = a_{87}y_9 + a_{88}y_{10} + y_{11}; \\ \frac{dy_5}{dt} &= \varphi_5 = a_{43}y_3 + a_{44}y_5 + a_{425}y_2y_6; & \frac{dy_{11}}{dt} &= U_3; \quad \varphi_{11} = 0; \\ \frac{dy_6}{dt} &= \varphi_6 = a_{55}y_6 + a_{56}y_7 + a_{524}y_2y_5; & \frac{dy_{12}}{dt} &= \varphi_{12} = a_{99}y_{12} + a_{9,10}y_{13} + a_{927}y_2y_9; \\ \frac{dy_7}{dt} &= \varphi_7 = a_{65}y_6 + a_{66}y_7 + y_8; & \frac{dy_{13}}{dt} &= \varphi_{13} = a_{10,9}y_{12} + a_{10,10}y_{13} + y_{14}; \\ \frac{dy_8}{dt} &= U_2; \quad \varphi_8 = 0; & \frac{dy_{14}}{dt} &= U_4; \quad \varphi_{14} = 0.\end{aligned}$$

С этой моделью объекта управления связаны следующие векторные поля:

```
f1 = sym('a12 * y2');
f2 = sym('a235 * y3 * y6 - a246 * y5 * y7 + a289 * y10 * y12 - a2710 *
y9 * y13 - a200 - a220 * y2 - a222 * y2^2');
f3 = sym('a33 * y3 + a34 * y5 + y4');
f4 = sym('0');
f5 = sym('a43 * y3 + a44 * y5 + a425 * y2 * y6');
f6 = sym('a55 * y6 + a56 * y7 + a524 * y2 * y5');
f7 = sym('a65 * y6 + a66 * y7 + y8');
f8 = sym('0');
f9 = sym('a77 * y9 + a78 * y10 + a729 * y2 * y12');
f10 = sym('a87 * y9 + a88 * y10 + y11');
f11 = sym('0');
f12 = sym('a99 * y12 + a910 * y13 + a927 * y2 * y9');
f13 = sym('a109 * y12 + a1010 * y13 + y14');
f14 = sym('0');
Y_new = [f1; f2; f3; f4; f5; f6; f7; f8; f9; f10; f11; f12; f13; f14];
Y1_new = [0; 0; 0; sym('1'); 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
```

```
Y2_new = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; sym('1'); 0; 0; 0; 0; 0; 0];
Y3_new = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; sym('1'); 0; 0; 0];
Y4_new = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; sym('1')];
y_new = [sym('y1') 'y2' 'y3' 'y4' 'y5' 'y6' 'y7' 'y8' 'y9' 'y10' 'y11' 'y12' 'y13'
'y14'];
```

Поскольку вектора $Y1_new = Y_1^*$, $Y2_new = Y_2^*$, $Y3_new = Y_3^*$, $Y4_new = Y_4^*$ постоянны, то распределение $M^{0*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*\}$ инволютивно.

```
M0_new=[Y1_new,Y2_new, Y3_new,Y4_new];
involutive = involutivity(M0_new, y_new);
>>involutive = 1
```

Так как производные Ли вдоль векторного поля Y векторных полей Y_k^* ($k = \overline{1, 4}$) являются постоянными векторами:

$$L_Y Y_1^* = [Y, Y_1^*] = \frac{\partial Y_1^*}{\partial y} Y - \frac{\partial Y}{\partial y} Y_1^* = |0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$L_Y Y_2^* = [Y, Y_2^*] = -\frac{\partial Y}{\partial y} Y_2^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$L_Y Y_3^* = [Y, Y_3^*] = -\frac{\partial Y}{\partial y} Y_3^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0|^T;$$

$$L_Y Y_4^* = [Y, Y_4^*] = -\frac{\partial Y}{\partial y} Y_4^* = |0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0|^T,$$

то распределение M^{1*} для расширенной системы является инволютивным:

```
C1_1_new = Dif_Li(Y_new, Y1_new, y_new, 2);
M1_1_new = C1_1_new(:, 1 : (size(C1_1_new, 2) - 1));
C1_2_new = Dif_Li(Y_new, Y2_new, y_new, 2);
M1_2_new = C1_2_new(:, 1 : (size(C1_2_new, 2) - 1));
C1_3_new = Dif_Li(Y_new, Y3_new, y_new, 2);
M1_3_new = C1_3_new(:, 1 : (size(C1_3_new, 2) - 1));
C1_4_new = Dif_Li(Y_new, Y4_new, y_new, 2);
M1_4_new = C1_4_new(:, 1 : (size(C1_4_new, 2) - 1));
```

```
M1_new = [M1_1_new(:,1), M1_2_new(:,1), M1_3_new(:,1),
M1_4_new(:,1), M1_1_new(:,2), M1_2_new(:,2), M1_3_new(:,2),
M1_4_new(:,2)]
involutive = involutivity(M1_new, y_new);
```

```
>>involutive = 1
```

Проверка инволютивности распределения $M^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_1^*, L_Y^2 Y_2^*, L_Y^2 Y_3^*, L_Y^2 Y_4^*\}$,

где $L_Y^2 Y_k$ ($k = \overline{1, 4}$) – производные Ли второго порядка, показывает, что оно не является инволютивным.

```
M2_new = [M1_1_new(:,1), M1_2_new(:,1), M1_3_new(:,1),
M1_4_new(:,1), M1_1_new(:,2), M1_2_new(:,2), M1_3_new(:,2),
M1_4_new(:,2), M1_1_new(:,3), M1_2_new(:,3), M1_3_new(:,3),
M1_4_new(:,3)];
involutive = involutivity(M2_new, y_new);
```

```
>>involutive = 0
```

Однако инволютивными являются подраспределения распределения M^{2*} :

$$M_1^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_1^*\};$$

$$M_2^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_2^*\};$$

$$M_3^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_3^*\};$$

$$M_4^{2*} = \text{span}\{Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, L_Y Y_1^*, L_Y Y_2^*, L_Y Y_3^*, L_Y Y_4^*, L_Y^2 Y_4^*\}.$$

```
M21_new = [M1_1_new(:,1), M1_2_new(:,1), M1_3_new(:,1),
M1_4_new(:,1), M1_1_new(:,2), M1_2_new(:,2), M1_3_new(:,2),
M1_4_new(:,2), M1_1_new(:,3)];
involutive = involutivity(M21_new, y_new);
```

```
>>involutive = 1
```

```
M22_new = [M1_1_new(:,1), M1_2_new(:,1), M1_3_new(:,1),
M1_4_new(:,1), M1_1_new(:,2), M1_2_new(:,2), M1_3_new(:,2),
M1_4_new(:,2), M1_2_new(:,3)];
involutive = involutivity(M22_new, y_new);
```

```
>>involutive = 1
```

```
M23_new = [M1_1_new(:,1), M1_2_new(:,1), M1_3_new(:,1),
M1_4_new(:,1), M1_1_new(:,2), M1_2_new(:,2), M1_3_new(:,2),
M1_4_new(:,2), M1_3_new(:,3)];
involutive = involutivity(M23_new, y_new);
```

```
>>involutive = 1
```

```
M24_new = [M1_1_new(:,1), M1_2_new(:,1), M1_3_new(:,1),
M1_4_new(:,1), M1_1_new(:,2), M1_2_new(:,2), M1_3_new(:,2),
M1_4_new(:,2), M1_4_new(:,3)];
involutive = involutivity(M24_new, y_new);
```

```
>>involutive = 1
```

Этого оказывается достаточно для осуществления динамической линеаризации и получения системы линейных дифференциальных уравнений в форме Бруновского. На основании теоремы о линейных эквивалентах для нелинейных аффинных систем с m управлениями [13], получим, что каноническая форма Бруновского имеет четыре клетки, а индекс управляемости $k_{\max}$ для данного объекта равен четырем. Математическая модель объекта управления в форме Бруновского в пространстве "вход – состояние":

$$\begin{aligned} \frac{dz_i}{dt} &= z_{i+1}, \quad i = \overline{1, 13}, \quad i \neq 4, 8, 11; \\ \frac{dz_4}{dt} &= v_1; \quad \frac{dz_8}{dt} = v_2; \quad \frac{dz_{11}}{dt} = v_3; \quad \frac{dz_{14}}{dt} = v_4, \end{aligned} \quad (2)$$

где v_j ($j = \overline{1, 4}$) – управления.

Поскольку модель объекта в форме Бруновского имеет четыре клетки, то необходимо определить четыре функции $T_j(y)$ ($j = \overline{1, 4}$), преобразующие переменные расширенной модели объекта управления в переменные модели в форме Бруновского:

$$z_1 = T_1(y); \quad z_5 = T_2(y); \quad z_9 = T_3(y); \quad z_{12} = T_4(y).$$

Методика определения этих функций известна [8, 13]. В данном случае они являются однокомпонентными составляющими вектора $y = (y_1, y_2, \dots, y_{14})$. Из этих функций путем последовательного дифференцирования вдоль векторного поля $Y^* = Y + U_1 Y_1^* + U_2 Y_2^* +$

$+ U_3 Y_3^* + U_4 Y_4^*$ можно получить выражения для определения соответственно z_2, z_3, z_4 (из функции $T_1(y)$), z_6, z_7, z_8 (из функции $T_2(y)$), z_{10}, z_{11} (из функции $T_3(y)$) и z_{13}, z_{14} (из функции $T_4(y)$). В качестве примера рассмотрим получение зависимостей для определения z_2, z_3, z_4 с помощью функции $T_1(y)$. Для исследуемого объекта управления имеем: $T_1(y) = y_1$, поэтому $z_1 = y_1$.

```
T1 = [sym('y1')];
[B, V, U] = brunovsky(Y_new, [Y1_new], T1, y_new, 4);
B = simple(B)
```

Дифференцируя функцию $T_1(y)$ вдоль векторного поля Y^* и учитывая, что z_2, z_3 и их производные не зависят от управлений, получим:

```
B =
[a12*y2;
-a12*(a222*y2^2 + a220*y2 + a200 - a289*y10*y12 - a235*y3*y6 +
a2710*y13*y9 + a246*y5*y7);
a12*(a220 + 2*a222*y2)*(a222*y2^2 + a220*y2 + a200 - a289*y10*y12 -
a235*y3*y6 + a2710*y13*y9 + a246*y5*y7) - a12*a246*y7*(a43*y3 +
a44*y5 + a425*y2*y6) - a12*a2710*y13*(a78*y10 + a77*y9 +
a729*y12*y2) + a12*a235*y3*(a55*y6 + a56*y7 + a524*y2*y5) +
a12*a289*y10*(a910*y13 + a99*y12 + a927*y2*y9) - a12*a2710*y9*(y14 +
a109*y12 + a1010*y13) + a12*a235*y6*(y4 + a33*y3 + a34*y5) +
a12*a289*y12*(y11 + a88*y10 + a87*y9) - a12*a246*y5*(y8 + a65*y6 +
a66*y7)];
```

Таким образом функции перехода к канонической форме Бруновского могут быть записаны следующим образом:

$$z_2 = \frac{dz_1}{dt} = L_Y^* T_1(y) = L_Y T_1(y) = \sum_{i=1}^{14} \frac{\partial T_1(y)}{\partial y_i} \varphi_i = a_{12} y_2;$$

$$z_3 = \frac{dz_2}{dt} = L_Y^* (L_Y T_1(y)) = L_Y (a_{12} y_2) = \sum_{i=1}^{14} \frac{\partial (L_Y T_1(y))}{\partial y_i} \varphi_i = a_{12} \varphi_2 =$$

$$\begin{aligned}
&= a_{12}(a_{235}y_3y_6 - a_{246}y_5y_7 + a_{289}y_{10}y_{12} - a_{2,7,10}y_9y_{13} - a_{200} - a_{220}y_2 - a_{222}y_2^2); \\
z_4 &= \frac{dz_3}{dt} = L_Y^*(L_Y^*T_1(y)) = L_Y(a_{12}\phi_2) = \sum_{i=1}^{14} \frac{\partial(L_Y(a_{12}\phi_2))}{\partial y_i} \phi_i = \\
&= a_{12}[(-a_{220} - 2a_{222}y_2)\phi_2 + a_{235}y_6\phi_3 - a_{246}y_7\phi_5 + a_{235}y_3\phi_6 - a_{246}y_5\phi_7 - \\
&\quad - a_{2,7,10}y_{13}\phi_9 + a_{289}y_{12}\phi_{10} + a_{289}y_{10}\phi_{12} - a_{2,7,10}y_9\phi_{13}].
\end{aligned}$$

Аналогичным образом могут быть получены соотношения для определения остальных переменных модели Бруновского.

Выводы. Разработан алгоритм и программа для автоматизации преобразования широкого класса нелинейных систем к линейному виду в пакете Matlab с помощью инволютивных распределений геометрической теории управления. Получена линейная математическая модель движения дизель-поезда в канонической форме Бруновского, которая учитывает параллельную работу двух двигателей.

Список литературы: 1. Бауэр Х.П. Оптимальное использование сцепления на электровозе с трехфазным тяговым приводом / Х.П. Бауэр // Железные дороги мира. – 1987. – № 8. – С. 10-23. 2. Ohishi K. Adhesion control of electric motor coach based on force control using disturbance observer / K. Ohishi, Y. Ogawa // IEEE, Advanced Motion Control. – April, 2000. – P. 323-328. 3. Тяговые и токовые характеристики электроподвижного состава с асинхронным тяговым двигателем / Омеляненко В.И., Каложный Н.Н., Кулиш Т.А., Кривякин Г.В. // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXVI международной конференции. – Днепропетровск: ДИИТ, 2006. – С. 123. 4. Шапран Е.Н. Совершенствование микропроцессорных систем управления с высоким использованием сил сцепления / Е.Н. Шапран // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 23. – С. 145-154. 5. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю. – Х.: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с. 6. Артеменко А.Н. Система автоматического выравнивания нагрузки тягового электропривода карьерного электровоза / А.Н. Артеменко // Вісник Кременчуцького державного університету ім. Михайло Остроградського. – Кременчук: КДН ім. Михайло Остроградського. – 2010. – Вип. 4. – Частина 3. – С. 56-58. 7. Питула М.Г. Моделирование на розрахунок оптимальних параметрів руху поїздів / М.Г. Питула, Р.Р. Шпакович // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2007. – Вип. 5. – С. 139-145. 8. Дмитриенко В.Д. Синтез оптимальных законов управления тяговым электроприводом методами дифференциальной геометрии и принципа максимума / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 4 (78). – С. 42-51. 9. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти томах. Т. 4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и И.Д. Егунова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. 10. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах. Т. 5: Методы современной теории управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с. 11. Дмитриенко В.Д. Линеаризация математической модели привода методами дифференциальной геометрии / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. – № 19. – С. 64-77. 12. Дмитриенко В.Д.

Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитrienko, А.Ю. Заковоротный. – Х.: Изд. центр "НТМТ", 2013. – 248 с.
13. Краснощёченко В.И. Нелинейные системы: геометрический метод анализа и синтеза / В.И. Краснощёченко, А.П. Грищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2005. – 520 с.

Bibliography (transliterated): 1. Baujer H.P. Optimal'noe ispol'zovanie sčepenija na jelektrovoze s trehfaznym tjagovym privodom / H.P. Baujer // Zheleznye dorogi mira. – 1987. – № 8. – S. 10-23. 2. Ohishi K. Adhesion control of electric motor coach based on force control using disturbance observer / K. Ohishi, Y. Ogawa // IEEE, Advanced Motion Control. – April, 2000. – S. 323-328. 3. Tjagovyje i tokovyje charakteristiki jelektropodvizhnogo sostava s asinhronnym tjagovym dvigatelem / Omel'janenko V.I., Kaljuzhnyj N.N., Kulish T.A., Krivjakin G.V. // Problemy i perspektivy razvitija zheleznodorožhnogo transporta: Tezisy LHV mezhdunarodnoj konferencii. – Dnepropetrovsk: DIIT, 2006. – S. 123. 4. Shapran E.N. Sovershenstvovanie mikroprocessornyh sistem upravlenija s vysokim ispol'zovanijem sil sčepenija / E.N. Shapran // Visnik NTU "HPI". – Harkiv: NTU "HPI". – 2006. – № 23. – S. 145-154. 5. Modelirovanie i optimizacija sistem upravlenija i kontrolya lokomotivov / Noskov V.I., Dmitrienko V.D., Zapolovskij N.I., Leonov S.Ju. – H.: HFI "Transport Ukrainy", 2003. – 248 s. 6. Artemenko A.N. Sistema avtomatičeskogo vyravniwanija nagruzki tjagovogo jelektroprivoda kar'ernogo jelektrovoza / A.N. Artemenko // Visnik Kremenčuc'kogo deržavnogo universitetu im. Mihajlo Ostrograds'kogo. – Kremenčuk: KDN im. Mihajlo Ostrograds'kogo. – 2010. – Vip. 4. – Chastina 3. – S. 56-58. 7. Pritula M.G. Modeljuvannja ta rozrahunok optimal'nih parametriv ruhu poїzdів / M.G. Pritula, R.R. Shpakovich // Fiziko-matematične modeljuvannja ta informacijni tehnologii. – 2007. – Vip. 5. – S. 139-145. 8. Dmitrienko V.D. Sintez optimal'nyh zakonov upravlenija tjagovym jelektroprivodom metodami differencijal'noj geometrii i principa maksimuma / V.D. Dmitrienko, A.Ju. Zakovorotnyj // Sistemi obrobki informacii. – Harkiv: HUPS. – 2009. – Vip. 4 (78). – S. 42-51. 9. Metody klassičeskoj i sovremennoj teorii avtomatičeskogo upravlenija: Učebnik v 5-ti tomah. T. 4: Teorija optimizacii sistem avtomatičeskogo upravlenija / Pod red. K.A. Pupkova i I.D. Egunova. – M.: MGTU im. N.Je. Bauman, 2004. – 744 s. 10. Metody klassičeskoj i sovremennoj teorii avtomatičeskogo upravlenija: Učebnik v 5-i tomah. T. 5: Metody sovremennoj teorii upravlenija / Pod red. K.A. Pupkova, N.D. Egunova. – M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Bauman, 2004. – 784 s. 11. Dmitrienko V.D. Linearizacija matematičeskoj modeli privoda metodami differencijal'noj geometrii / V.D. Dmitrienko, A.Ju. Zakovorotnyj // Visnik NTU "HPI". – Harkiv: NTU "HPI". – 2007. – № 19. – S. 64-77. 12. Dmitrienko V.D. Modelirovanie i optimizacija processov upravlenija dvizheniem dizel'-poezdov / V.D. Dmitrienko, A.Ju. Zakovorotnyj. – H.: Izd. centr "HTMT", 2013. – 248 s. 13. Krasnošhjočenko V.I. Nelinejnye sistemy: geometričeskij metod analiza i sinteza / V.I. Krasnošhjočenko, A.P. Grishhenko. – M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Bauman. – 2005. – 520 s.

Поступила (received) 19.06.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф., заслуженный изобретатель Украины, зав. кафедрой "Системы информации" НТУ "ХПИ" Серков А.А.

Dmitrienko Valerii, Dr.Tech.Sci., Professor
 National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
 Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
 tel./phone: +38 (057) 707-61-98, e-mail: valdmitrienko@gmail.com
 ORCID ID: 0000-0003-2523-595X

Zakovorotniy Alexandr, Cand. Tech. Sci., Docent
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 (067) 546-35-27, e-mail: arcade@i.ua
ORCID ID: 0000-0003-4415-838X

Nesterenko Artur, graduate student
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 (068) 889-32-80, e-mail: arthurio.iamcat@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-4643-7641

УДК 004.932.72

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, д-р техн. наук, зав. каф., НИУ "БелГУ", Россия, Белгород,

А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, канд. техн. наук, зав. каф., НИУ "БелГУ", Россия, Белгород,

Е.В. БОЛГОВА, асп., НИУ "БелГУ", Россия, Белгород

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СКРЫТНОГО СУБПОЛОСНОГО ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИЗОБРАЖЕНИЕ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ШУМА

В работе показано преимущество скрытного субполосного внедрения информации в поддиапазон пространственных частот изображения-контейнера в устойчивости (а также по объему внедряемой информации) к воздействию аддитивного шума различной интенсивности по сравнению с методом относительной замены коэффициентов дискретного косинусного преобразования. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 8 назв..

Ключевые слова: субполосное внедрение, устойчивость, аддитивный шум, коэффициенты дискретного косинусного преобразования.

Постановка проблемы и анализ литературы. При выпуске мультимедийной продукции одной из проблем является защита авторских прав. Для ее решения, а также защиты информации от несанкционированного доступа в настоящее время широко используются методы скрытного стеганографического внедрения цифровых водяных знаков (ЦВЗ) (специальных изображений) в объекты защиты – в изображения. В данной группе методов используется психовизуальная избыточность информации, содержащейся в изображении, что позволяет осуществлять ее значительное изменение без существенной потери визуального качества [1 – 4].

Большинство методов скрытного внедрения изображений в графические данные подразделяются на методы стеганографии в пространственной и частотной областях, при этом методы второй группы более устойчивы к внешнему воздействию на изображение-контейнер, содержащий ЦВЗ [2]. Наиболее распространенным из второй группы методов при условии, что при извлечении отсутствует информация о ЦВЗ, является метод относительной замены коэффициентов ДКП [2].

Авторами в работе [5] был предложен метод субполосного скрытного внедрения информации в изображениях, который основан на применении ортонормированного базиса, составленного из собственных векторов субполосной матрицы [6 – 8].

Основные положения исследуемых методов. В методе [2] относительной замены коэффициентов (ОЗК) дискретного косинусного преобразования (ДКП) изображение-контейнер разбивается на блоки размером $N_{B1} \times N_{B2}$, в каждый из которых внедряется один бит b_m скрываемой информации следующим образом. К выделенному блоку (фрагменту) контейнера применяется ДКП. В полученной матрице $Y_m = (y_{n_1 n_2})$, $n_1 = 1, 2, \dots, N_{B1}$, $n_2 = 1, 2, \dots, N_{B2}$, коэффициенты ДКП с предварительно заданными индексами (u_1, v_1) и (u_2, v_2) изменяются таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

$$|y_{u_1 v_1}| - |y_{u_2 v_2}| < -P, \text{ при } b_m = 0, \quad |y_{u_1 v_1}| - |y_{u_2 v_2}| > P, \text{ при } b_m = 1, \quad (1)$$

где P – заданное пороговое значение.

К модифицированной указанным выше способом матрице Y_m применяется обратное ДКП и, затем, формируется контейнер с внедренной информацией.

При реализации метода субполосного внедрения (СВ) информации изображение-контейнер W_0 задается с помощью матрицы яркости $W_0 = (w_{ik}^0)$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$. В работе [4] показано, что обработка изображения-контейнера и внедряемой информации, представленной в виде матрицы Y_0 , выполняется в центрально-симметричных подобластях пространственных частот (ППЧ), образуемых при разбиении области пространственных частот (ПЧ) $D_{2\pi}^2 = \{(u, v) | -\pi \leq u, v < \pi\}$, на $R_1 R_2$ равновеликих ППЧ $\Omega_{r_1 r_2}$, $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$, $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$, с помощью соответствующих субполосных матриц A_{r_1} и A_{r_2} .

В работе [3] показано, что соотношение

$$\tilde{W}_1 = W_0 - Y_{r_1 r_2} + K_{r_1 r_2} W_{r_1 r_2} \quad (2)$$

определяет изображение $\tilde{W}_1$, являющееся результатом внедрения матрицы Y_0 в контейнер W_0 , при котором энергия внедряемой в виде изображения информации сосредоточена в заданной подобласти ПЧ $\Omega_{r_1 r_2}$. В выражении (2) использованы следующие величины [7 – 8]:

$$Y_{r_1 r_2} = A_{r_1} W_0 A_{r_2}; \quad W_{r_1 r_2} = Q_1^n Y_0 (Q_1^T)^T; \quad (3)$$

$$K_{r_1 r_2} = K_{\text{общ}} \frac{E_{r_1 r_2}(W_0)}{E(W_{r_1 r_2})}; \quad (4)$$

$$E_{\eta_{r2}}(W_0) = \text{tr}(A_{\eta_1}^T \cdot W_0 \cdot A_{\eta_2} \cdot W_0^T); \quad E(W_{\eta_{r2}}) = \text{tr}(W_{\eta_{r2}}(W_{\eta_{r2}})^T),$$

где Q_1^{r1} и Q_1^{r2} – матрицы, столбцы которых составлены из собственных векторов субполосных матриц A_{r1} и A_{r2} , соответствующих единичным собственным числам данных субполосных матриц; $K_{\text{общ}}$ – общий коэффициент внедрения (коэффициент, обеспечивающий равномерность изменения энергии внедряемого изображения в различных ППЧ).

Для получения результата $\tilde{Y}_1$ восстановления матрицы Y_0 , внедренной в ППЧ Ω_{r1r2} изображения $\tilde{W}_1$, следует выполнить преобразование [4]

$$\tilde{Y}_1 = (Q_1^{\eta})^T \tilde{W}_1 Q_1^{\eta_2}. \quad (5)$$

Представляет интерес получение сравнительной оценки устойчивости скрытного субполосного внедрения информации в отдельной подобласти пространственных частот изображения-контейнера к воздействию шума различной интенсивности (отношение шум-сигнал) в сравнении с методом относительной замены коэффициентов ДКП на основе вычислительных экспериментов.

Целью данной работы является исследование одной из основных характеристик указанных методов стеганографии – оценка их робастности, то есть устойчивости внедренной на основе указанных выше методов информации к внешним воздействиям.

План вычислительных экспериментов. В ходе вычислительных экспериментов погрешность представления некоторого изображения (матрицы) $\tilde{W} = (\tilde{w}_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$, относительно другого изображения (матрицы) $W = (w_{ik})$ той же размерности определяется на основании среднеквадратического отклонения

$$MSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} (w_{ik} - \tilde{w}_{ik})^2 / \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} w_{ik}^2}. \quad (6)$$

В качестве изображения-контейнера использовано изображение размерностью 256×256 пикселей. Внедряемая информация задана в виде матрицы 32×32 однобитовых элементов (значения 0 и 1).

При внедрении информации на основе метода относительной замены коэффициентов (ОЗК) ДКП были использованы следующие рекомендуемые в литературных источниках параметры: размеры блоков,

на которые разбивается изображение-контейнер, – 8 пикселей, координаты изменяемых коэффициентов ДКП: $(u_1, v_1) = (4, 5)$ и $(u_2, v_2) = (5, 4)$, выбрано несколько значений порога P : $\{5, 25\}$.

При субполосном внедрении (СВ) использовано разбиение области ПЧ $D^2_{2\pi}$ на 4×4 равновеликих ППЧ ($R_1 = R_2 = 4$). В качестве подобласти ПЧ, используемой для внедрения, была выбрана неинформационная [5] ППЧ Ω_{13} (энергия которой не входит в 99% суммарной энергии изображения-контейнера).

Результаты вычислительных экспериментов. В табл. 1 приведены значения погрешности изображения-контейнера после внедрения информации на основе анализируемых методов при наложении аддитивного белого шума с различным отношением шум-сигнал, а также соответствующая погрешность восстановления информации.

Для повышения наглядности при сравнении результатов, полученных при использовании различных методов, на основании данных, представленных в табл. 1, построены графики, приведенные на рис.

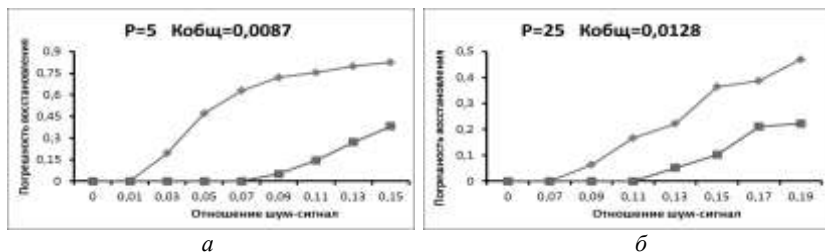


Рис. Зависимость погрешности восстановления внедренной информации от параметров аддитивного шума —♦— Метод ОЗК, —■— Метод СВ
 а – $P = 5$, $K_{\text{общ}} = 0.0087$; б – $P = 25$, $K_{\text{общ}} = 0.0128$

Данные, представленные в табл. 1 и на рис., демонстрируют преимущество метода субполосного внедрения при восстановлении информации.

Также были проведены эксперименты по сравнению объема внедряемой информации на основе анализируемых методов. В табл. 2 приведены значения максимального объема внедряемой однобитовой информации (значения 0 и 1) на основе методов ОЗК и СВ при указанных выше параметрах внедрения, а также соответствующие погрешности контейнера после внедрения и погрешности восстановления информации.

Таблица 1

Погрешность контейнера и восстановления информации

Отношение шум-сигнал	Метод ОЗК		Метод СВ	
	MSE _{конт}	MSE _{восст}	MSE _{конт}	MSE _{восст}
	$P = 5$		$K_{\text{общ}} = 0.0087$	
0.00	0.0314	0.0000	0.03133	0.0000
0,01	0.0330	0.0000	0.03288	0.0000
0,03	0.0434	0.1935	0.04344	0.0000
0,05	0.0590	0.4721	0.05908	0.0000
0,07	0.0766	0.6280	0.07671	0.0000
0,09	0.0952	0.7202	0.09531	0.0510
0,11	0.1144	0.7550	0.11437	0.1445
0,13	0.1337	0.7981	0.13377	0.2703
0,15	0.1533	0.8249	0.15322	0.3823
	$P = 25$		$K_{\text{общ}} = 0.0128$	
0.00	0.04145	0.0000	0.04137	0.0000
0,07	0.08132	0.0000	0.08131	0.0000
0,09	0.09929	0.0628	0.09910	0.0000
0,11	0.11761	0.1661	0.11746	0.0000
0,13	0.13647	0.2220	0.13647	0.0510
0,15	0.15571	0.3635	0.15551	0.1022
0,17	0.17505	0.3871	0.17497	0.2106
0,19	0.19451	0.4700	0.19442	0.2227

Таблица 2

Объем внедренной информации и погрешность ее восстановления

Отношение шум-сигнал δ	Количество внедренных бит		Погрешность контейнера		Погрешность восстановления	
	ОЗК	СВ	ОЗК	СВ	ОЗК	СВ
0.00	1024	3136	0.0314	0.0315	0.0000	0.000
0.03	1024	3136	0.0434	0.0435	0.1986	0.000

Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что при использовании метода субполосного внедрения было внедрено значительно большее количество данных при меньшей погрешности их восстановления при наложении аддитивного шума. Также следует отметить, что алгоритм субполосного внедрения позволяет выполнять внедрение n -разрядных чисел ($n = 1, 2, \dots, 8$), что существенно увеличивает объем внедряемой информации при незначительном повышении погрешности восстановления внедренных данных.

Выводы. Таким образом, проведенные вычислительные

эксперименты продемонстрировали преимущество метода субполосного внедрения в сравнении с методом относительной замены коэффициентов ДКП при восстановлении внедренной информации, а также по объему внедряемых данных.

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИУ "БелГУ" (код проекта № 358).

Список литературы. 1. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 265 с. 2. Коначович Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Коначович, А.Ю. Пузыренко. – К.: "МК-Пресс", 2006. – 288 с. 3. Rafael C. Gonzalez. Digital Image Processing / Rafael C. Gonzalez and Richard E. Wood. – Prentice Hall, 2008. – 954 с. 4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с. 5. Жиликов Е.Г. Реализация алгоритма внедрения изображений на основе использования неинформационных частотных интервалов изображения-контейнера / Е.Г. Жиликов, А.А. Черноморец, В.А. Голощапова // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2011. – Вып. 1. – С. 96-104. 6. Черноморец А.А. О свойствах собственных векторов субполосных матриц / А.А. Черноморец, Е.И. Прохоренко, В.А. Голощапова // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2009. – № 7 (62). – Вып. 10/1. – С. 122-128. 7. Жиликов Е.Г. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах / Е.Г. Жиликов, А.А. Черноморец, И.В. Лысенко // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2007. – Вып. 4. – С. 115-123. 8. Жиликов Е.Г. Оптимальная фильтрация изображений на основе частотных представлений / Е.Г. Жиликов, А.А. Черноморец // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2008. – Вып. 1. – С. 118-131.

Bibliography (transliterated). 1. Gribunin V.G. Cifrovaja steganografija / V.G. Gribunin, I.N. Okov, I.V. Turincev. – M.: SOLON-PRESS, 2009. – 265 s. 2. Konahovich G.F. Komp'juternaja steganografija. Teorija i praktika / G.F. Konahovich, A.Ju. Puzyrenko. – K.: "MK-Press", 2006. – 288 s. 3. Rafael C. Gonzalez. Digital Image Processing / Rafael C. Gonzalez and Richard E. Wood. – Prentice Hall, 2008. – 954 s. 4. Gonsales R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / R. Gonsales, R. Vuds, S. Jeddins. – M.: Tehnosfera, 2012. – 1104 s. 5. Zhiljakov E.G. Realizacija algoritma vnedrenija izobrazhenij na osnove ispol'zovanija neinformacionnyh chastotnyh intervalov izobrazhenija-kontejnera / E.G. Zhiljakov, A.A. Chernomorec, V.A. Goloshchapova // Voprosy radioelektroniki. Ser. JeVT. – 2011. – Vyp. 1. – S. 96-104. 6. Chernomorec A.A. O svojstvah sobstvennyh vektorov subpolosnyh matric / A.A. Chernomorec, E.I. Prohorenko, V.A. Goloshchapova // Nauchnye vedomosti BelGU. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2009. – № 7 (62). – Vyp. 10/1. – S. 122-128. 7. Zhiljakov E.G. Metod opredelenija tochnyh znachenij dolej jenerгии izobrazhenij v zadannyh chastotnyh intervalah / E.G. Zhiljakov, A.A. Chernomorec, I.V. Lysenko // Voprosy radioelektroniki. Ser. RLT. – 2007. – Vyp. 4. – S. 115-123. 8. Zhiljakov E.G. Optimal'naja fil'tracija izobrazhenij na osnove chastotnyh predstavlenij / E.G. Zhiljakov, A.A. Chernomorec // Voprosy radioelektroniki. Ser. JeVT. – 2008. – Vyp. 1. – S. 118-131.

Поступила (received) 25.03.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. НИУ БелГУ Корсунов Н.И.

Zhilyakov Evgeny, Dr.Sci.Tech, Professor
Belgorod National Research University
Victory Street, 85, Belgorod, Russia, 308015
tel./phone: 8(4722) 30-13-92, e-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru
ORCID ID: 0000-0002-5614-7293

Chernomorets Andrey, Cand.Sci.Tech, docent
Belgorod National Research University
Victory Street, 85, Belgorod, Russia, 308015
tel./phone: 8(4722) 30-13-92, e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru
ORCID ID: 0000-0002-4749-8542

Bolgova Evgeniya, Postgraduate student
Belgorod National Research University
Victory Street, 85, Belgorod, Russia, 308015
tel./phone: 8(4722) 30-13-92, e-mail: bolgova_e@bsu.edu.ru
ORCID ID: 0000-0003-1454-8635

УДК 004.93

Т.А. ЗАЙКО, асп., ЗНТУ, Запорожье,
А.А. ОЛЕЙНИК, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье,
С.А. СУББОТИН, д-р техн. наук, проф., ЗНТУ, Запорожье

УПРОЩЕНИЕ ТРАНЗАКЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЧЕТКИХ ПРОДУКЦИЙ

Рассмотрена задача упрощения транзакционных баз данных. Предложен метод сокращения баз транзакций на основе четких продукций. Разработанный метод позволяет исключить неинформативные признаки и избыточные экземпляры из заданных массивов данных, что, в свою очередь, позволяет понизить структурную и параметрическую сложность синтезируемых диагностических моделей. Библиогр. 14 назв.

Ключевые слова: транзакционные базы данных, четкие продукции, модель, признак, транзакция, экземпляр.

Постановка проблемы и анализ литературы. Разработка интеллектуальных систем неразрушающего контроля качества, технического и медицинского диагностирования, распознавания образов связана с необходимостью обработки больших объемов информации [1, 2]. Зачастую такая информация может представляться в виде баз транзакций, где каждая транзакция представляет собой список значений некоторых из возможных признаков, характеризующих исследуемые объекты или процессы [3, 4].

Использование избыточных данных при синтезе диагностических моделей может привести к построению моделей, обладающих низкими обобщающими способностями, а также высокой структурной и параметрической сложностью, что повлечет увеличение затрат памяти ЭВМ на хранение моделей и увеличение времени вычислений на обработку большого объема данных. Следовательно, перед осуществлением синтеза диагностических моделей целесообразным является сокращение обучающей выборки путем исключения из нее избыточной информации.

Известные методы редукции данных [2 – 6], как правило, предназначены либо для отбора признаков, либо для отбора экземпляров и часто не учитывают взаимосвязи сочетаний некоторых значений признаков, которые также могут быть исключены из исходной выборки. Поэтому актуальной является разработка нового метода сокращения обучающей выборки, позволяющего выполнять редукцию признаков, экземпляров, термов признаков и формировать множество данных с меньшим количеством элементов по сравнению с исходной выборкой.

© Т.А. Зайко, А.А. Олейник, С.А. Субботин, 2014

Для редукции обучающей выборки в настоящей работе предлагается использовать четкие продукции, извлекаемые с помощью методов ассоциативных правил [3, 4, 7 – 11], поскольку извлечение таких правил из выборок данных позволяет существенно сокращать объемы информации и выполнять обобщение данных, преобразовывать значения признаков в некоторые диапазоны значений, оценивать степень влияния признаков на выходной параметр, а также уровень их взаимосвязи между собой, в том числе взаимосвязи некоторых значений признаков.

Цель статьи – разработка метода упрощения транзакционных баз данных на основе четких продукций.

Метод упрощения транзакционных баз данных на основе четких продукций. Пусть задана база транзакций $D = \{T_1, T_2, \dots, T_{N_D}\}$, в которой каждый элемент T_j , $j = 1, 2, \dots, N_D$ содержит информацию о некоторых объектах или процессах, где $N_D = |D|$ – число экземпляров (элементов) в наборе данных D . Элементы T_j представляют собой множество значений вида: $T_j = \{\tau_{1j}, \tau_{2j}, \dots, \tau_{N_Ij}, y_j\}$, где $\tau_{aj} = [\tau_{aj\min}; \tau_{aj\max}]$ – значение a -го признака τ_a для элемента T_j ; τ_a – a -й признак множества $I = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_I}\}$, $a = 1, 2, \dots, N_I$; I – множество признаков, которыми описываются элементы T_j , набора данных D ; $N_I = |I|$ – число признаков в выборке D ; $\tau_{aj\min}$ и $\tau_{aj\max}$ – минимальное и максимальное значения из диапазона возможных значений признака τ_a ; y_j – значение выходного параметра для элемента T_j . Тогда задача сокращения размерности обучающей выборки заключается в уменьшении числа её экземпляров $N'_D < N_D$ и описывающих их признаков $N'_I < N_I$, с сохранением возможности построения диагностических моделей с приемлемыми способностями к аппроксимации исследуемых зависимостей.

В разработанном методе сокращения размерности обучающей выборки для редукции данных предлагается извлекать ассоциативные правила. Информация об интересности выявленных правил используется для оценивания степени влияния признаков на выходной параметр, а также взаимосвязи некоторых значений признаков между собой.

На начальном этапе для заданной выборки D выполняется редукция её экземпляров. Для этого дискретизируются значения признаков (диапазон значений $\Delta_a = [\tau_{a\min}; \tau_{a\max}]$ каждого признака τ_a

разбивается на $N_{\text{int.}a}$ интервалов). После дискретизации выполняется преобразование $D \rightarrow D'_1$, в результате которого значения исходных признаков τ_a заменяются номерами интервалов значений признаков, выделенных в процессе дискретизации: $\tau'_{aj} = n(\tau_{aj})$, где τ_{aj} и τ'_{aj} – значения a -го признака для j -го экземпляра в выборках D и D'_1 , соответственно; $n(\tau_{aj})$ – номер интервала значений признака τ_a , в который попадает его значение τ_{aj} для j -го экземпляра.

Полученные в результате преобразования $D \rightarrow D'_1$ экземпляры T'_j и T'_k с одинаковыми значениями признаков τ'_{aj} и τ'_{ak} , $a=1,2,\dots,N_I$ считаются эквивалентными и избыточными. Поэтому в выборке D'_1 последовательно для каждой двух эквивалентных экземпляров T'_j и T'_k следует оставить один экземпляр T'_j , а другой – исключить: $D'_1 = D'_1 \setminus T'_k$.

После выполнения этапа редукции экземпляров происходит выявление неинформативных признаков с последующим их исключением из выборки. Для редукции признаков τ_a из выборки D'_1 будем извлекать ассоциативные правила $AR_l \in RB$ (RB – база извлеченных ассоциативных правил), оценивать их интересность и интересность каждого терма признаков, на основе чего будем делать вывод об информативности каждого признака. Для этого вначале извлекаются численные ассоциативные правила $AR_l : X_l \rightarrow Y_l$ [3, 4, 7 – 11], затем выполняется оценивание интересности I_{AR_l} каждого из выявленных правил. В качестве оценок интересности правил возможно использовать критерии (1) – (5) [3, 4, 7–11]:

$$I_{AR_l} = \text{supp}(X_l \rightarrow Y_l) + \text{supp}(\overline{X_l} \rightarrow \overline{Y_l}), \quad (1)$$

$$I_{AR_l} = \frac{\text{supp}(X_l \rightarrow Y_l)}{\text{supp}(X_l)\text{supp}(Y_l)}, \quad (2)$$

$$I_{AR_l} = \frac{\text{conf}(X_l \rightarrow Y_l)}{\text{conf}(\overline{X_l} \rightarrow \overline{Y_l})}, \quad (3)$$

$$I_{AR_l} = \frac{\text{supp}(X_l \rightarrow Y_l)\text{supp}(\overline{X_l} \rightarrow \overline{Y_l})}{\text{supp}(X_l \rightarrow \overline{Y_l})\text{supp}(\overline{X_l} \rightarrow Y_l)}, \quad (4)$$

$$I_{AR_l} = \text{supp}(X_l \rightarrow Y_l) - \text{supp}(X_l)\text{supp}(Y_l), \quad (5)$$

где $\text{supp}(A)$ – поддержка множества A , определяемая как отношение числа элементов T_j , содержащих A , к общему числу экземпляров N_D в наборе данных D ; $\text{conf}(A)$ – достоверность множества A , рассчитываемая как отношение поддержки импликации A к поддержке ее левой части.

Используя информацию об интересности I_{AR_l} извлеченных ассоциативных правил, выполняется оценивание интересности термов $\Delta\tau_{ak}$, $k=1,2,\dots,N_{\text{int}.a}$ каждого признака τ_a , $a=1,2,\dots,N_l$. Интересность термов $\Delta\tau_{ak}$ предлагается определять по одной из следующих формул (6) – (8):

$$I_{\Delta\tau_{ak}} = \frac{1}{N_{\Delta\tau_{ak}}} \sum_{\substack{l:AR_l \in RB, \\ \Delta\tau_{ak} \in AR_l}} I_{AR_l}, \quad (6)$$

$$I_{\Delta\tau_{ak}} = \min_{\substack{l:AR_l \in RB, \\ \Delta\tau_{ak} \in AR_l}} \{I_{AR_l}\}, \quad (7)$$

$$I_{\Delta\tau_{ak}} = \max_{\substack{l:AR_l \in RB, \\ \Delta\tau_{ak} \in AR_l}} \{I_{AR_l}\}, \quad (8)$$

где $N_{\Delta\tau_{ak}}$ – число ассоциативных правил $AR_l \in RB$, содержащих терм $\Delta\tau_{ak}$: $\Delta\tau_{ak} \in AR_l$. Информативность I_a признаков τ_a будем оценивать исходя из оценок интересностей термов, входящих в соответствующий признак (9) – (11):

$$I_a = \frac{1}{N_{\text{int}.a}} \sum_{k=1}^{N_{\text{int}.a}} I_{\Delta\tau_{ak}}, \quad (9)$$

$$I_a = \max_{k=1,2,\dots,N_{\text{int}.a}} \{I_{\Delta\tau_{ak}}\}, \quad (10)$$

$$I_a = \min_{k=1,2,\dots,N_{\text{int}.a}} \{I_{\Delta\tau_{ak}}\}. \quad (11)$$

Признаки τ_a с низкими значениями информативности I_a исключаются из выборки D'_1 .

С целью выполнения этапа сокращения избыточных термов из выборки D'_2 извлекаются ассоциативные правила и выявляются взаимосвязи между различными интервалами $\Delta\tau_{ak}$ и $\Delta\tau_{bm}$ признаков.

В результате извлечения ассоциативных правил из выборки D'_2 синтезируется база правил RB_2 вида $AR_l: X_l \rightarrow Y_l$ с уровнем

достоверности $\text{conf}(X_l \rightarrow Y_l)$, не ниже минимально приемлемого minconfidence . Поэтому из транзакций (экземпляров) T'_{2j} выборки D'_2 можно исключить термы $\Delta\tau_{ak} \in X_l$ при наличии в этих же транзакциях термов $\Delta\tau_{bm} \in Y_l$, входящих в консеквенты Y_l правил базы RB_2 (12):

$$T'_{3j} = T'_{2j} \setminus \bigcup_{\substack{\Delta\tau_{ak} \in X_l, \\ \exists (\Delta\tau_{bm} \in T'_{2j}) \in Y_l, \\ (X_l \rightarrow Y_l) \in RB_2}} (\tau_a \in \Delta\tau_{ak}). \quad (12)$$

Путем исключения избыточных термов из выборки D'_2 выполняется преобразование $D'_2 \rightarrow D'_3$ и формирование выборки D'_3 сокращенной размерности. Таким образом полученное разбиение пространства признаков D'_3 содержит существенно меньшее число элементов $\Delta\tau_{ak}$ по сравнению с исходной выборкой D , характеризуется более высокими обобщающими свойствами и позволяет понизить структурную и параметрическую сложность синтезируемых диагностических моделей.

Для выполнения экспериментального исследования предложенного метода сокращения размерности обучающей выборки на основе ассоциативных правил он был программно реализован на языке C#. Выборка для проведения экспериментов содержала информацию о характеристиках сырья и параметрах технологического процесса изготовления кондитерской продукции для 3284 партий изделий (наблюдений), описывающихся с помощью 43 признаков. Далее эта выборка сокращалась путем применения предложенного метода, а также различных методов сокращения обучающих множеств (методы отбора признаков и методы отбора экземпляров [1, 2, 5, 6, 12 – 14]).

Результаты экспериментов показали, что предложенный метод упрощения баз транзакций на основе ассоциативных правил позволяет формировать множество данных с меньшим количеством элементов по сравнению с исходной выборкой, а также строить на его основе диагностические модели с высокими значениями показателей обобщения и интерпретируемости.

Выводы. В работе решена актуальная задача упрощения баз транзакций для построения диагностических моделей.

Научная новизна работы заключается в том, что предложен метод упрощения транзакционных баз данных на основе четких продукций, который предполагает выполнение этапов редукции экземпляров, признаков и избыточных термов, для оценивания информативности

признаков использует информацию об извлеченных ассоциативных правилах и позволяет формировать разбиение пространства признаков с меньшим количеством экземпляров по сравнению с исходной выборкой, что, в свою очередь, позволяет синтезировать более простые и удобные для восприятия диагностические модели.

Список літератури: 1. *Denton T.* Advanced automotive fault diagnosis / *T. Denton*. – London: Elsevier, 2006. – 271 p. 2. *Sobhani-Tehrani E.* Fault diagnosis of nonlinear systems using a hybrid approach / *E. Sobhani-Tehrani, K. Khorasani*. – New York: Springer, 2009. – 265 p. – (Lecture notes in control and information sciences; № 383). 3. *Koh Y. S.* Rare Association Rule Mining and Knowledge Discovery / *Y.S. Koh, N. Rountree*. – New York: Information Science Reference. – 2009. – 320 p. 4. *Adamo J.-M.* Data mining for association rules and sequential patterns: sequential and parallel algorithms / *J.-M. Adamo*. – New York: Springer-Verlag. – 2001. – 259 p. 5. *Lee J.A.* Nonlinear dimensionality reduction / *J.A. Lee, M. Verleysen*. – New York: Springer, 2007. – 308 p. 6. *Abonyi J.* Cluster analysis for data mining and system identification / *J. Abonyi, B. Feil*. – Basel: Birkhäuser, 2007. – 303 p. 7. *Ayubi S.* An algorithm to mine general association rules from tabular data / *S. Ayubi, M.K. Muyebe, A. Baraani-dastjerdi, J.A. Keane* // Information Sciences. – 2009. – Vol. 179. – № 20. – P. 3520-3539. 8. *Verlinde H.* Fuzzy versus quantitative association rules: a fair data-driven comparison / *H. Verlinde, M.D. Cock, R. Boule* // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 2006. – Vol. 36. – № 3. – P. 679-684. 9. *Sohn S. Y.* Searching customer patterns of mobile service using clustering and quantitative association rule / *S.Y. Sohn, Y. Kim* // Expert Systems With Applications. – 2008. – Vol. 34. – № 2. – P. 1070-1077. 10. *Zhao Y.* Post-mining of association rules: techniques for effective knowledge extraction / *Y. Zhao, C. Zhang, L. Cao*. – New York: Information Science Reference. – 2009. – 372 p. 11. *Zhang C.* Association rule mining: models and algorithms / *C. Zhang, S. Zhang*. – Berlin: Springer-Verlag. – 2002. – 238 p. 12. *Guyon I.* An introduction to variable and feature selection / *I. Guyon, A. Elisseeff* // Journal of machine learning research. – 2003. – № 3. – P. 1157-1182. 13. *Jensen R.* Combining rough and fuzzy sets for feature selection: thesis ... doctor of philosophy / *Jensen Richard*. – Edinburgh: University of Edinburgh, 2005. – 221 p. 14. *McLachlan G.* Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition / *G. McLachlan*. – New Jersey: John Wiley & Sons. – 2004. – 526 p.

Bibliography (transliterated): 1. *Denton T.* Advanced automotive fault diagnosis / *T. Denton*. – London: Elsevier, 2006. – 271 p. 2. *Sobhani-Tehrani E.* Fault diagnosis of nonlinear systems using a hybrid approach / *E. Sobhani-Tehrani, K. Khorasani*. – New York: Springer, 2009. – 265 p. – (Lecture notes in control and information sciences; № 383). 3. *Koh Y.S.* Rare Association Rule Mining and Knowledge Discovery / *Y.S. Koh, N. Rountree*. – New York: Information Science Reference. – 2009. – 320 p. 4. *Adamo J.-M.* Data mining for association rules and sequential patterns: sequential and parallel algorithms / *J.-M. Adamo*. – New York: Springer-Verlag. – 2001. – 259 p. 5. *Lee J.A.* Nonlinear dimensionality reduction / *J.A. Lee, M. Verleysen*. – New York: Springer, 2007. – 308 p. 6. *Abonyi J.* Cluster analysis for data mining and system identification / *J. Abonyi, B. Feil*. – Basel: Birkhäuser, 2007. – 303 p. 7. *Ayub, S.* An algorithm to mine general association rules from tabular data / *S. Ayubi, M. K. Muyebe, A. Baraani-dastjerdi, J. A. Keane* // Information Sciences. – 2009. – Vol. 179. – № 20. – P. 3520-3539. 8. *Verlinde H.* Fuzzy versus quantitative association rules: a fair data-driven comparison / *H. Verlinde, M. D. Cock, R. Boule* // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 2006. – Vol. 36. – № 3. – P. 679-684. 9. *Sohn S.Y.* Searching customer patterns of mobile service using clustering and quantitative association rule / *S.Y. Sohn, Y. Kim* // Expert Systems With Applications. – 2008. – Vol. 34. – № 2. – P. 1070-1077. 10. *Zhao Y.* Post-mining of association rules: techniques for effective knowledge extraction / *Y. Zhao, C. Zhang, L. Cao*. – New York: Information Science Reference. – 2009. –

372 p. **11. Zhang C.** Association rule mining: models and algorithms / *C. Zhang, S. Zhang*. – Berlin: Springer-Verlag. – 2002. – 238 p. **12. Guyon, I.** An introduction to variable and feature selection / *I. Guyon, A. Elisseeff* // Journal of machine learning research. – 2003. – № 3. – P. 1157–1182. **13. Jensen R.** Combining rough and fuzzy sets for feature selection: thesis ... doctor of philosophy / *Jensen Richard*. – Edinburgh: University of Edinburgh, 2005. – 221 p. **14. McLachlan G.** Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition / *G. McLachlan*. – New Jersey: John Wiley & Sons. – 2004. – 526 p.

Поступила (received) 25.04.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф., декан Запорожского национального университета Гоменюк С.И.

Zayko Tatiana, postgraduate student
Zaporizhzhya National Technical University
Zhukovsky str., 64, Ukraine, Zaporizhzhya, 69063
tel: +380-97-355-61-55; e-mail: tzyakun@mail.ru

Oliinyk Andrii, Ph.D., Associate Professor
Zaporizhzhya National Technical University
Zhukovsky str., 64, Ukraine, Zaporizhzhya, 69063
tel: +380-98-256-38-93; e-mail: olejnikaa@gmail.com

Subbotin Sergey, Dr. Sci. Tech., Professor
Zaporizhzhya National Technical University
Zhukovsky str., 64, Ukraine, Zaporizhzhya, 69063
tel: +380-612-95-27-66; subbotin.csit@gmail.com
ORCID ID 0000-0001-5814-8268.

УДК 37.012

С.М. ЗЛЕПКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ВНТУ, Винница,
С.В. ТЫМЧИК, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Винница,
Л.Г. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Винница,
С.В. КОСТИШИН, канд. техн. наук, асс., ВНТУ, Винница,
К.С. ПОСТЕМСКАЯ, асп., ВНТУ, Винница

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАК КРИТЕРИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ И СТУДЕНТА

В статье рассмотрена формализация педагогического процесса на основе взаимодействия преподавателя и студента. Разработана оптимизированная модель структурно-функциональной организации педагогического процесса и модель эффективной обучающей деятельности в рамках высшего учебного заведения с учетом психологической совместимости. Ил.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: педагогический процесс, структурно-функциональная организация, модель эффективной обучающей деятельности, высшее учебное заведение.

Постановка проблемы. Огромный потенциал взаимодействия преподавателя и студента для развития их личностей пока не стал предметом глубокого психологического анализа. Однако передовая педагогическая практика давно переводит учебно-воспитательный процесс на уровень межличностных отношений в полном смысле этого слова, т.е. превращает его во взаимодействие, диалог как источников личностного роста обоих участников процесса. Именно так во все времена строили свои взаимоотношения с учениками выдающиеся педагоги.

Если педагогический процесс – это, прежде всего, взаимодействие личностей, то и основным средством воздействия педагога на студента становится он сам, как личность, а не только как специалист, владеющий необходимыми знаниями и умениями. Человеческие качества, требовательность к самому себе и окружающим играют решающую роль в его деятельности и профессиональных качествах.

Анализ литературы. Педагогические задачи имеют комплексный характер по самой своей природе. Они не могут быть решены только средствами педагогики, психологии или с помощью методики преподавания конкретных наук, поэтому предполагают своеобразный синтез знаний из различных областей. Этот синтез и должен осуществить педагог при разработке конкретных программ подготовки специалистов высокого уровня и позже, когда он анализирует степень их готовности к усвоению знаний, стимулирует и активизирует их учебную деятельность,

© С.М. Злепко, С.В. Тымчик, Л.Г. Коваль, С.В. Костришин, К.С. Костремская,
2014

проводит диагностику того, что усвоено [1].

Основное содержание деятельности вузовского преподавателя включает выполнение нескольких функций – обучающей, воспитательской, организаторской и исследовательской. Эти функции выявляются в единстве, хотя у многих преподавателей одна из них доминирует над другими. Наиболее специфично для преподавателя вуза сочетание педагогической и научной деятельности. Исследовательская работа обогащает внутренний мир педагога, развивает его творческий потенциал, повышает научный уровень занятий. В то же время педагогические цели часто побуждают к глубокому обобщению и систематизации материала, к более детальному формулированию основных идей и выводов, к постановке уточняющих вопросов и даже порождению новых гипотез [1 – 3].

Известно, что индивидуальное здоровье студентов в значительной мере определяется уровнем педагогических способностей профессорско-преподавательского состава вуза, в структуре которых выделяют четыре основных компоненты: гностическую, конструктивную, организаторскую и коммуникационную. Понятно, что каждая из названных компонент влияет на учебный процесс и восприятие материала студентом, но с точки зрения непосредственного воздействия его на здоровье, и, прежде всего, на его психологическую составляющую, наиболее весомой является коммуникативная компонента [4 – 6].

Анализ школьных и студенческих факторов риска показал, что большинство проблем, связанных со здоровьем студентов, возникают и решаются в процессе ежедневной практической работы преподавателей и связано с их профессиональной деятельностью [7].

В 2010 г. стартовали наиболее масштабные инициативы – Программа создания единого цифрового пространства в Европе и Инновационный союз в рамках стратегии ЕС "Европа 2020". В обоих проектах особое внимание уделяется роли электронного здравоохранения [8]. Одним из главных партнеров реализации данных проектов является компания Intel, активно помогающая компаниям-партнерам разрабатывать медицинское оборудование и информационные системы, которые обеспечивают более высокое качество работы, доступность информации и снижение расходов. Это позволяет медико-профилактическим учреждениям собирать, хранить и обмениваться информацией, делая ее более мобильной и защищенной [8]. Естественно, можно надеяться, что электронное здравоохранение получит свою проекцию и на студенческое здоровье, поэтому любые, на наш взгляд, попытки структуризации взаимоотношений преподавателей и студентов

с последующим синтезом соответствующих моделей, будут способствовать повышению его качества.

Цель статьи – очертить пределы формализации педагогического процесса как взаимодействия преподавателя и студента путем разработки структурно-функциональной организации педагогического процесса и модели эффективной обучающей деятельности в рамках высшего учебного заведения.

Формализация педагогического процесса. На рис. показана классическая (в редакции авторов) структурно-функциональная организация педагогического процесса, представленного личностями преподавателя и студента, объединенными в единую виртуальную личность непосредственно процессом педагогического общения – основой образовательного процесса и его составляющими, обеспечивающими продуктивное сотрудничество и партнерство сторон, а также стимуляцию процесса педагогического общения.

В свою очередь, каждая из упомянутых личностей, участников процесса, представлена теми характеристиками, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на образовательный процесс. Действительно, чтобы мы не рассматривали: личность преподавателя, его необходимые умения и действия и, особенно, стиль руководства, везде допустимо возникновение ситуации, при которой не обеспечивается 100 % наличие или отсутствие необходимых качеств. При этом следует учесть, что преподаватель и студент один и тот же параметр могут оценивать по-разному, более того, разные студенты по-своему формируют личную оценку в зависимости от сложившейся ситуации.

Например, либеральный или попустительский стиль руководства одними студентами может оцениваться как доброжелательный стиль, другими – как ни к чему не обязывающий, третьими – как проявление неуважения и т. д. Аналогично, что касается авторитарного стиля – студенты будут "за" и "против", но самое грустное в том, что каждая оценка будет представлять собой субъективное суждение о том или ином преподавателе.

К сожалению, сегодняшний студент очень часто расценивает обычную требовательность как проявление авторитарного стиля, диалог с ним – как плохое знание материала и попытку компенсировать его знанием студентов, содействие адаптации и интеграции личности студента в учебно-воспитательный процесс – как вмешательство в его личную жизнь.

Личность студента



Рис. Структурно-функциональная организация педагогического процесса (начало)

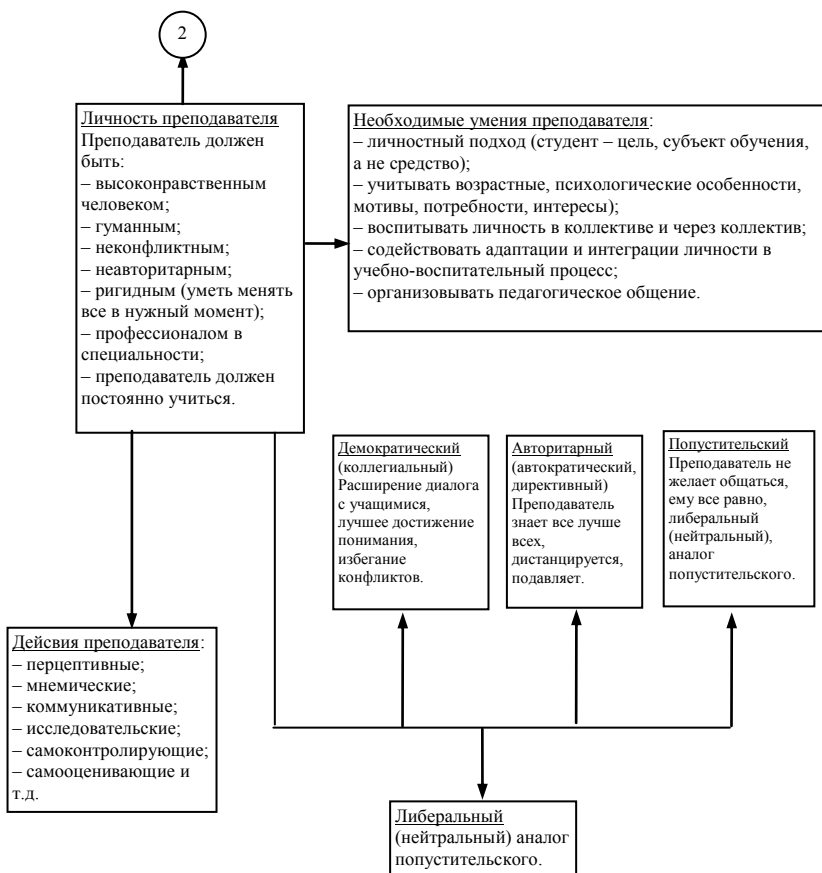


Рис. Структурно-функциональная организация педагогического процесса (продолжение)

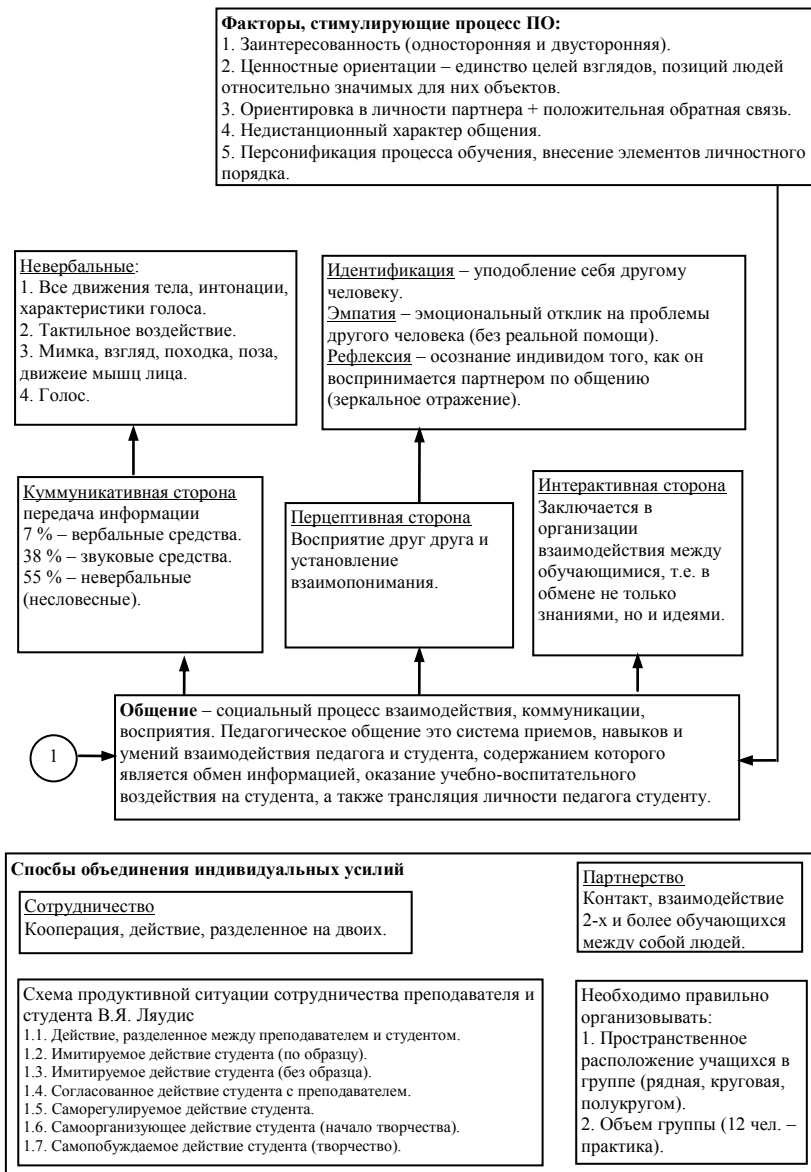


Рис. Структурно-функциональная организация педагогического процесса (окончание)

Характерно, что это продолжается только до сессии, поскольку как только она начинается, все преподаватели становятся чуть ли не идеальными, самыми лучшими и умными и обладающими всеми необходимыми позитивными качествами.

Безусловно, в том, что происходит, имеет место и значительная вина преподавателей, особенно на первых курсах обучения, когда преподаватель, считая студента своим партнером по педагогическому процессу (что вполне логично), не понимает или делает вид и требует от студента всего того, что ему не дала школа, и чему данный преподаватель должен был его научить. Поэтому, говоря о партнерстве преподавателя и студентов, с сожалением приходится констатировать, что такие факты весьма и весьма редки, хотя они как раз и могут служить серьезной основой общения, как социального процесса взаимодействия, коммуникации и восприятия. Еще более сложная ситуация с сотрудничеством, когда речь идет о достижениях совместных целей путем кооперации, совершения согласованных действий обеими сторонами. И в этом случае, на наш взгляд, сложно назвать продуктивной схему сотрудничества (рис.), которая в представленном виде более похожа на прямую зависимость студента от преподавателя [2]. Классическим сотрудничеством, как правило, является такое, когда обе стороны имеют равные права и возможности, но, в силу определенных обстоятельств, вклад каждой из них на разных этапах сотрудничества будет различным. Первым пунктом в приведенной схеме, на наш взгляд, должен быть тезис о том, что сотрудничество сторон равноправно и равноуважаемо, но может быть, что вполне логично, временно функционально разделено.

Все "самостоятельные" действия студента (см. рис.) без поддержки, подсказки, руководства и уважения со стороны преподавателя обречены на неудачу, что, кстати, имеет место в очень большом числе ВУЗов.

В этом плане факторы, стимулирующие процесс образования, представлены существенно более конкретно и реально отображают процесс взаимодействия преподавателя и студентов.

Представленная на рисунке схема обязательно должна быть дополнена стремлением обеих сторон к достижению и обеспечению психологической совместимости, которая является одной из ключевых составляющих процесса общения. В зависимости от уровня этой совместимости существенно зависит и эффективность образования. Наиболее ярким примером в этом случае может быть "поющий" ректор – М.М. Поплавский, у которого, судя по всему, психологическая совместимость есть со всеми.

Рассматриваемая схема, к сожалению, не содержит и элемента, оценивающего качественную и количественную стороны учебного

процесса, и тем более, его интегрированную оценку самими студентами и преподавателями.

Тем не менее, если структурно-функциональную организацию педагогического процесса, представленную на рис., дополнить теми элементами и компонентами, о которых шла речь, то можно говорить о некоторой базовой модели триады "студент – образовательный процесс – преподаватель". Статистика говорит о том, что всех вузовских преподавателей можно условно разделить на три группы: преподаватели с преобладанием педагогической направленности (примерно 2/5 от общего числа); 2) с преобладанием исследовательской направленности (примерно 1/5); и 3) с одновременной выраженностью педагогической и исследовательской направленности (немного более трети) [3, 9].

Выводы. Профессионализм преподавателя ВУЗа в педагогической деятельности выражается в умении видеть и формулировать педагогические задачи на основе анализа педагогических ситуаций и находить оптимальные способы их решения. Заранее описать все многообразие ситуаций, решаемых педагогом в ходе работы со студентами, невозможно. Принимать решения приходится каждый раз в новой ситуации, своеобразной и быстро меняющейся. Поэтому одной из важнейших характеристик педагогической деятельности является ее творческий характер. Творческая индивидуальность педагога – это высшая характеристика его деятельности, и, как всякое творчество, она тесно связана с его личностью.

Список литературы: 1. Буланова-Топоркова М.В. Педагогика и психология высшей школы / М.В. Буланова-Топоркова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 544 с. 2. Вдовюк В.И. Основы педагогики высшей школы в структурно-логических схемах / В.И. Вдовюк, С.М. Фильков. – М.: МГИМО, 2004. – 67 с. 3. Шарипов Ф.В. Педагогика и психология высшей школы / Ф.В. Шарипов. – М.: Логос, 2012. – 448 с. 4. Сентизова М.И. Педагогическое обеспечение подготовки будущих учителей к здоровьесберегающей деятельности: автореф. дис. ... канд. пед. наук; 13.00.01 / М.И. Сентизова. – Якутск, 2008. – 20 с. 5. Митина Л.М. Профессиональное развитие и здоровье педагога: проблемы и пути решения / Л.М. Митина // Вестник образования России. – 2005. – № 7. – С. 45–58. 6. Иванов В.Г. Создание центров нормализации функционального состояния – безопасность жизнедеятельности и труда / В.Г. Иванов, С.В. Иванов, В.И. Клименко // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2010. – Вип. 4 (16). – С. 216–218. 7. Костенко Л.В. Здоровьесберегающие технологии в школе [Электронный ресурс] / Л.В. Костенко // Открытый класс: сетевые образовательные сообщества. – Режим доступа: <http://www.openclass.ru/node/47746>. – Дата обращения: 14.03.2014. 8. Intel и информационные технологии в медицине [Электронный ресурс] / Intel PR_RCIS // INTEL: Пресс-центр Intel. – Режим доступа: http://newsroom.intel.com/community/ru_ru/blog/2012/03/19. – Дата обращения: 14.03.2014. 9. Смирнов С.Д. Педагогика и психология высшего образования: от деятельности к личности / С.Д. Смирнов. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Академия, 2005. – 400 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Bulanova-Toporkova M.V.* Pedagogika i psikhologia vysshej shkoly / *M.V. Bulanova-Toporkova*. – Rostov-na-Donu: Feniks, 2002. – 544 s. 2. *Vdovyuk V.I.* Osnovy pedagogiki vysshej shkoly v strukturno-logicheskix sxemax / *V.I. Vdovyuk, S.M. Filkov*. – M.: MGIMO, 2004. – 67 s. 3. *Sharipov F.V.* Pedagogika i psixologiya vysshej shkoly / *F.V. Sharipov*. – M.: Logos, 2012. – 448 s. 4. *Sentizova M.I.* Pedagogicheskoe obespechenie podgotovki budushhix uchitelej k zdoroviesberegayushhej deyatelnosti : avtoref. dis. ... kand. ped. nauk; 13.00.01 / *M.I. Sentizova*. – Yakutsk, 2008. – 20 s. 5. *Mitina L.M.* Professionalnoe razvitie i zdorove pedagoga: problemy i puti resheniya / *L.M. Mitina* // Vestnik obrazovaniya Rossii. – 2005. – № 7. – S. 45–58. 6. *Ivanov V.G.* Sozdanie centrov normalizacii funkcionalnogo sostoyaniya – bezopasnost zhiznedeyatelnosti i truda / *V.G. Ivanov, S.V. Ivanov, V.I. Klimenko* // Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. – 2010. – Vyp. 4 (16). – S. 216–218. 7. *Kostenko L.V.* Zdorovesberegayushhie tehnologii v shkole [Elektronnyj resurs] / *L.V. Kostenko* // Otkrytyj klass: setevye obrazovatelnye soobshhestva. – Rezhim dostupa: <http://www.openclass.ru/node/47746>. – Data obrashheniya: 14.03.2014. 8. Intel i informacionnye tehnologii v medicine [Elektronnyj resurs] / *Intel PR_RCIS* // INTEL: Press-centr Intel. – Rezhim dostupa: http://newsroom.intel.com/community/ru_ru/blog/2012/03/19. – Data obrashheniya: 14.03.2014. 9. *Smirnov S.D.* Pedagogika i psixologiya vysshego obrazovaniya: ot deyatelnosti k lichnosti / *S.D. Smirnov*. – 2-e izd., pererab i dop. – M.: Akademiya, 2005. – 400 s.

Поступила (received) 05.04.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. ВНТУ Павлов С.В.

Zlepko Serhiy, professor, Dr.Tech.Sci., Professor
Vinnytsia national technical university
Khmelnyske shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel. (0432) 598-122, e-mail: smzlepko@ukr.net
ORCID ID: 0000-0001-8849-4188.

Tymchyk Serhiy, Cand.Tech.Sci.
Vinnytsia national technical university
Khmelnyske shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel. (0432) 598-123, e-mail: tymchyksv@ukr.net
ORCID ID: 0000-0003-2977-1602

Koval Leonid, Cand.Tech.Sci.
Vinnytsia national technical university
Khmelnyske shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel. (0432) 598-123, e-mail: klg@ua.fm
ORCID ID: 0000-0001-9887-2605

Kostishyn Serhiy, Cand.Tech.Sci.
Vinnytsia national technical university
Khmelnyske shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel. (0432) 598-123, e-mail: seruykost@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0002-4701-8721

Postemska Ksenia, graduate student
Vinnytsia national technical university
Khmelnyske shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel. (0432) 598-123

УДК 621.746.62.001.57

А.Н. КАЛИТАЕВ, канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВПО

Магнитогорский государственный технический университет,
Магнитогорск, Россия,

В.Д. ТУТАРОВА, канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВПО

Магнитогорский государственный технический университет,
Магнитогорск, Россия,

Ю.В. ПОНОМАРЕВ, магистр, ФГБОУ ВПО Магнитогорский
государственный технический университет, Магнитогорск, Россия

К ВОПРОСУ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ЗАГОТОВКИ В СОРТОВЫХ МНЛЗ

На основе метода одномерной безусловной оптимизации (метод Фибоначчи) и математической модели затвердевания заготовки рассмотрена идентификация параметров внешнего теплообмена при охлаждении заготовки в сортовых машинах непрерывного литья заготовки на примере пятиручьевых сортовых машинах непрерывного литья заготовки радиального типа фирмы VAI. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: оптимизация, идентификация, теплообмен, МНЛЗ, модель.

Постановка проблемы. В настоящее время объем производства сортовой заготовки составляет более 380 млн. т в год и постоянно увеличивается. К росту объема непрерывнолитой сортовой заготовки приводит постоянное совершенствование технологии и непрерывное освоение новых машин непрерывного литья. На текущий момент в странах СНГ насчитывается более 30 МНЛЗ по производству сортовой заготовки.

В 2004 году в ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" в электросталеплавильном цехе были введены в эксплуатацию две пятиручьевых сортовых МНЛЗ австрийской фирмы VAI с общей проектной производительностью 2 млн. т заготовки в год. На машине применяется гильзовый многоконусный кристаллизатор "Diamold" высотой 900 мм. На первом участке зоны вторичного охлаждения применяется водяное охлаждение, а на трех остальных – водовоздушное.

Внешний теплообмен непрерывнолитой заготовки при охлаждении в ЗВО на поверхности характеризуется коэффициентами теплоотдачи по длине МНЛЗ, которые связаны с интенсивностью охлаждения заготовки по периметру, выбранной из условий получения качественного металла на выходе из МНЛЗ. Для обеспечения равномерного охлаждения заготовки по длине ЗВО предусматривается несколько секций с

различной интенсивностью отвода тепла [1]. Интенсивность охлаждения во вторичной зоне должна выбираться таким образом, чтобы температура поверхности заготовки в процессе ее движения вдоль технологической оси МНЛЗ медленно снижалась.

Анализ литературы. Исследования внешнего теплообмена непрерывнолитой заготовки при охлаждении в ЗВО отражены в работах В.Т. Борисова, Ю.А. Самойловича, В.А. Журавлева, В.В. Соболева, А.И. Вейника, Д.П. Евтеева, Д.Х. Девятова и др. [2 – 7]. Методика решения задачи определения коэффициентов теплоотдачи непрерывнолитой слябовой заготовки по экспериментальным значениям температуры поверхности при охлаждении заготовки в ЗВО МНЛЗ описана в работе [3]. В работе [2] приведена зависимость между коэффициентом теплоотдачи и удельными расходами воды для слябовой МНЛЗ. Используя те или иные цифровые модели, авторами [4] получено изменение во времени (или по высоте машины) коэффициента теплоотдачи для выбранной скорости литья, сечения заготовки и марки стали для двумерного и одномерного случаев. В [5] для идентификации параметров внешнего теплообмена (коэффициенты теплоотдачи) в зоне вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок рассмотрены алгоритмы на основе метода наименьших квадратов для сплайн аппроксимации распределённого в пространстве параметра и оперативной настройки с текущими реальными условиями технологического процесса. В [6] параметрическая идентификация параметров внешнего теплообмена (расход охладителя) крупного стального слитка в ЗВО МНЛЗ проведена на методе стохастической аппроксимации по критерию минимизации квадратичной ошибки. В [7] рассмотрены методы определения интенсивности теплообмена на поверхности слитка (сляба) в ЗВО в зависимости от влияющих факторов. Основными факторами являются удельный расход воды, подаваемой на поверхность слитка из форсунок, а также неуправляемый теплообмен с роликками. Однако вопросы идентификации параметров внешнего теплообмена при охлаждении заготовки в сортовых МНЛЗ изучены недостаточно.

Цель статьи – идентификация параметров внешнего теплообмена при охлаждении заготовки в сортовых МНЛЗ на основе математической модели затвердевания непрерывнолитой заготовки и метода одномерной безусловной оптимизации.

Постановка задачи. Задача подготовки данных для расчета уточненных режимов охлаждения, представляет собой задачу

идентификации коэффициентов теплоотдачи по длине поверхности заготовки на основе распределения температур по поверхности, заданного из условий рационального охлаждения по Д.П. Евтееву [2]:

$$T_{\text{пов}}(x, l) = \frac{T_{\text{пов}}^0(x, l)}{(l - h_k + 1)^n}, \quad (1)$$

где $T_{\text{пов}}(x, l)$ и $T_{\text{пов}}^0(x, l)$ – температура поверхности заготовки соответственно при текущем значении l и $l = h_k$, К; l – текущая длина заготовки, мм; $n = \ln(T_{\text{пов}}^0(x, l)/800) / \ln(L - h_k + 1)$, L – полная длина заготовки от мениска в кристаллизаторе до конца зоны вторичного охлаждения, мм; h_k – рабочая высота кристаллизатора, мм.

Использование аналитического аппарата математического программирования требует выбора такого критерия (или функционала), экстремальное значение которого (max, min) достигалось бы при оптимальных, с нашей точки зрения, параметрах в оптимизируемом процессе.

Задача ставится следующим образом: требуется найти такую кусочно-постоянную функцию $\alpha(l)$ распределения коэффициента теплоотдачи по длине технологической оси МНЛЗ, которая соответствует минимуму функционала [3]

$$J(\alpha) = \int_W \int_L \left(T^*(x, l) - T(x, l) \right)^2 dx dl, \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $T^*(x, l)$ – рекомендуемое распределение температуры по поверхности заготовки, рассчитанное по формуле (1), К; $T(x, l)$ – распределение температуры по поверхности заготовки, полученное при решении уравнения теплопроводности с заданными коэффициентами теплоотдачи α , К; W – ½ ширины заготовки, м; x – координата по поверхности заготовки со стороны малого радиуса МНЛЗ; L – технологическая длина МНЛЗ, м; l – координата по длине заготовки вдоль технологической оси МНЛЗ.

Математическая модель. Для определения характера распределения температуры поверхности заготовки $T(x, l)$ проанализируем процесс теплопереноса в ней, на двух границах которой

осуществляется теплообмен с внешней средой за счет излучения и конвекции. Область решения представлена на рис. 1.

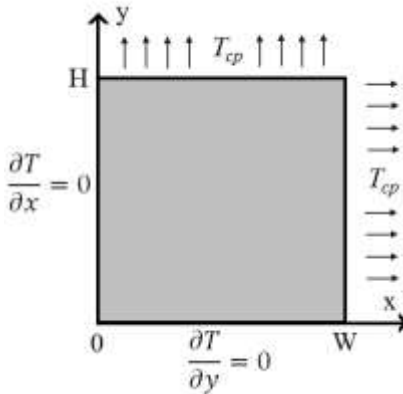


Рис. 1. Область решения задачи теплопереноса в заготовке

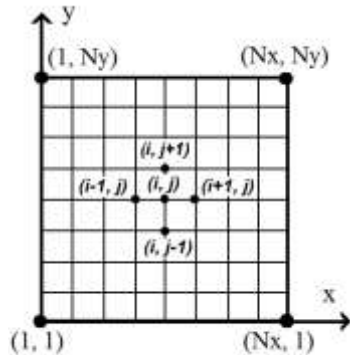


Рис. 2. Разностная сетка области решения

Математическая постановка задачи имеет вид:

$$\rho \cdot c_{\text{эф}}(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_{\text{эф}}(T) \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad \begin{cases} 0 < x < W; \\ 0 < y < H, \end{cases} \quad (3)$$

где ρ – плотность металла, кг/м³; $c_{\text{эф}}(T)$ – эффективная теплоемкость металла, Дж/(кг·К); T – температура металла, К; $\lambda_{\text{эф}}(T)$ – эффективная теплопроводность металла, Вт/(м·К); τ – координата по времени; x , y – координаты поперечного сечения заготовки; H – $\frac{1}{2}$ толщины заготовки, м.

Коэффициенты $c_{\text{эф}}(T)$ и $\lambda_{\text{эф}}(T)$ определяются в зависимости от температуры фазового состояния металла [4].

Температура ликвидус определяется с учетом влияния содержания в металле химических элементов, а для определения температуры солидус использовались аппроксимирующие функции линии солидус в области диаграммы состояния системы *Fe-C* [8].

Начальные и граничные условия запишутся в виде:

$$\tau = 0: \quad | \quad T = T_0, \quad 0 \leq x \leq W, \quad 0 \leq y \leq H; \quad (4)$$

$$D = C \left[\left(\frac{T_{\text{пов}_x}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ср}}}{100} \right)^4 \right];$$

$$\tau > 0: \quad \left\{ \begin{array}{l} x = 0: \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \quad x = W: \quad -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \cdot (T_{\text{пов}_x} - T_{\text{ср}}) + D; \\ y = 0: \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \quad y = H: \quad -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \cdot (T_{\text{пов}_y} - T_{\text{ср}}) + D, \end{array} \right.$$

где T_0 – температура металла в промежуточном ковше, К; $C = \varepsilon \cdot C_0$ – коэффициент теплообмена излучением, Вт/(м²·К⁴); ε – степень черноты стальной заготовки; C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, $5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); $T_{\text{ср}}$ – температура окружающей среды, К; $T_{\text{пов}_x}$, $T_{\text{пов}_y}$ – температуры поверхностей заготовки, К.

Для аппроксимации дифференциального уравнения (3) разностным введем пространственно-временную сетку с координатами

$$x_i = (i-1)h_x, \quad y_j = (j-1)h_y, \quad \tau_n = n\tau, \quad l_n = \nu\tau_n,$$

где $i = \overline{1, N_x}$; h_x, h_y – шаги сетки по координатам x, y соответственно; τ – шаг по времени; $j = \overline{1, N_y}$, $n = \overline{0, K}$, K – количество итераций по времени τ ; ν – скорость вытягивания заготовки, м/мин. То есть на всю расчетную область по сечению заготовки накладываем сетку, представленную на рис. 2.

Для решения задачи (3) – (4) введем равномерную пространственно-временную сетку, в результате чего шаг по времени реализуется в два этапа – на промежуточном временном шаге проводим дискретизацию уравнения (3) только в направлении оси x и получаем одномерное уравнение, затем проводим дискретизацию уравнения (3) в направлении оси y и, решая полученное одномерное уравнение, определяем поле температуры на целом шаге по времени [9]. Полученные разностные уравнения сводятся к трехдиагональному виду и решаются последовательно методом прогонки.

Для идентификации коэффициентов теплоотдачи применяется метод одномерной безусловной оптимизации – метод Фибоначчи. Данный метод при заданном интервале неопределенности (диапазон изменения

коэффициентов теплоотдачи в ЗВО МНЛЗ) позволяет за определенное количество итераций найти решение с заданным уровнем точности.

В начальный момент времени температурное поле принимается однородным: температура во всем объеме постоянна и равна температуре металла в промежуточном ковше.

На основе математической модели была разработана компьютерная программа на языке Object Pascal для проведения идентификации параметров модели внешнего теплообмена заготовки в сортовых МНЛЗ.

Результаты моделирования. Численный эксперимент проводился для заготовки сечением 170×152 мм при следующих условиях. Была выбрана марка стали СтЗсп, разливаемая со скоростью вытягивания 2,8 м/мин с химическим составом, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали марки СтЗсп

Химический элемент	[C]	[Mn]	[Si]	[S]	[P]	[Cr]	[Ni]	[Cu]
Содержание, %	0,18	0,52	0,23	0,014	0,012	0,15	0,15	0,15

Для данного химического состава температура ликвидус составляет 1512°C , температура солидус – 1492°C . В соответствии с рекомендациями технологической инструкции принимаем температуру металла в промежуточном ковше 1535°C . Моделирование проводили для "мягкого" режима охлаждения (температура заготовки на выходе 950°C). По результатам моделирования были получены распределения температуры заготовки в заданных точках по ее сечению вдоль технологической оси МНЛЗ (рис. 3).

При рекомендуемом распределении температур выполнена идентификация коэффициентов теплоотдачи с поверхности заготовки и выполнен расчет расхода охладителя для каждой ЗВО (табл. 2).

Таблица 2

Параметры теплообмена в сортовой МНЛЗ

Параметр	I зона	II зона	III зона	IV зона
Расход воды, л/мин	66 (91,3)*	67,4 (60,9)*	38,6 (49,4)*	25,6 (30)*
Коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	565,6	468,5	194,4	127,5

* – в скобках указан расход воды в соответствии с инструкцией [10].

Анализ данных, представленных в табл. 2, выявил необходимость снижения расхода охладителя в I, III и IV зонах вторичного охлаждения по сравнению с действующими режимами охлаждения, что позволит получить температуру заготовки на выходе из ЗВО выше температуры провала пластичности, и как следствие, улучшить ее качество и получить значительный экономический эффект от экономии технической воды.

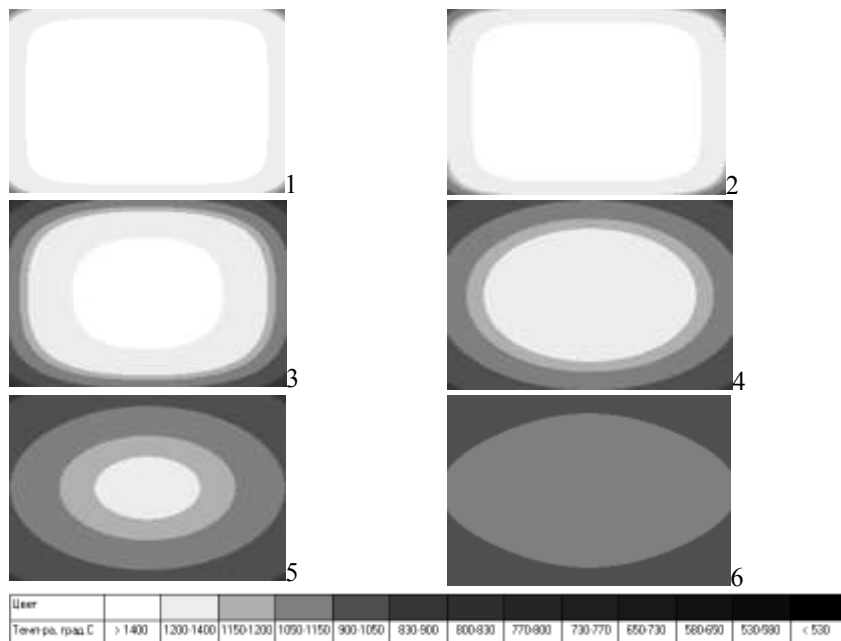


Рис. 3. Температура заготовки по ее сечению при "мягком" режиме охлаждения:

1 – на выходе из кристаллизатора; 2 – на выходе из I зоны;

3 – на выходе из II зоны; 4 – на выходе из III зоны;

5 – на выходе из IV зоны; 6 – перед МГР

Выводы. Применение рассмотренного метода позволит реализовать серию расчетов параметров теплообмена непрерывнолитой заготовки, расширить знание основных особенностей тепловой работы зоны вторичного охлаждения и на этом основании прогнозировать основные параметры режимов охлаждения заготовок на действующих сортовых машинах при повышении их производительности, а также обосновано использовать полученные знания при проектировании новых машин и технологий непрерывной разливки.

Список литературы: 1. *Смирнов А.Н., Подкорытов А.Л.* Современные сортовые МНЛЗ: Перспективы развития технологии и оборудования. [Электронный ресурс]: Донецкий национальный технический университет, ОАО "Енакиевский металлургический завод". – Режим доступа к ресурсу: <http://uas.su/articles/continuouscasting/00001.php>. 2. *Самойлович Ю.А.* Тепловые процессы при непрерывном литье стали / *Ю.А. Самойлович, С.Л. Крулевецкий, В.А. Горяинов, З.К. Кабаков.* – М.: Металлургия, 1982. – 152 с. 3. *Девятков Д.Х.* Определение коэффициентов теплоотдачи в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ с помощью идентифицируемой математической модели / *Д.Х. Девятков, И.И. Пантелеев* // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 8. – С. 62-65. 4. *Борисов В.Т.* Теория двухфазной зоны сплавов и ее применение к задачам непрерывного слитка. / *В.Т. Борисов, И.Н. Голиков, А.И. Манохин, Р.А. Уразаев* // Непрерывная разливка стали. – 1974. – № 2. – С. 5-28. 5. *Ткаченко В.Н.* Идентификация параметров внешнего теплообмена в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ / *В.Н. Ткаченко, А.А. Иванова, Г.Р. Василян* // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – № 39. – С. 168-177. 6. *Салихов К.З.* Адаптивная система автоматического управления процессом охлаждения крупного слитка в ЗВО МНЛЗ: модели и алгоритмы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / *Салихов Кирилл Зуфарович.* – М., 2011. – 26 с. 7. *Лукин С.В.* Совершенствование теплообмена при охлаждении металла на машинах непрерывного литья заготовок: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.14.04 / *Лукин Сергей Владимирович.* – Иваново, 2013. – 40 с. 8. Температура плавления стали. [Электронный ресурс]: Лаборатория крупного слитка. Внепечная обработка и разливка стали. Технологии и агрегаты. – Режим доступа к ресурсу: http://steelcast.ru/melting_temperature. 9. *Кузнецов Г.В.* Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие / *Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет.* – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с. 10. Разливка стали на сортовых машинах непрерывного литья заготовок МНЛЗ № 1 и 2 (МНЛЗ № 1 и 2) мартеновского цеха: Временная технологическая инструкция. – Магнитогорск. – 2004. – 35 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Smirnov A.N., Podkorytov A.L.* Sovremennye sortovyе MNLZ: Perspektivy razvitiya tehnologii i oborudovaniya. [Elektronnyj resurs]: Doneckij nacional'nyj tehničeskij universitet, OAO "Enakievskij metallurgičeskij zavod". – Rezhim dostupa k resursu: <http://uas.su/articles/continuouscasting/00001.php>. 2. *Samojlovich Ju.A.* Teplovye processy pri nepreryvnom lit'e stali / *Ju.A. Samojlovich, S.L. Kruleveckij, V.A. Gorjainov, Z.K. Kabakov.* – M.: Metallurgija, 1982. – 152 s. 3. *Devjatov D.H.* Opredelenie koeficientov teplotdachi v zone vtorichnogo ohlazhdenija MNLZ s pomoshh'ju identifičiruemoj matematičeskoj modeli / *D.H. Devjatov, I.I. Panteleev* // Izv. vuzov. Chernaja metallurgija. – 1999. – № 8. – S. 62-65. 4. *Borisov V.T.* Teorija dvuhfaznoj zony splavov i ee primenenie k zadacham nepreryvnogo slitka. / *V.T. Borisov, I.N. Golikov, A.I. Manohin, R.A. Urazaev* // Nepreryvnaja razlivka stali. – 1974. – № 2. – S. 5-28. 5. *Tkachenko V.N.* Identifikacija parametrov vneshnego teploobmena v zone vtorichnogo ohlazhdenija MNLZ / *V.N. Tkachenko, A.A. Ivanova, G.R. Vasiljan* // Vestnik NTU "HPI". Serija: Informatika i modelirovanie. – Har'kov: NTU "HPI". – 2007. – № 39. – S. 168-177. 6. *Salihov K.Z.* Adaptivnaja sistema avtomatičeskogo upravlenija processom ohlazhdenija krupnogo stal'nogo slitka v ZVO MNLZ: modeli i algoritmy: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.13.06 / *Salihov Kirill Zufarovich.* – M., 2011. – 26 s. 7. *Lukin S.V.* Sovershenstvovanie teploobmena pri ohlazhdenii metalla na mashinah nepreryvnogo lit'ja zagotovok: avtoref. dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.14.04 / *Lukin Sergej Vladimirovich.* – Ivanovo, 2013. – 40 s. 8. Temperatura plavlennija stali. [Elektronnyj resurs]: Laboratorija krupnogo slitka. Vnepechnaja obrabotka i razlivka stali. Tehnologii i agregaty. – Rezhim dostupa k resursu: http://steelcast.ru/melting_temperature. 9. *Kuznecov G.V.* Raznostnye metody reshenija zadach teploprovodnosti: uchebnoe posobie. / *G.V. Kuznecov, M.A. Sheremet.* – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 172 s. 10. Razlivka stali na sortovyh mashinah nepreryvnogo lit'ja zagotovok MNLZ № 1 i 2

2 (MNLZ №1 i 2) martenovskogo ceha: Vremennaja tehnologicheskaja instrukcija. – Magnitogorsk. – 2004. –35 s.

Поступила (received) 15.04.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО "МГТУ" Девятков Д.Х.

Kalitaev Alexander, Ph.D., Associate Professor
Magnitogorsk State Technical University named after GI Nosov
Str. behalf of the newspaper "Pravda", 63-35, Magnitogorsk, Russia, 455026
tel./phone: +79068539550, e-mail: alex_mgtu@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-5984-967X

Tutarova Vlasta, Ph.D., Associate Professor
Magnitogorsk State Technical University named after GI Nosov
Str. Western highway, 50, Magnitogorsk, Russia, 455000
tel./phone: +79030915315, e-mail: vlasta_dev@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-4615-6284

Ponomarev Yury, master
Magnitogorsk State Technical University named after GI Nosov
Pr. Lenina, 38, Magnitogorsk, Russia, 455000
tel./phone: +7(3519)298563, e-mail: vt-pm@magtu.ru

УДК 004.77:37.04

В.В. КАРАСЮК, канд. техн. наук, доц., НЮУ им. Я. Мудрого,
Харьков,

С.Н. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доц., НЮУ им. Я. Мудрого,
Харьков

ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА СТУДЕНТА В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В статье изложено исследование особенностей формирования индивидуального образовательного пространства. Проанализированы компоненты образовательного пространства. Сформулирован вывод, что средством интеграции информационных ресурсов могут быть онтологии. Онтология правовых знаний рассмотрена как основное звено модели индивидуального образовательного пространства. Приведены характеристики программного пакета, реализующего онтологию в области права. Ил.: 1. Библиогр.: 12 назв..

Ключевые слова: индивидуальное образовательное пространство, область права, онтология, модель.

Постановка проблемы и ее актуальность. Студенты высших учебных заведений начинают свое обучение, не имея достаточного опыта эффективного использования технологии Web 2.0 в учебных целях, а также навыков к самостоятельному образованию [1]. Учебные заведения обязаны предложить своим учащимся инструменты, которые обеспечат поддержку формального классического образования и помогут им в достижении целей самостоятельного обучения. Перспективным подходом для организации учебного процесса является формирование индивидуального образовательного пространства обучаемого (PLE – Personal Learning Environments) [2]. В данной работе рассматривается модель индивидуального образовательного пространства и ее компоненты в информационной среде высшего учебного заведения.

Нынешнее представление об организации образования можно охарактеризовать таким образом: проблемная область знаний определяется преподавателем; студенты определяют свой личный профиль только в социальном плане; цели обучения определяются учебным заведением, а не студентами. С другой стороны, целевые установки для обучающихся должны быть основой для формирования их профилей обучения в терминах предметной области, определения цели обучения и выбора социальных субъектов, которые могут быть привлечены для процесса обучения. А с точки зрения структуры знаний эти установки должны стать основой в создании некоторого

"семиотического социального пространства" [3], способного поддерживать сообщества учащихся в процессе обмена информацией и освоения новых знаний. Эти несоответствия являются предпосылками для разработки принципов и средств построения универсального образовательного пространства. Актуальность этой работы возрастает по мере внедрения в учебный процесс средств дистанционного образования, увеличения доли самостоятельной работы и расширения системы последиplomного образования (пожизненного образования).

Анализ исследований в области построения индивидуального образовательного пространства. Индивидуальное образовательное пространство не является компьютерным приложением, а скорее системой, описывающей использование новых технологий для обучения [4]. В данной работе мы будем ссылаться на модель индивидуального образовательного пространства как образное представление, продуцированное двумя направлениями исследований: исследованием педагогических и методических вопросов, связанных с конструированием индивидуальных образовательных пространств и их формальных контекстов [5, 6]; технологическое направление, которое исследует компоненты и приложения, подходящие для интеграции в модель индивидуального образовательного пространства [7, 8].

Индивидуальное образовательное пространство (PLE) часто отождествляют с системами управления обучением (LMS – Learning Management System). Однако между ними существенная разница: PLE концентрируется, прежде всего, на обучающемся, а LMS – на учебном курсе. Формирование PLE способствует самостоятельности, аналитическому и креативному мышлению обучаемых. Роль студента активна, он является творцом своего контента, организует свое обучение, развивает информационные компетенции. Таким образом, персональная учебная среда является основой организации самостоятельной работы. Типичная PLE может включать в себя учебные блоги (в том числе Twitter), в которых учащиеся рассказывают о ходе своего обучения; YouTube и подобные ему сайты; RSS-ленты. Иными словами, PLE – это совокупность ресурсов, нужных учащемуся для того, чтобы найти ответы на его вопросы, создать нужный контекст и проиллюстрировать изучаемые процессы. Примерами персональных сред обучения может служить опыт некоторых университетов. В Англии в Болтонском университете разработано приложение PLEX – платформа, с помощью которой студенты получают доступ к сети учебных ресурсов. В штате Виргиния в Университете Мэри Вашингтон студенты и преподаватели

охотно пользуются блогами, рассказывая о своей работе, обмениваясь идеями и работая над учебными и исследовательскими проектами [7].

Фактически, при создании информационной модели PLE необходимо предоставить учащимся платформу, на которой они могли бы общаться, размещать собственный контент, обсуждать его и делиться впечатлениями об обучении. В качестве такой платформы можно использовать какой-либо общеизвестный сервис, который позволяет пользователям загружать информацию, обмениваться ею и общаться друг с другом. С развитием учебной среды учащиеся сами станут дополнять список этих ресурсов и предлагать новые учебные инструменты. Появятся новые идеи, дискуссии, будет создаваться новый контент и завязываться контакты с коллегами и экспертами. В качестве ориентира для внешней оценки модели и самоопределения достигнутых результатов могут быть использованы количественные индикаторы: общее количество используемых сетевых инструментов, количество используемых образовательных ресурсов, гиперсвязей с другими PLE, число страниц (разделов) персонального сайта или блога и т.д. В качестве первого приближения оценки можно использовать формулу, предложенную А.А. Киселевой [4]:

$$K = N_1\alpha_1\beta_1 + N_2\alpha_2\beta_2 + N_3\alpha_3\beta_3, \quad (1)$$

где: N_i ($i = 1, 2, 3$) – количество используемых сервисов; α_i – весовой коэффициент, учитывающий функциональные возможности сервисов Интернет, имеет возрастающее значение от 1 до 3 от первой группы к третьей; β_i – имеет значение равное 2, если сервис используется как в зоне поставщика, так и в зоне потребления образовательных услуг, в альтернативном случае $\beta_i=1$. Однако формула (1) не учитывает качественного содержания Web-ресурсов. Ведь проблема состоит в том, что ресурсы и источники учебной информации являются несвязанными и структурно независимыми.

Цель настоящей работы заключается в разработке информационной модели индивидуального образовательного пространства студента и выявлении технологических функций, призванных создать и заменить руководящие указания, а также принятую организацию учебы в учебных заведениях (преподавателей, учебные программы), по крайней мере, частично.

Онтологические основы интегрального учебного пространства. В модели индивидуального образовательного пространства основной упор делается на создание знаний через конкретизацию абстрактных

понятий [9]. Содержательная идея модели PLE состоит в том, что учащиеся должны не просто пассивно потреблять информацию, получаемую из ограниченного числа предлагаемых им источников, а пользоваться неограниченным множеством ресурсов, систематизировать и сравнивать полученные знания, и даже, в конечном итоге, самостоятельно создавать новые источники знаний. При таком подходе ответственность за обучение ложится на плечи самих учащихся, и они сами направляют его ход – что, в идеале, делает обучение более значимым, приятным и интересным. На рис. показана структурная схема модели персонального пространства знаний.

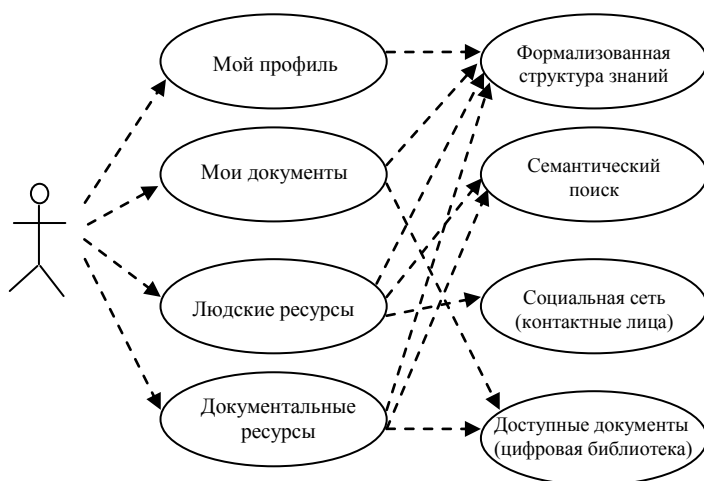


Рис. Модель персонального пространства знаний

В этой модели предусмотрено использование, в первую очередь, документальной информации. Учащийся переходит на онтологию и выбирает необходимые понятия и атрибуты. При этом для поиска используются документальные ресурсы как внутри, так и за пределами PLE. Если никакие документы не найдены в репозитории образовательной среды, поисковая система начинает автоматический поиск в Google по ключевым словам. Ценными информационными ресурсами являются страницы Wikipedia, сети профессиональных контактов LinkedIn, ResearchGate и другие.

В сети Национального юридического университета имени Ярослава Мудрого в настоящее время существует ряд доступных для обучения информационных компонентов: ресурсы электронной библиотеки; ftp-сервер учебных ресурсов, учебные электронные информационные комплексы в среде Moodle; учебная подсистема АСУ университета с множеством учебных ресурсов и другие источники [10]. Понятно, что к взаимодействию между разнородными (гетерогенными) средами и услугами следует привлечь семантические средства на уровне естественного-языкового процессинга.

Недавние исследования показали, что целесообразно использовать онтологии для интеграции социальных ресурсов и индивидуальных образовательных сред [11]. На наш взгляд, жизнеспособными решениями являются Semantic Web и Social Semantic Web [12], где услуги имеют доступ к структурированным коллекциям понятий и отношений между понятиями и наборам правил вывода. Онтология может стать уникальной формализацией модели предметной области.

Практическая реализация онтологии правовых знаний. Сфера права является благоприятным объектом для применения онтологических конструкций к описанию знаний. Этому способствует строгая формализация знаний в праве, определенная структурой нормативной базы в целом и структурой отдельных документов. Онтология правовых знаний реализована в виде программного комплекса JurOnt, который предусматривает работу с двумя сущностями: иерархической структурой онтологии (вмещает понятия и связи между ними) и различными текстами исходных документов.

В программной реализации системы предусмотрен web-интерфейс пользователя и автоматизированный режим работы с базой знаний, в том числе автоматизированное наполнение онтологии из текстовых документов. Пользователи имеют возможность обрабатывать документы, веб-сайты, мультимедийные ресурсы и другие ресурсы, доступные в сети. Этим формируется общая онтология правовых знаний. Для этого привлекаются эксперты и все пользователи системы. Эксплуатация модели показала возможность управления процессом познавательной деятельности студента и ускорения восприятия учебного материала за счет обмена информацией с субъектами (контактными лицами) образовательного пространства.

Направления дальнейших исследований: анализ динамических изменений профиля пользователя в модели индивидуального образовательного пространства при эволюции системы знаний и активности студента; разработка методик развития онтологии

множеством пользователей; сравнение онтологий для оценки полноты или противоречия онтологий разных пользователей за счет разработки метрики близости; исследование влияния принципов самоорганизации на качество создаваемой множеством пользователей онтологии.

Выводы. В результате исследования особенностей построения индивидуальных образовательных сред, совокупности современных информационных ресурсов, которые могут использоваться учащимися, анализа преимуществ и недостатков различных схем представления знаний, предложена информационная модель индивидуальной образовательной среды студента высшего учебного заведения, основанная на онтологической модели знаний для интеграции их из различных источников и формирования правовой информационной системы. С учетом особенностей правовой информации онтологическая модель расширена для описания синонимии концептов и их законодательных описаний. Осуществлена практическая реализация онтологической модели в виде программного комплекса, как основной части модели индивидуального образовательного пространства.

Список литературы: 1. *Prensky M.* Digital Natives, Digital Immigrants / *Marc Prensky* // On the Horizon. – 2001. – № 9 (5). Lincoln: NCB University Press. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives, %20Digital%20Immigrants%20-%20Part1.pdf](http://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-%20Part1.pdf) 2. *Dabbagh N.* Personal learning environments, social media, and self-regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning / *N. Dabbagh, A. Kitsantas* // The Internet and Higher Education. – 2012. – № 15 (1). – P. 3-8. 3. *Gee J.* Semiotic social spaces and affinity spaces: From the age of mythology to today's schools / *James Paul Gee* // In D. Barton & K. Tusting (Eds.). Beyond communities of practice: Language power and social context. Cambridge, MA: Cambridge University Press. – 2005. – P. 214-232. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bendevane.com/RDC2012/wp-content/uploads/2012/08/Gee-Social-Semiotic-Spaces.pdf> 4. *Стародубцев В.* Создание персональной образовательной среды преподавателя вуза: учебное пособие / *В.А. Стародубцев*. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2012. – 124 с. 5. *Graham A.* Персональная среда обучения (PLE) / *Attwell Graham*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.distance-learning.ru/db/el/0E59511535ED7788C32575ED0050E98A/doc.html> 6. *Вайндорф-Сисоева М.* Виртуальная образовательная среда: категории, характеристики, схемы, таблицы, глоссарий: Учебное пособие / *М. Вайндорф-Сисоева*. – М.: МГОУ. – 2010. – 102 с. 7. *Духнич Ю.* Персональная среда обучения – PLE / *Юрий Духнич*. – 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.smart-edu.com/personalnaya-sreda-obucheniya-ple.html> 8. *Chatti M.* SMashup personal learning environments / *M.A. Chatti, M. Jarke, Z. Wang, M. Specht*. // In F. Wild, M. Kalz, M. Palmér, D. Müller. (Eds.), Proceedings of 2nd Workshop Mash-Up Personal Learning Environments (MUPPLE'09) – 2009. Nice, France: CEUR Workshop Proceedings. – P. 6-14. 9. *Wenger E.* Cultivating communities of practice / *E. Wenger, R. McDermott, W.M. Snyder*. Cambridge, MA: Harvard Business Press, 2002. – 296 p. 10. *Карасюк В.* Совершенствование системы дистанционного обучения гуманитарным дисциплинам / *В.В. Карасюк, С.Н. Иванов* // Вісник НТУ "Харківський політехнічний інститут". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 97-103. 11. *Ivanova M.* Defining ontology specification for personal learning environment forming / *M. Ivanova*,

M.A. Chatti // Proceedings of the International Conference on Interactive Computer-aided Learning. Kassel, Germany: Kassel University Press. – 2010. – P. 987-991. **12. Torniai C.** E-learning meets the social semantic web / *C. Torniai, J. Jovanovic, D. Gasevic, S. Bateman, M. Hatala* // Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. – 2008. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society. – P. 389-393.

Bibliography (transliterated): **1. Prensky M.** Digital Natives, Digital Immigrants / *Marc Prensky* // On the Horizon. – 2001. – № 9 (5). Lincoln: NCB University Press. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-%20Part1.pdf> **2. Dabbagh N.** Personal learning environments, social media, and self-regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning. / *N. Dabbagh, A. Kitsantas* // The Internet and Higher Education. – 2012. – № 15 (1). – P. 3-8. **3. Gee J.** Semiotic social spaces and affinity spaces: From the age of mythology to today's schools / *James Paul Gee* // In D. Barton & K. Tusting (Eds.). Beyond communities of practice: Language power and social context. Cambridge, MA: Cambridge University Press. – 2005. – P. 214-232. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.bendevane.com/RDC2012/wp-content/uploads/2012/08/Gee-Social-Semiotic-Spaces.pdf> **4. Starodubcev V.** Sozdanie personal'noj obrazovatel'noj sredy prepodavatel'ja vuza: uchebnoe posobie / *V.A. Starodubcev*. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2012. – 124 s. **5. Graham A.** Personal Learning Environments (PLE) / *Attwell Graham*. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.distance-learning.ru/db/el/0E59511535ED7788C32575ED0050E98A/doc.html> **6. Vajndorf-Sysoeva M.** Virtual'naja obrazovatel'naja sreda: kategorii, harakteristiki, shemy, tablicy, glossarii: Uchebnoe posobie. – M.: MGOU. – 2010. – 102 s. **7. Duhnich Ju.** Personal'naja sreda obuchenija – PLE / *Jurij Duhnich*. – 2011. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.smart-edu.com/personalnaya-sreda-obucheniya-ple.html> **8. Chatti M.** SMashup personal learning environments / *M.A. Chatti, M. Jarke, Z. Wang, M. Specht* // In F. Wild, M. Kalz, M. Palmér, D. Müller. (Eds.), Proceedings of 2nd Workshop Mash-Up Personal Learning Environments (MUPPLE'09) – 2009. – Nice, France: CEUR Workshop Proceedings. – P. 6-14. **9. Wenger E.** Cultivating communities of practice / *E. Wenger, R. McDermott, W. M. Snyder*. Cambridge, MA: Harvard Business Press, 2002. – 296 p. **10. Karasiuk V.** Sovershenstvovanie sistemy distancionnogo obuchenija gumanitarnym disciplinam / *V.V. Karasjuk, S.N. Ivanov* // Visnik NTU "KhPI". Serija: Informatika ta modeljuvannja. – Harkiv: NTU "HPI". – 2013. – № 39 (1012). – S. 97 – 103. **11. Ivanova M.** Defining ontology specification for personal learning environment forming. / *M. Ivanova, M. A. Chatti* // Proceedings of the International Conference on Interactive Computer-aided Learning. Kassel, Germany: Kassel University Press. – 2010. – P. 987-991. **12. Torniai C.** E-learning meets the social semantic web / *C. Torniai, J. Jovanovic, D. Gasevic, S. Bateman, M. Hatala* // Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. – 2008. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society. – P. 389-393.

Поступила (received) 14.03.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф., заслуженный изобретатель Украины, зав. кафедрой "Системы информации" НТУ "ХПИ" Серков А.А.

Karasiuk Volodymyr, Ph.D, Associate Professor
Yaroslav the Wise National Law University
Pushkinskaya str., 77, Kharkiv, Ukraine, 61024
tel./phone: (057) 704-92-02, e-mail: vl_karasuk@ukr.net
ORCID ID: 0000-0001-9092-2137

Ivanov Stanislav, Ph.D, Associate Professor
Yaroslav the Wise National Law University
Pushkinskaya str., 77, Kharkiv, Ukraine, 61024
tel./phone: (057) 704-92-73, e-mail: s.ivanov@nulau.org.ua

УДК 658.012

Т.И. КАТКОВА, канд. пед. наук, доц., Бердянский университет менеджмента и бизнеса, Бердянск

МНОГОСТАДИЙНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО СТРАТЕГИЧЕСКИМ НАПРАВЛЕНИЯМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрена задача многостадийного распределения ресурсов предприятия по выбранным направлениям деятельности. Решение задачи достигается с использованием метода динамического программирования, сводящего исходную многошаговую задачу к совокупности одношаговых оптимизационных задач. При этом обеспечивается получение точного решения исходной задачи. Библиогр.: 17 назв.

Ключевые слова: распределение ресурсов предприятия, динамическое программирование, оптимизационная задача.

Постановка проблемы и анализ литературы. Задача рационального распределения активов предприятия по выбранным направлениям деятельности отличается от традиционных задач распределения ресурса в связи с следующим важным обстоятельством. В реальных условиях деятельности предприятия инвестирование средств в какое-либо направление, как правило, приносит доход, распределенный по времени, то есть какая-то часть этих средств дает результат уже на очередной стадии производства, а остальная – на следующих стадиях. Тогда общая прибыль, получаемая от инвестирования на определенной стадии, не аддитивно зависит от прибылей, получаемых на каждой из последующих стадий. Целевая функция возникающей при этом оптимизационной задачи не является сепарабельной. Таким образом задача распределения ресурса уже не может быть формализована в виде совокупности независимых оптимизационных задач для каждой из стадий в отдельности.

В современной экономической литературе вопросы распределения ресурсов предприятия многократно, полно и подробно обсуждались [1 – 5]. Соответствующая библиография содержит сотни наименований. В работе [6] проанализированы системы категорий и понятий, связанных с пониманием экономической природы ресурсов предприятия. В работах [7 – 12] большое внимание уделяется оптимизационным методам решения таких задач, сопровождающих реализацию планов деятельности предприятий.

Рассмотрим динамику прибыли, получаемой предприятием, для простейшего частного случая, когда определенная доля δ вкладываемых

в развитие средств дает прибыль уже на очередной стадии, а остальные – на следующей за ней.

Пусть $K_j(1)$ – объем инвестиций, вкладываемых в j -е направление деятельности на первом шаге.

Введем теперь:

$R_j^{(1)}[\delta K_j(1)]$ – прибыль, получаемая при вложении $K_j(1)$ на очередной (второй) стадии, $R_j^{(2)}[(1-\delta)K_j(1)]$ – прибыль на третьей стадии.

Пусть, кроме того, доля прибыли, получаемой на каждой стадии, определяемая функций $\pi(t)$, направляется на удовлетворение внутренних потребностей предприятия, а остальная часть – используется на развитие производства. Тогда

$(1-\pi(2))R_j^{(1)}[\delta K_j(1)]$ – объем инвестиций на втором шаге;

$R_j^{(1)}[\delta[(1-\pi(2))R_j^{(1)}[\delta K_j(1)]]]$ – прибыль, получаемая на третьем шаге от вложения на втором шаге;

$R_j^{(2)}[(1-\delta)[(1-\pi(2))R_j^{(1)}[\delta K_j(1)]]]$ – прибыль, получаемая на четвертом шаге от вложения на втором шаге;

$(1-\pi(3))\{R_j^{(1)}[\delta[(1-\pi(2))R_j^{(1)}[\delta K_j(1)]]] + R_j^{(2)}[(1-\delta)K_j(1)]\}$ – распределяемый на третьем шаге объем инвестиций:

$R_j^{(1)}[\delta\{(1-\pi(3))\{R_j^{(1)}[\delta[(1-\pi(2))R_j^{(1)}[\delta K_j(1)]]] + R_j^{(2)}[(1-\delta)K_j(1)]\}\}]$ – прибыль, получаемая на четвертом шаге от вложения на третьем шаге.

Очевидно, что уровень сложности аналитических соотношений, получаемых с использованием описанной технологии, с увеличением номера стадии быстро растет, что практически исключает возможность непосредственного использования одношаговых оптимизационных методов. Задача усложняется еще более, если результаты распределения на очередной стадии оказывают влияние не только на две последующие, но и на все последующие стадии процесса.

Возникающая при этом задача относится к классу так называемых задач управления "на ветвящихся процессах" [13], принципиальная особенность которых состоит в расширении пространства состояний на каждом последующем шаге. При этом, если число шагов управления является большим или не ограничено сверху, проблема может стать неразрешимой [14].

Понятно, что метод решения задачи рационального распределения

активов предприятия может быть реализован только в одностадийном варианте поступления доходов. Таким образом, рассмотренный в описанных выше работах, метод решения задачи не учитывает многостадийный вариант поступления доходов.

Корректный подход к решению оптимизационных задач, в которых необходимо рассматривать процесс производства и управления в пространстве и во времени, то есть в развитии, состоит в использовании метода динамического программирования. При этом процедура вычислений реализуется по своеобразной схеме: весь процесс поиска оптимального решения представляется в виде определенной последовательности шагов, для каждого из которых находится оптимальное решение. Применению методов динамического программирования при решении практических задач посвящены работы [15 – 16]. В основу использования динамического программирования положен принцип оптимальности, сформулированный Р. Беллманом [17]. Процесс поиска решения на базе этого метода является многошаговым, когда исходная задача с большим числом переменных заменяется совокупностью задач с небольшим числом переменных, что ощутимо снижает общий объем вычислений.

Следует отметить, что содержательный материал в известных работах изложен понятным и доступным языком, но предложенные в них методы либо не дают точного решения исходной задачи, либо не применимы к сложным многокритериальным задачам, либо слишком сложны и громоздки и зависят от того, насколько длительным окажется влияние очередного распределения на последующие.

Цель статьи – разработка метода многостадийного распределения активов предприятия по стратегическим направлениям деятельности.

Поставим задачу адаптации технологии динамического программирования для решения многостадийного распределения активов предприятия по выбранным стратегическим направлениям деятельности. Сведем ее решение к решению совокупности одношаговых оптимизационных задач, обеспечивая при этом получение точного решения исходной задачи. При этом важно, чтобы характер вычислительной процедуры, реализующей метод, не зависел от того, насколько длительным окажется влияние очередного распределения на последующие.

При решении задачи используем следующую терминологию. Будем называть состоянием системы $\hat{S}_i$ в момент времени T_i суммарную

прибыль $K^\Sigma(T_i) = \sum_{j=1}^n K_j^\Sigma(T_i)$, получаемую за период $[0, T_i]$, $i=1, 2, \dots$

Вектор $(K_1(T_i), K_2(T_i), \dots, K_n(T_i))$, задающий распределение активов в момент времени T_i будем называть управлением в момент T_i и обозначать U_i . Введем теперь функцию переходов

$$\hat{S}_{i+1,j} = g(\hat{S}_{ij}, K_j(T_i)), \quad i=1, 2, \dots, j=1, 2, \dots, n.$$

Примем, что функция переходов имеет вид

$$\hat{S}_{i+1,j} = a_{0j}(T_i)(K_j^\Sigma(T_i) - 1)K_j(T_i)^{a_{1j}(T_i)}.$$

С использованием введенных ранее обозначений это соотношение имеет вид:

$$K^\Sigma(T_{i+1}) = \sum_{j=1}^n K_j^\Sigma(T_{i+1}) = (1 - \pi(T_i)) \sum_{j=1}^n a_{0j}(T_i)(K_j^\Sigma(T_i) + K_j(T_i))^{a_{1j}(T_i)}.$$

Теперь, если задано начальное состояние системы $(K_1(0), K_2(0), \dots, K_n(0))$, то выбранной последовательности управлений $U_1, U_2, \dots, U_N$ можно поставить в соответствие последовательность состояний $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_{N+1}$. Задача состоит в выборе управлений $U_1, U_2, \dots, U_N$, максимизирующих критерий

$$\begin{aligned} F_N(\{K_j(1)\}, \{K_j(2)\}, \dots, \{K_j(N)\}) &= \sum_{i=1}^N (1 - \pi(T_i)) \sum_{j=1}^n R_j(T_i) = \\ &= \sum_{i=1}^N (1 - \pi(T_i)) \sum_{j=1}^n a_{0j}(T_i)(K_j^\Sigma(T_i) - 1)K_j(T_i)^{a_{1j}(T_i)}. \end{aligned} \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n K_j(T_i) = (1 - \pi(T_i)) \sum_{j=1}^n K_j^\Sigma(T_i - 1). \quad (2)$$

Основные результаты. Понятно, что критерий (1) может быть записан следующим образом:

$$F_N(\{K_j(1)\}, \{K_j(2)\}, \dots, \{K_j(N)\}) = \sum_{i=1}^N f_i(\hat{S}_i, U_i), \quad i=1, 2, \dots, N,$$

где
$$f_i(\hat{S}_i, U_i) = (1 - \pi(T_i)) \sum_{j=1}^n a_{0j}(T_i) (K_j^\Sigma(T_{i-1}) + K_j(T_i))^{a_{1j}(T_i)}. \quad (3)$$

Введем теперь функцию $F_k^*(\hat{S}_{N-k+1})$, равную численному значению критерия (3) при оптимальном k -шаговом управлении из состояния $\hat{S}_{N-k+1}$. Численное значение $F_k^*(\hat{S}_{N-k+1})$ будем определять следующим образом. Предположим, что в момент T_N система находится в состоянии $\hat{S}_N$ и необходимо выбрать одношаговое оптимальное управление U_N , максимизирующее (3). При этом

$$F_1^*(\hat{S}_N) = \max_{U_N} f_N(S_N, U_N).$$

Пусть теперь система находится в состоянии $\hat{S}_{N-1}$ и надлежит выбрать оптимальное двухшаговое управление (U_{N-1}, U_N) таким образом, чтобы максимизировать (3). Тогда в соответствии с принципом оптимальности Беллмана

$$\begin{aligned} F_2^*(\hat{S}_{N-1}) &= \max_{U_{N-2}, U_N} \sum_{i=N-1}^N f_i(\hat{S}_i, U_i) = \\ &= \max_{U_{N-1}} \{f_{N-1}(\hat{S}_{N-1}, U_{N-1}) + F_1^*[g(\hat{S}_{N-1}, U_{N-1})]\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Рассуждая аналогично, имеем

$$\begin{aligned} F_k^*(\hat{S}_{N-k+1}) &= \max_{U_{N-k+1}} \{f_{N-k+1}(\hat{S}_{N-k+1}, U_{N-k+1}) + \\ &+ F_{k-1}^*[g(\hat{S}_{N-k+1}, U_{N-k+1})]\}, \\ &2 \leq k \leq N, \end{aligned} \quad (5)$$

откуда, в частности,

$$F_N^*(\hat{S}_1) = \max_{U_1} \{f(\hat{S}_1, U_1) + F_{N-1}^*[g(\hat{S}_1, U_1)]\}. \quad (6)$$

Вычислительная процедура решения задачи теперь ясна. Отыскание оптимального управления начнем с последнего шага. При этом для каждого из возможных состояний системы $\hat{S}_N \in S$, используя (4), необходимо отыскать и запомнить оптимальное управление $U_N^* \in \hat{S}_N$. Таким образом, будет известно оптимальное одношаговое управление для любого из возможных состояний системы. Теперь, используя (5) при $k = 2$ для каждого из возможных состояний системы, найдем оптимальное двухшаговое поведение (U_{N-1}^*, U_N^*) . Обратим внимание на то, что при этом фактически приходится решать одношаговую оптимизационную задачу отыскания U_{N-1}^* , так как после отыскания U_{N-1}^* с использованием соотношения $\hat{S}_{i+1} = g(\hat{S}_i, U_i)$ вычисляется состояние S_N , причем для каждого из $\hat{S}_N$ оптимальное управление уже было найдено ранее. Аналогично отыскивается оптимальное поведение для $k = 3, 4, \dots, N-1$.

Поскольку начальное состояние системы $\hat{S}_1$ фиксировано при отыскании оптимального управления на первом шаге U_1^* нет необходимости решать оптимизационную задачу для всех $\hat{S}_N \in S$. Нужно сделать это только для исходного состояния $\hat{S}_1$.

Выводы. Таким образом, задача многостадийного распределения активов предприятия по выбранным стратегическим направлениям деятельности с использованием технологии динамического программирования сведена к решению совокупности одношаговых оптимизационных задач, обеспечивая при этом получение точного решения исходной задачи. При этом важно, что характер вычислительной процедуры, реализующей метод, не зависит от того, насколько длительным оказывается влияние очередного распределения на последующие.

Список литературы: 1. Алферов В.И. Модели и методы распределения ресурсов при управлении проектами дорожного строительства: дис. ... доктора технических наук: 05.13.10 / Виктор Иванович Алферов. – Воронеж, 2011. – 287 с. 2. Баркалов П.С. Модели и методы распределения ресурсов при управлении проектами с учетом времени их перемещения: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.10 / Павел Сергеевич Баркалов. – Москва, 2004. – 136 с. 3. Серая О.В. Задача распределения ресурса при нечетко заданных исходных данных / О.В. Серая, Т.И. Каткова // Систем. дослідж. та інформ. технології. – 2013. – № 2. – С. 44-53. 4. Потапенко А.М. Эвристические методы распределения ресурсов при управлении проектами: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.10 / Анатолий

Михайлович Потапенко. – Воронеж, 2004. – 156 с. **5. Филиппов А. В.** Поддержка принятия решений при управлении распределением ресурсов в двухуровневых производственных системах: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.10 / Арсений Викторович Филиппов. – Уфа, 2004. – 152 с. **6. Гросул В. А.** Ресурси підприємства: теоретичне осмислення сутності / В.А. Гросул // Бізнес Інформ. – 2013. – № 7. – С. 236-242. **7. Белай С. В.** Оптимізація розподілу ресурсів за видами забезпечення в умовах обмеженого фінансування частин та підрозділів сил охорони правопорядку / С.В. Белай // Системи озброєння і військ. техніка. – 2009. – Вип. 1. – С. 80-84. **8. Лабскер Л. Г.** Теория критериев оптимальности и экономические решения / Л.Г. Лабскер. – М.: КноРус, 2010. – 744 с. **9. Токарев В. В.** Методы оптимальных решений. Многокритериальность. Динамика. Неопределенность / В.В. Токарев, А.В. Соколов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 416 с. **10. Христофор О. В.** Оптимізація розподілу ресурсів у логістичних каналах збуту / О.В. Христофор // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2004. – № 1. – С. 28-35. **11. Alba Enrique.** Optimization techniques for solving complex problems / Enrique Alba, Christian Blum, Pedro Asasi, Coromoto Leon, Juan Antonio Gomez. – New York: John Wiley and Sons, 2009. – 476 p. **12. Onwubolu Godfrey C.** Emerging optimization techniques in production planning and control / Godfrey C. Onwubolu. – London: Imperial College Press, 2002. – 632 p. **13. Ватутин В. А.** Ветвящиеся процессы // В.А. Ватутин, А.И. Зубков. – Теория вероятностей. – 1985. – Т. 3. – С. 3-67. **14. Раскин Л. Г.** Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления / Л.Г. Раскин. – М.: Сов.радио, 1976. – 344 с. **15. Лисак Ю. В.** Визначення функції відмінності дворівневим методом динамічного програмування з використанням фільтра Габора / Ю.В. Лисак, Б.П. Русин // Відбір і оброб. інформації. – 2008. – Вип. 29. – С. 96-100. **16. Плещинский А. С.** Согласованная оптимизация логистической и производственно-финансовой деятельности многостадийных предприятий (динамические модели) / А.С. Плещинский, Э.М. Пачковский, И.М. Михайлина. – М.: ЦЭМИ РАН, 2008. – 116 с. **17. Беллман Р.** Динамическое программирование / Р. Беллман. – М.: ИИЛ, 1960. – 400 с.

Bibliography (transliterated): **1. Alferov V.I.** Modeli i metody raspredelenija resursov pri upravlenii proektami dorozhnogo stroitel'stva: dis. ... doktora tehniceskikh nauk: 05.13.10 / Viktor Ivanovich Alferov. – Voronezh, 2011. – 287 s. **2. Barkalov P.S.** Modeli i metody raspredelenija resursov pri upravlenii proektami s uchetom vremeni ih peremeshhenija: dis. ... kandidata tehniceskikh nauk: 05.13.10 / Pavel Sergeevich Barkalov. – Moskva, 2004. – 136 s. **3. Seraja O.V.** Zadacha raspredelenija resursa pri nechetko zadannyh ishodnyh dannyh / O.V. Seraja, T.I. Katkova // Sistem. doslidszh. ta inform. tehnologij. – 2013. – № 2. – S. 44-53. **4. Potapenko A.M.** Jevristicheskie metody raspredelenija resursov pri upravlenii proektami: dis. ... kandidata tehniceskikh nauk: 05.13.10 / Anatolij Mihajlovich Potapenko. – Voronezh, 2004. – 156 s. **5. Filippov A.V.** Podderzhka prinjatija reshenij pri upravlenii raspredeleniem resursov v dvuhurovnevnyh proizvodstvennyh sistemah: dis. ... kandidata tehniceskikh nauk: 05.13.10 / Arsenij Viktorovich Filippov. – Ufa, 2004. – 152 s. **6. Grosul V.A.** Resursi pidpriemstva: teoretichne osmislennja sutnosti / V.A. Grosul // Biznes Inform. – 2013. – № 7. – S. 236-242. **7. Belaj S.V.** Optimizacija rozpodilu resursiv za vidami zabezpechennja v umovah obmezhenogo finansuvannja chastin ta pidrozdiliv sil ohoroni pravoporjadku / S.V. Belaj // Sistemi ozbroennja i vijs'k. tehnika. – 2009. – Vip. 1.— S. 80-84. **8. Labsker L.G.** Teorija kriteriev optimal'nosti i jekonomiczeskie reshenija / L.G. Labsker. – M.: KnoРус, 2010. – 744 s. **9. Tokarev V.V.** Metody optimal'nyh reshenij. Mnogokriterial'nost'. Neopredelennost' / V.V. Tokarev, A.V. Sokolov. – M.: FIZMATLIT, 2010. – 416 s. **10. Hristofor O.V.** Optimizacija rozpodilu resursiv u logistichnih kanalah zbutu / O.V. Hristofor // Visn. Vinnic. politehn. in-tu. – 2004. – № 1. – S. 28-35. **11. Alba Enrique.** Optimization techniques for solving complex problems / Enrique Alba, Christian Blum, Pedro Asasi, Coromoto Leon, Juan Antonio Gomez. – New York: John Wiley and Sons, 2009. – 476 p. **12. Onwubolu Godfrey S.** Emerging optimization techniques in production planning and control / Godfrey C. Onwubolu. – London: Imperial College Press,

2002. – 632 p. **13.** *Vatutin V.A. Vetyaschiesya protsessyi // V.A. Vatutin, A.I. Zubkov. – Teoriya veroyatnostey. – 1985. – T. 3. – S. 3-67.* **14.** *Raskin L.G. Analiz slozhnyih sistem i elementy teorii optimal'nogo upravleniya / L.G. Raskin. – M.: Sov.radio, 1976. – 344 s.* **15.** *Lisak Ju.V. Vyznachennja funkciï vidminnosti dvorivnevim metodom dinamichnogo programuvannja z vikoristannjam fil'tra Gabora / Ju.V. Lisak, B.P. Rusin // Vidbir i obrob. informacii. – 2008. – Vip. 29. – S. 96-100.* **16.** *Pleshhinskij A.S. Soglasovannaja optimizacija logisticheskoy i proizvodstvenno-finansovoj dejatel'nosti mnogostadijnyh predprijatij (dinamicheskie modeli) / A.S. Pleshhinskij, Je.M. Pachkovskij, I.M. Mihajlina. – M.: CJeMI RAN, 2008. – 116 s.* **17.** *Bellman R. Dinamicheskoe programmirovanie / R. Bellman. – M.: IIL, 1960. – 400 s.*

Поступила (received) 07.04.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Раскин Л.Г.

Tatiana Katkova, PhD. ped. sciences, docent
Berdyansk University of Management and Business
Svobody, 117, Berdyansk, Ukraine, 71100
tel.: (068) 449-41-81; (099) 467-70-20, e-mail: 777-kit@ukr.net; 777-kit@list.ru
ORCID: 0000-0002-1051-4262

УДК 621.38:537.533.3:532.783

В.І. КОЦУН, канд. техн. наук, зав. каф., Приватний вищий навчальний заклад "Європейський університет", Львів

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ГРАДІЄНТНОГО СВІТЛОВОДУ В ШАРІ НЕМАТИЧНОГО РІДКОГО КРИСТАЛА

Досліджено ступінь впорядкованості та профіль директора модельного рідкого кристалу, який утримується в порі з гомеотропними граничними умовами в різних мезогенних фазах. За допомогою методу молекулярної динаміки виконано комп'ютерне моделювання процесу формування градієнтного світловода під дією електричного поля. Лл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: градієнтні світловоди, рідкі кристали, молекулярна динаміка.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Планарні світловоди використовуються в оптичних колах обробки та передачі інформації як пасивні, активні та з'єднувальні елементи ланцюгів таких кіл. В сучасних умовах для їх виготовлення найчастіше використовують тверді речовини. У твердотільних планарних світловодних системах існує проблема створення активних та пасивних елементів на основі одного матеріалу. При застосуванні середовищ із різними оптичними властивостями спостерігаються значні втрати оптичного випромінювання на межах розділу різних матеріалів. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є застосування рідкокристалічних (РК) матеріалів як активного середовища планарних світловодів, які характеризуються високою анізотропією показника заломлення, високою чутливістю до зовнішніх електричного та магнітного полів та широким діапазоном робочих температур. Однак для їх застосування необхідно дослідити процеси поширення оптичного випромінювання (в тому числі лазерного видимого діапазону) у світловодах з рідкокристалічною серцевиною, зокрема явища розсіювання світла та ефекти, що виникають під час проходження світла в неоднорідно орієнтованих шарах рідких кристалів. Тому моделювання процесу формування градієнтного світловода та відповідно розподілу напрямку директора в шарі нематичного рідкого кристалу (НРК) з початковою гомеотропною орієнтацією в зовнішньому електричному полі, дасть можливість досконало вивчити градієнтні світловоди з рідкокристалічною серцевиною.

Для моделювання РК систем можна скористатись тими ж методами, які використовуються для дослідження властивостей рідин виконавши деякі узагальнення на випадок анізотропії взаємодії між мезогенами [1 –

3]. В основі будь-якої комп'ютерної симуляції лежить потенціал взаємодії, який описує (із певним рівнем деталізації) мікроскопічну енергетику, характерну для системи. Так, спочатку задається відповідний термодинамічний ансамбль: певна кількість молекул поміщається в комірку і на неї накладаються умови, наприклад, постійної кількості частинок N , об'єму V (або тиску P) і температури T [2]. Досліджуючи об'ємні властивості, застосовують періодичні граничні умови, під час дослідження поверхневих явищ у напрямку однієї з просторових осей створюється атомарна або континуальна стінка. Для опису ізотропної та нематичної фаз достатнім є використання комірки постійної форми (як в NVT , так і в NPT ансамблях). Сметичні ж фази характеризуються значною анізотропією, і їхня самоорганізація може ускладнитись несумірністю метрики фази із формою комірки. Індикатором цього є значна анізотропія тензора тиску у разі розміщення такої системи в комірці із постійною формою [4]. В таких випадках ефективним є використання ансамблів із змінною формою комірки, наприклад, у найзагальнішій формі Парріселло-Рамана [5], або у простішій формі $NP_{xx}P_{yy}P_{zz}T$, в останньому випадку забезпечується постійність кожної з діагональних компонент тиску. Їх обчислюють за методикою, згідно з якою спочатку обчислюється тензор впорядкування, а потім він діагоналізується [6, 7]. Альтернативний метод базується на обчисленні далекосяжних орієнтаційних кореляцій [8]. Для аналізу структури фази, якій властиве трансляційне впорядкування, ведеться обчислення парних кореляційних функцій.

Мета роботи – визначення ступеня впорядкованості та напрямку директора НРК.

Моделювання. Комп'ютерне моделювання молекулярних моделей в цій роботі виконане за допомогою програми GBMOLDD – паралельна програма молекулярної динаміки із алгоритмом просторового розбиття [9].

В основі комп'ютерного моделювання лежить потенціал взаємодії, який описує мікроскопічну енергетику, характерну для системи. Для моделювання РК систем використовують класичні двочастинкові потенціали, які враховують квантово-механічні ефекти лише в ефективний спосіб. В цій роботі нами використано потенціал Гей-Берне:

$$U_{ij}^{(GB)}(\hat{u}_i, \hat{u}_j, \hat{r}_{ij}) = \sigma_{ij}^{(GB)}(\hat{u}_i, \hat{u}_j, \hat{r}_{ij}) \times \left[(\rho_{ij}^{(GB)}(\hat{u}_i, \hat{u}_j, \hat{r}_{ij}))^{12} - (\rho_{ij}^{(GB)}(\hat{u}_i, \hat{u}_j, \hat{r}_{ij}))^6 \right], \quad (1)$$

де u_i , u_j – орієнтації довгих осей відповідно i -ї та j -ї молекул, r_{ij} – одиничний радіус-вектор між їх центрами,

$$\rho_{ij}^{(GB)} = \frac{\sigma_0^{(GB)}}{r_{ij} - \sigma^{(GB)}(\hat{u}_i, \hat{u}_j, \hat{r}_{ij}) + \sigma_0^{(GB)}} \quad (2)$$

зсунута контактна відстань між молекулами, а

$$\sigma_{ij}^{(GB)}(\hat{u}_i, \hat{u}_j, \hat{r}_{ij}), \quad \sigma^{(GB)}(\hat{u}_i, \hat{u}_j, \hat{r}_{ij}) \quad (3)$$

відповідно енергетичний параметр та ефективна сепарація між i -ю та j -ю молекулами, залежні від їх взаємного розташування та орієнтацій [Gay-Berne].

Програмний засіб GBMOLDD дає змогу отримувати розподіл напрямку директора в будь-якій області комірки та відповідну величину параметра впорядкування, який безпосередньо пов'язаний із значенням показника заломлення [5, 7].

Базовими вхідними даними для програми є: n_x , n_y , n_z – кількість молекул, відповідно, по осі x , y та z ; f_{surf} – величина сили зчеплення приповерхневих шарів; T – температура моделювання; f_{el} – величина поля, яка діє на молекули РК.

Результати програми записуються у файли двох типів: *.coord та instant.lst. Файли типу *.coord дають змогу візуально відобразити переорієнтацію молекул у шарі РК, а відповідно і напрям директора молекул instant.lst дає змогу отримати числові значення параметра порядку, які в подальшому обробляються для отримання зміни показника заломлення в шарі РК під дією електричного поля.

Першим завданням моделювання було визначення модельного значення температури, при якій утворювалась нематична фаза рідкого кристала.

Початкове розташування молекул, з якої починається моделювання, наведена на рис. 1, а. На рис. 1, б представлено розташування молекул в ідеальній смектичній А-фазі ($T = 400$ К) де спостерігаємо пошарове розташування молекул, як у примезових областях так і в середній області. Параметр порядку, отриманий після аналізу файлу instant.lst, для такої структури $S = 0,82$.

З подальшим збільшенням температури до $T = 500$ К (рис. 1, в, г) молекули, які розташовані близько до обмежуючих поверхонь, зберігають гомеотропний стан, а з віддаленням від поверхні починається розупорядкування молекул, зумовлюючи перехід у нематичну фазу про що свідчить зменшення величини параметру порядку до $S = 0,6$.

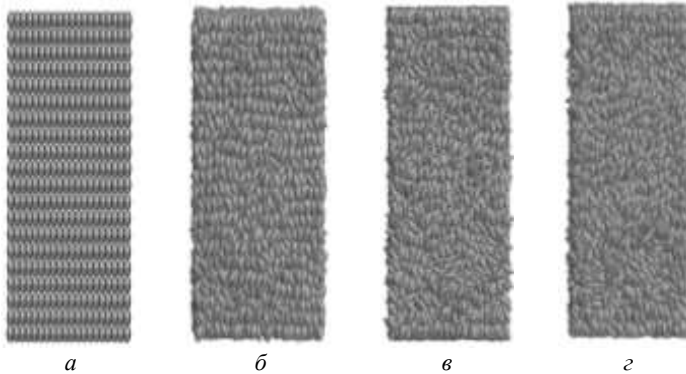


Рис. 1. Змодельовані текстури: *a* – початкове розташування молекул; *б* – смектична фаза, $T = 400$ К; *в* – початкова фаза нематика, $T = 450$ К; *г* – нематична фаза, $T = 500$ К

Подальше збільшення модельного значення температури приводить до повного розупорядкування в розташуванні молекул тобто переходу нематичної фази в ізотропну рідину. Параметр порядку при цьому дорівнює $S = 0,2$. Тому для подальшого моделювання було обрано модельну температуру $T = 500$ К, при якій існує нематична фаза.

Розглянемо поведінку молекул НРК з початковою гомеотропною орієнтацією під дією модельного електричного поля величиною $f_{el} = 0,6$. На рис. 2 показано процес зміни орієнтації молекул за певний проміжок часу після прикладання модельного електричного поля. Як видно з рисунків, процес переорієнтації молекул починається зі збурення початкової гомеотропної текстури (рис. 2, *a*). В подальшому спостерігається переорієнтація центральної частини шару РК рис. 2, *б*. В результаті, через певний проміжок часу відбувається переорієнтація більшості молекул РК в напрямку дії поля, внаслідок чого утворюється планарно орієнтований шар, однак у приповерхневих ділянках зберігаються гомеотропно орієнтовані шари. Таке розташування молекул у шарі нематичного рідкого кристала є аналогом градієнтного світловоду (рис. 2, *в*), адже враховуючи, що $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$, величина Δn змінюється від мінімального значення (приповерхневі області) до максимального (центральної області).

Отримані результати моделювання добре узгоджуються з експериментальними даними описаними в роботі [10].

Проаналізувавши дані з файлу `instant.lst` отримуємо числові значення параметра порядку, які в подальшому обробляються для

отримання розподілу директора та зміни показника заломлення в шарі НРК під дією електричного поля. Типовий розподіл напрямку директора зображено на рис. 3. В даній моделі напрямок директора може приймати значення від 1 (гомеотропна орієнтація) до $-0,5$ (планарна орієнтація).

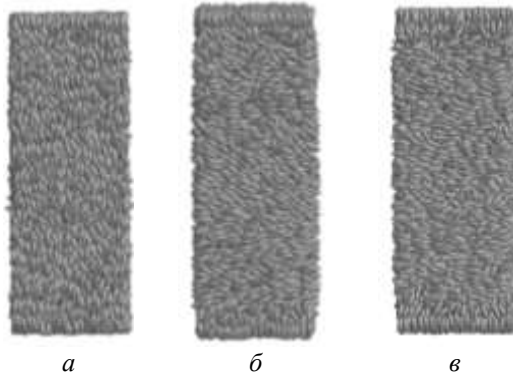


Рис. 2. Змодельовані текстури НРК: *а* – час дії електричного поля $t = 20$ пс, $T = 500$ К; *б* – час дії електричного поля $t = 180$ пс, $T = 500$ К; *в* – час дії електричного поля $t = 300$ пс, $T = 500$ К

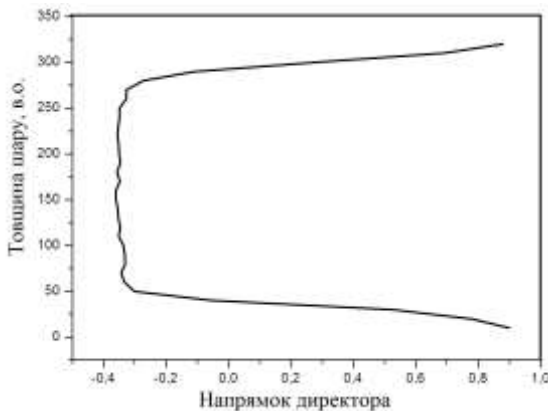


Рис. 3. Розподіл директора в шарі нематичного рідкого кристала, отриманий за результатами комп'ютерного моделювання при $T = 500$ К, стаціонарний стан при прикладенні зовнішнього електричного потенціалу

Висновки. Проведене комп'ютерне моделювання дало змогу візуально показати процес утворення планарно орієнтованого шару в

НРК та отримати розподіл напрямку директора при дії електричного потенціалу. Таке розташування молекул приводить до утворення градієнтного світловода у шарі нематичного рідкого кристала.

Список літератури: 1. *Frenkel D.* Understanding molecular simulation, from algorithms to applications / *D. Frenkel, B. Smit* – New York: Academic, 2002. – P. 664. 2. *Tildesley A.D.* Computer simulation of liquids / *A.D. Tildesley*. – M-Oxford: Oxford University Press, 1986. – P. 301. 3. *Rapaport D.* The art of molecular dynamics simulation / *D. Rapaport*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – P. 414. 4. *Dominguez H.* Stress anisotropy in liquid crystals / *H. Dominguez, E. Velasco, J. Alejandro* // *Mol. Phys.* – 2002. – Vol. 100. – №. 16. – P. 2739-2744. 5. *Parrinello M.* Crystal structure and pair potentials: A molecular-dynamics study / *M. Parrinello, A. Rahman* // *Phys. Rev. Let.* – 1980. – Vol. 45. – №. 14. – P. 1196. 6. *Eppenga R.* Monte Carlo study of the isotropic and nematic phases of innitely thin hard platelets / *R. Eppenga, D. Frenkel* // *Mol. Phys.* – 1984. – Vol. 58. – №. 6. – P. 1303-1334. 7. *Vieillard-Baron J.* The equation of state of a system of hard sphero cylinders / *J. Vieillard-Baron* // *Mol. Phys.* – 1974. – Vol. 28. – №. 3. – P. 809-818. 8. *Zannoni C.* Computer simulations / *C. Zannoni* // *Molecular Physics of Liquid Crystals*. – 1979. – P. 191-220. 9. *Ilnytskyi J.* Molecular dynamics simulations of various branched polymeric liquid crystals / *J. Ilnytskyi, D. Neher, M. Saphiannikova, M. Wilson, L. Stimson* // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2008. – Vol. 496. – P. 186–201. 10. *Hotra Z.* New method of the threshold voltages determination of a cholesteric-nematic transition / *Z. Hotra, Z. Mykytyuk, O. Hotra, et al.*, // *Molecular crystal and liquid crystal*. – 2011. – Vol. 535. – P. 225-232.

Bibliography (transliterated): 1. *Frenkel D.* Understanding molecular simulation, from algorithms to applications / *D. Frenkel, B. Smit* – New York: Academic, 2002. – P. 664. 2. *Tildesley A.D.* Computer simulation of liquids / *A.D. Tildesley*. – M-Oxford: Oxford University Press, 1986. – P. 301. 3. *Rapaport D.* The art of molecular dynamics simulation / *D. Rapaport*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – P. 414. 4. *Dominguez H.* Stress anisotropy in liquid crystals / *H. Dominguez, E. Velasco, J. Alejandro* // *Mol. Phys.* – 2002. – Vol. 100. – №. 16. – P. 2739-2744. 5. *Parrinello M.* Crystal structure and pair potentials: A molecular-dynamics study / *M. Parrinello, A. Rahman* // *Phys. Rev. Let.* – 1980. – Vol. 45. – №. 14. – P. 1196. 6. *Eppenga R.* Monte Carlo study of the isotropic and nematic phases of innitely thin hard platelets / *R. Eppenga, D. Frenkel* // *Mol. Phys.* – 1984. – Vol. 58. – №. 6. – P. 1303-1334. 7. *Vieillard-Baron J.* The equation of state of a system of hard sphero cylinders / *J. Vieillard-Baron* // *Mol. Phys.* – 1974. – Vol. 28. – №. 3. – P. 809-818. 8. *Zannoni C.* Computer simulations / *C. Zannoni* // *Molecular Physics of Liquid Crystals*. – 1979. – P. 191-220. 9. *Ilnytskyi J.* Molecular dynamics simulations of various branched polymeric liquid crystals / *J. Ilnytskyi, D. Neher, M. Saphiannikova, M. Wilson, L. Stimson* // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2008. – Vol. 496. – P. 186–201. 10. *Hotra Z.* New method of the threshold voltages determination of a cholesteric-nematic transition / *Z. Hotra, Z. Mykytyuk, O. Hotra, et al.*, // *Molecular crystal and liquid crystal*. – 2011. – Vol. 535. – P. 225-232.

Надійшла (received) 28.03.2014

Статтю представив д-р техн. наук НУ "ЛП" Фечан А.В.

Kotsun Vladimir, PhD. Ph.D, Associate Professor
Private Higher Educational Institution "European University"
e-mail: v_kotsun@ukr.net

УДК 004.942:539.3

В.И. ЛОМАЗОВА, канд. техн. наук, ст. преп., НИУ "БелГУ",
Белгород, Россия

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ МОДЕЛИ АНИЗОТРОПИИ ТЕРМОУПРУГОЙ СРЕДЫ

Рассматривается проблема поддержки принятия решений при выборе (построении) модели анизотропии на примере задачи исследования связанных термоупругих процессов в неоднородных анизотропных средах. Предлагается подход, основанный на выделении подзадач структурного и параметрического синтеза, первая из которых решается эволюционными методами, а вторая – методами решения обратных задач математической физики. Ил.: 1. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, модель, анизотропия, термоупругая среда.

Постановка проблемы. Математическое и компьютерное моделирование являются одними из наиболее эффективных инструментов исследования физических (в том числе и термомеханических) процессов, протекающих в сложных (неоднородных, анизотропных, композитных) средах, что актуально для решения практических задач, возникающих при разработке изделий различных отраслей машиностроения. При этом научную и практическую значимость имеет не только совершенствование математического аппарата решения динамических начально-краевых задач термомеханики, но и разработка методологии построения модели термомеханики, используемой при проведении численных расчетов.

Основная проблема построения компьютерной модели заключается в необходимости удовлетворения двум подчас противоречащим друг другу требованиям: адекватности модели исследуемому процессу и простоте модельного описания, позволяющей строить эффективные вычислительные алгоритмы решения поставленных задач.

Анализ литературы. В рамках рассматриваемой проблематики можно выделить два основных направления исследований. Первое направление связано с определением характеристик неоднородной анизотропной термоупругой среды, входящих в уравнения модели в качестве коэффициентов (характеристик) [1 – 3]. Возникающие при этом коэффициентные обратные начально-краевые задачи для дифференциальных уравнений, как правило, являются классически (по Ж. Адамару) некорректными. Сложность такого рода задач приводит к

тому, что эффективные алгоритмы решения разработаны, в основном, для одномерных задач с небольшим числом искомым характеристик [4, 5], хотя общие подходы были развиты и для трехмерных задач с большим числом искомым характеристик [6], в том числе и для сложных реологических и композитных сред [7 – 9]. В рамках второго направления исследований проблема построения адекватной компьютерной модели термоупругости связывается с определением совокупности термомеханических эффектов, которые следует учесть при решении определенного класса задач. Инструментарий исследований в этом направлении составляют методы теории принятия решений, применяемые для выбора наиболее подходящей модели из заданного класса моделей или для сокращения множества выбора [10, 11]. Комбинированный подход, предложенный в [12], предполагает сочетание методов теории коэффициентных обратных задач и методов теории принятия решений для структурно-параметрического синтеза моделей термоупругости, что связано с определенными сложностями его применения и, как следствие, использование этого подхода для решения частных задач построения (выбора) моделей термомеханики.

Целью настоящей работы является разработка процедуры применения комбинированного структурно-параметрического подхода для поддержки принятия решений при выборе модели анизотропии термоупругой среды.

Моделирование термомеханических процессов. Математическую модель процесса можно представить в виде: $M = \langle S, C \rangle$, где S – структура модели, учитывающая вид и взаимосвязи между входящими в модель соотношениями, а C – параметры модели, представляющие собой коэффициенты (в данном случае зависящие от пространственных координат) этих соотношений.

Под действием термосиловых нагружений (в том числе массовых сил и тепловых источников, имеющих распределения F_i , $i = 1, 2, 3$ и F_0 , соответственно) в неоднородной анизотропной термоупругой среде возникают перемещения u_i ($i = 1, 2, 3$), деформации e_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$), напряжения σ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$), тепловые потоки q_i ($i = 1, 2, 3$), а также может произойти изменение температуры θ . Все эти величины в дальнейшем полагаются достаточно гладкими функциями декартовых пространственных координат $x = (x_1, x_2, x_3)$ и времени t . В качестве модели, описывающей анизотропию общего вида, будем использовать модель обобщенной термомеханики [13] (обобщенный закон Фурье, уравнение теплового баланса, уравнения движения (равновесия), соотношения Коши и обобщенный закон Дюамеля-Неймана):

$$\begin{aligned} \tau \dot{q}_i + q_i + K_{ij} \theta_{,j} &= 0, \quad C_v \dot{\theta} + q_{j,j} + T_0 \beta_{ij} \dot{e}_{ij} = f_0, \quad \rho \ddot{u}_i - \sigma_{ij,j} = f_i, \\ e_{ij} - (u_{i,j} + u_{j,i})/2 &= 0, \quad \sigma_{ij} - C_{ijkl} e_{kl} + \beta_{ij} \theta = 0, \quad i, j, k, l = 1, 2, 3. \end{aligned}$$

При записи соотношений термоупругости использовались общепринятые обозначения характеристик среды: τ – время релаксации теплового потока; K_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) – коэффициенты теплопроводности анизотропной среды; C_v – удельная теплоемкость при постоянной деформации; β_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) – коэффициенты термического объемного расширения; C_{ijkl} ($i, j, k, l = 1, 2, 3$) – изотермические коэффициенты жесткости анизотропной среды; ρ – плотность. Точки над величинами означают частные производные по времени t , индекс после запятой – частную производную по соответствующей пространственной координате. По повторяющемуся индексу производится суммирование.

Анизотропия свойств среды общего вида (описываемая тензорами β_{ij} , C_{ijkl} , K_{ij}) с учетом симметрии тензоров характеризуется 33 независимыми величинами (функциями пространственных переменных). Например, в случае неотропии (наличия одной плоскости симметрии) число характеристик анизотропии сокращается до 21. Ортротропия (наличия трех плоскостей симметрии), монотропия (наличие одного выделенного направления) и изотропия (отсутствие выделенных направлений) требуют для своего описания 15, 7 и 4 характеристик соответственно. Для представления используемой модели анизотропии будем использовать бинарный вектор модели a_i , компоненты которого a_i ($i = 5, \dots, 33$) принимают значение 1, если соответствующая характеристика анизотропии является независимой и 0 в противном случае. Ограничившись рассмотрением только ортротропных сред, можно уменьшить размерность вектора модели до 11 компонент ($i = 5, \dots, 15$). Аналогичные возможности имеются в случаях априорных предположений относительно других типичных видов анизотропии.

Таким образом, при выборе более простой модели анизотропии число характеристик среды, требуемых для моделирования термомеханических процессов, значительно уменьшается.

Структурный синтез модели термомеханики. Предполагается, что наиболее полная из рассматриваемых моделей, соответствующая набору коэффициентов $a_i = 1$ ($i = 1, \dots, n$), модель M^1 является адекватной. Предполагается также, что проверка адекватности произвольной модели M^* из рассматриваемого класса, может быть сведена к проверке выполнения заданной точности аппроксимации решений, полученных на

основе M^1 , решениями, полученными на основе M^* , с использованием процедуры, аналогичной [12]:

1) генерируется набор тестовых задач $T_1, T_2, \dots, T_V$, решениями которых в рамках модели M^* , будут функции $\{u_i, e_{ij}, \sigma_{ij}, q_i, \theta\}^v$ ($i, j=1, 2, 3; v=1, \dots, V$);

2) полученные решения подставляются в соотношения, соответствующие модели M^1 , и вычисляются невязки;

3) полученные невязки приводятся к безразмерному виду и нормируются, после чего невязки умножаются на весовые коэффициенты (найденные в результате обработки экспертных оценок), а затем для модели M^* определяется средняя (по набору тестовых задач) невязка δ^* ;

4) проверяется выполнение для полученной средней невязки δ^* ограничения, обеспечивающего заданную допустимую точность аппроксимации δ^e : $\delta^* \leq \delta^e$.

Сложность использования модели можно оценить по значению вектора α . Однако учет разных моделей анизотропии не одинаков по сложности и зависит от особенностей процесса, типа решаемой задачи и используемого метода ее решения, а также требуемой точности решения. Поэтому в качестве критерия сравнительной сложности модели предлагается использовать взвешенную сумму компонент вектора α .

Выбор (одной или нескольких) наиболее удобных для использования моделей целесообразно производить, основываясь на процедуре генетической селекции, поскольку она позволяет эффективно находить удовлетворительные решения многоэкстремальных оптимизационных задач большой размерности и обладает возможностью использования параллельных вычислений, что отвечает перспективным тенденциям развития компьютерных технологий. Для селекции моделей предлагается следующая (основанная на стандартном генетическом алгоритме [14]) процедура (рис.):

1) кодирование моделей в виде бинарных хромосом, определяемых коэффициентами α_i ($i=1, \dots, n$) и построение начальной популяции моделей, случайным выбором из класса моделей;

2) построение нормализованной функции приспособленности на основе критерия сложности;

3) оценка популяции, после чего: либо формирование новой популяции на основе применения генетических алгоритмов, либо формирование множества селекционных моделей, часть которых (прошедших проверку на удовлетворение адекватности) составляют множество выбора. Множество выбора, как правило, включает в себя 3 – 5 моделей, после чего окончательный выбор производится лицом,

принимающим решение, на основе своих (обычно интуитивных) предпочтений.

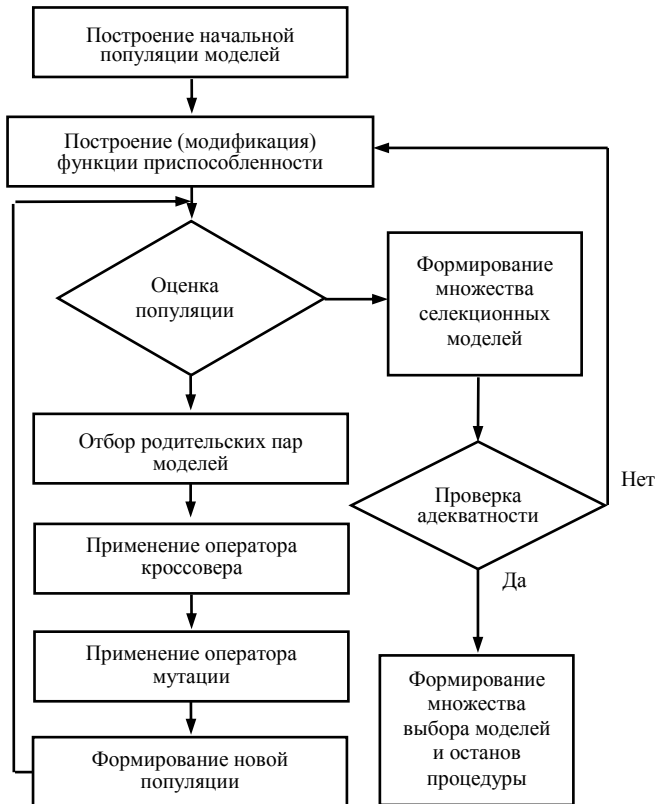


Рис. Схема процедуры селекции

Как и любой эвристический метод случайного поиска, предлагаемая процедура генетической селекции моделей не гарантирует нахождение оптимального решения, но представляется более эффективной, чем гарантирующий точное решение метод полного перебора.

Параметрический синтез модели термомеханики. На предыдущем этапе предполагалось, что коэффициенты уравнений термомеханики являются известными константами, что соответствует пространственной однородности термоупругой среды. Этап

параметрического синтеза состоит в уточнении модели за счет допущения возможной зависимости свойств среды от пространственных координат. Нахождение этой зависимости по результатам измерения на поверхности тела отдельных характеристик специальным образом инициированных в рассматриваемом теле термомеханических процессов представляет собой коэффициентную обратную задачу для уравнений термомеханики. Такого рода некорректные по Ж.Адамару задачи рассмотрены, в частности, в [1 – 3].

Выводы. Предложенный подход к построению математических моделей взаимосвязанных физических процессов (рассмотренный на примере задач термомеханики), основанный на разделении этапов структурного и параметрического синтеза, позволяет учесть при моделировании анизотропию среды распространения процессов. Однако его реализация представляет собой достаточно трудоемкую процедуру (являющуюся основным результатом работы), которая оправдана в случае дальнейшего многократного использования моделей для решения однотипных задач в рамках автоматизации научных исследований. Вычислительные эксперименты, проведенные с использованием разработанного исследовательского прототипа системы поддержки принятия решений по выбору модели, свидетельствуют об эффективности предложенного подхода.

Список литературы: 1. Ватульян А.О. Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела / А.О. Ватульян. – М.: Физматлит, 2007. – 223 с. 2. Ломазов В.А. Задачи диагностики неоднородных термоупругих сред / В.А. Ломазов. – Орел: ОрелГТУ, 2002. – 172 с. 3. Яхно В.Г. Обратные коэффициентные задачи для дифференциальных уравнений упругости / В.Г. Яхно. – Новосибирск: Наука, 1990. – 304 с. 4. Ватульян А.О. Об одном способе идентификации термоупругих характеристик для неоднородных тел / А.О. Ватульян, С.А. Нестеров // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т. 87. – № 1. – С. 217-224. 5. Гордон В.А. Определение жесткостных параметров слабонеоднородных стержней по их динамическим характеристикам. Часть I / В.А. Гордон, П.Н. Анохин, Е.В. Брума // Известия Тульского гос. ун-та. Естественные науки. – 2013. – № 2-2. – С. 90-97. 6. Ломазов В.А. Задача диагностики упругих полуграниченных тел / В.А. Ломазов // Прикладная математика и механика. – 1989. – Т. 53. – № 5. – С. 766-772. 7. Романов В.Г. Трехмерная обратная задача вязкоупругости / В.Г. Романов // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 441. – № 4. – С. 452-453. 8. Ломазов В.А. Учет термочувствительности в задаче диагностики термоупругих сред / В.А. Ломазов, Ю.В. Немировский // Прикладная механика и техническая физика. – 2003. – Т. 44. – № 1 (257). – С. 176-184. 9. Ломазов В.А. Об одной постановке задачи диагностики переходной зоны дисперсно-упрочненного композитного материала / В.А. Ломазов // Математическое моделирование. – 2004. – Т. 16. – № 11. – С. 120-128. 10. Жиликов Е.Г. Селекция аддитивных функциональных моделей сложных систем / Е.Г. Жиликов, В.А. Ломазов, В.И. Ломазова // Информационные системы и технологии. – 2010. – № 6. – С. 66-70. 11. Жиликов Е.Г. Компьютерная кластеризация совокупности аддитивных математических моделей взаимосвязанных процессов / Е.Г. Жиликов, В.А. Ломазов, В.И. Ломазова // Вопросы радиоэлектроники. – 2011. – № 1. –

С. 115-119. **12.** Ломазов В.А. Построение математической модели при решении задач термомеханики / В.А. Ломазов, В.И. Ломазова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 4-4. – С. 1582-1584. **13.** Бардозкас Д.И. Математическое моделирование в задачах механики связанных полей. Т. I. / Д.И. Бардозкас, А.И. Зобнин, Н.А.Сеник, М.Л. Фильштинский. – М.: URSS, 2010. – 312 с. **14.** Гладков Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Vatul'jan A.O.* Obratnye zadachi v mehanike deformiruемого твердого тела / *A.O. Vatul'jan*. – М: Fizmatlit, 2007. – 223 s. **2.** *Lomazov V.A.* Zadachi diagnostiki neodnorodnyh termouprugih sred / *V.A. Lomazov*. – Orel: OrelGTU, 2002. – 168 s. **3.** *Jahno V.G.* Obratnye koefitsientnye zadachi dlja differentsial'nyh uravnenij uprugosti / *V.G. Jahno*. – Novosibirsk: Nauka, 1990. – 304 s. **4.** *Vatul'jan A.O.* Ob odnom sposobe identifikatsii termouprugih harakteristik dlja neodnorodnyh tel / *A.O. Vatul'jan, S.A. Nesterov* // *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal*. – 2014. – Т. 87. – № 1. – S. 217-224. **5.** *Gordon V.A.* Opredelenie zhestkostnyh parametrov slaboneodnorodnyh sterzhnej po ih dinamicheskim harakteristikam. Chast' I / *V.A. Gordon, P.N. Anohin, E.V. Bruma* // *Izvestija Tul'skogo gos. un-ta. Estestvennye nauki*. – 2013. – № 2-2. – S. 90-97. **6.** *Lomazov V.A.* Zadacha diagnostiki uprugih poluogranichennyh tel / *V.A. Lomazov* // *Prikladnaja matematika i mehanika*. – 1989. – Т. 53. – № 5. – S. 766-772. **7.** *Romanov V.G.* Trehmernaja obratnaja zadacha vjazkoupругosti / *V.G. Romanov* // *Doklady Akademii nauk*. – 2011. – Т. 441. – № 4. – S. 452-453. **8.** *Lomazov V.A.* Uchet termochuvstvitel'nosti v zadache diagnostiki termouprugih sred / *V.A. Lomazov, Ju.V. Nemirovskij* // *Prikladnaja mehanika i tehničeskaja fizika*. – 2003. – Т. 44. № 1 (257). – S. 176-184. **9.** *Lomazov V.A.* Ob odnoj postanovke zadachi diagnostiki perehodoj zony dispersno-upročennogo kompozitnogo materiala / *V.A. Lomazov* // *Matematicheskoe modelirovanie*. – 2004. – Т. 16. – № 11. – S. 120-128. **10.** *Zhiljakov E.G.* Selekcija additivnyh funkcional'nyh modelej slozhnyh system / *E.G. Zhiljakov, V.A. Lomazov, V.I. Lomazova* // *Informacionnye sistemy i tehnologii*. – 2010. – № 6. – S. 66-70. **11.** *Zhiljakov E.G.* Komp'juternaja klasterizacija sovokupnosti additivnyh matematicheskikh modelej vzaimosvjazannyh processov / *E.G. Zhiljakov, V.A. Lomazov, V.I. Lomazova* // *Voprosy radioelektroniki*. – 2011. – № 1. – S. 115-119. **12.** *Lomazov V.A.* Postroenie matematicheskoy modeli pri reshenii zadach termomehaniki / *V.A. Lomazov, V.I. Lomazova* // *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. – 2011. – № 4-4. – S. 1582-1584. **13.** *Bardzokas D.I.* Matematicheskoe modelirovanie v zadachah mehaniki svjazannyh poлей. Т. I. / *D.I. Bardzokas, A.I. Zobnin, N.A.Senik, M.L. Fil'shtinskij*. – М.: URSS, 2010. – 312 с. **14.** *Gladkov L.A.* Geneticheskie algoritmy / *L.A. Gladkov, V.V. Kurejchik, V.M. Kurejchik*. – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.

Статью представил д-р техн. наук, проф. НИУ "БелГУ" Жилиаков Е.Г.

Поступила (received) 10.05.2014

Lomazova Valentina, Cand.Sci.Tech, senior teacher
Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Professional Education "Belgorod National Research University"
Str. Pobedy, 85, Belgorod, Russia, 308015
tel./phone: (472) 233-03-81, e-mail: lomazova@bsui.edu.ru

УДК 621.833+515.2

Н.В. МАТЮШЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
А.В. ФЕДЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
Е.А. КРАЕВСКАЯ, доц., НТУ "ХПИ"

ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЗУБА В НОРМАЛЬНОМ СЕЧЕНИИ В НОМИНАЛЬНЫХ ТОЧКАХ КОНТАКТА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ НОВИКОВА

В статье получено уравнение поверхности зубьев цилиндрических передач Новикова с двумя линиями зацепления с циклоидальной продольной формой, нарезанных резцовой головкой. Форма зуба является огибающей однопараметрического семейства мгновенных положений исходного контура инструмента. Построен алгоритм вычисления толщины зуба. Ил.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: цилиндрическая передача, передача Новикова, две линии зацепления, циклоидальная продольная форма зуба, толщина зуба.

Постановка проблемы. Применение зубчатых колес с арочными зубьями, относящихся к зубьям с криволинейным продольным профилем, для наружного зацепления вместо косозубых колес является эффективным направлением повышения нагрузочной способности, долговечности и снижения уровня шума при работе зубчатых передач. Рабочая поверхность арочного зуба представляет собой поверхность, описываемую огибающей однопараметрического семейства мгновенных положений исходного контура инструмента, расположенную в плоскости перпендикулярной оси колеса, которая перемещается вдоль этой оси и поворачивается относительно этой же оси. Исходя из опыта работы автомобильных фирм (ЗИЛ, ГАЗ, ВАЗ, АЗЛК, "Форд", "Мерседес-Бенц", "Фольксваген", "Итен", "Шевроле"), локомотивостроительных заводов и других предприятий, использующих зубчатые трансмиссии, перевод приводных конических передач на передачи с криволинейными (круговыми) зубьями решил проблему повышения нагрузочной способности, износостойкости передач при сохранении бесшумности и плавности хода. По данным фирмы "Глисон" гипоидные и конические передачи с круговыми зубьями по основным характеристикам прочности, сопротивлению питтингу и задиру в 1,5 – 2 раза лучше по сравнению с подобными косозубыми передачами [1].

Анализируя существующую ситуацию в производстве арочных колёс, можно констатировать: способы изготовления арочных колёс не позволяют изготавливать колёса выше 12-й степени точности по ГОСТ

1643-81, что препятствует их более широкому применению.

Совершенствование зацепления цилиндрических зубчатых колёс с арочными зубьями является важным и недостаточно исследованным направлением повышения качества и нагрузочной способности механизмов и машин, применяемых в различных отраслях промышленности.

В настоящее время, благодаря развитию компьютерных технологий, в частности, систем автоматизированного проектирования, появилась возможность проведения более глубоких исследований и разработки точных методов анализа, синтеза арочного зацепления и технологии изготовления арочных зубчатых колёс в промышленных масштабах.

Анализ литературы. Описанные в работах [1 – 7] методы анализа наружного зацепления арочных цилиндрических колес основываются на том, что продольный и поперечный профиль арочных зубьев при нарезании формируется двумя группами резцов с режущими кромками способом непрерывного деления при тангенциальной подаче резцов относительно делительного цилиндра или путем формирования активной рабочей поверхности зубьев криволинейными режущими кромками резцов резцовой головки.

Особую заботу в передачах Новикова составляет то обстоятельство, что они могут быть только косозубыми. Этот фактор существенно сдерживает их широкое внедрение, несмотря на то, что по другим параметрам оно имеет несомненные преимущества. Появление больших осевых усилий резко отрицательно сказывается на работе подшипников, а также на конструкции корпуса редуктора. Шевронное исполнение зубчатых колес с зацеплением Новикова сильно влияет на увеличение в осевом направлении габаритов редуктора.

Использование передач Новикова с арочной формой зубьев предполагает всесторонний анализ и учет особенностей влияния продольной формы зуба на геометрические характеристики. Поэтому настоящая задача является актуальной.

Цель статьи. Разработать алгоритм, позволяющий по заданным параметрам исходного контура фрезы и начальным параметрам зацепления вычислять толщину зуба колеса для цилиндрических передач Новикова с двумя линиями зацепления.

Решение. Предварительные исследования [7] показали, что при аналитическом описании удобнее рассматривать рабочие поверхности зубьев, как ГМТ, полученное движением образующей, скользящей по направляющей винтовой линии, расположенной на начальном цилиндре,

и остающейся при этом в плоскости, параллельной торцовой. При такой постановке образующая получается, как огибающая мгновенных положений торцового сечения инструментальной рейки. При этом (рис. 1) исходный контур (ИК) преобразуется, дугам окружностей головки и ножки ИК соответствуют эллипсы, начальной прямой соответствует прямая НПс, а номинальным точкам контакта N_a , N_f на ИК – точки N_{as} и N_{fs} .

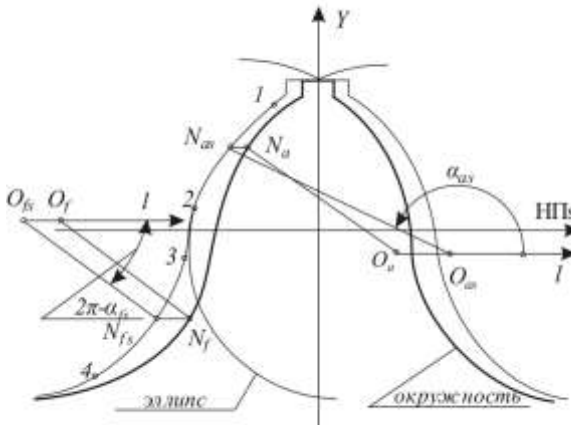


Рис. 1. Исходный контур и его аналог в торцовой плоскости

Пусть N_{as} ($\bar{N}'_{as}$) – винтовые проекции (рис. 2) номинальных точек контакта (н.т.к.) на рабочей (нерабочей) стороне торцового профиля головки зуба колеса, а $\bar{N}_{asp}$ ($\bar{N}'_{asp}$) – винтовые проекции н.т.к. на рабочей (нерабочей) стороне нормального профиля головки зуба колеса. Обозначим также через $\bar{N}'_{fs}$ – винтовые номинальной точки контакта (н.т.к.) на рабочей (нерабочей) стороне торцового профиля ножки зуба колеса, а $\bar{N}_{fsp}$ ($\bar{N}'_{fsp}$) – винтовые н.т.к. на рабочей (нерабочей) стороне нормального профиля ножки зуба колеса.

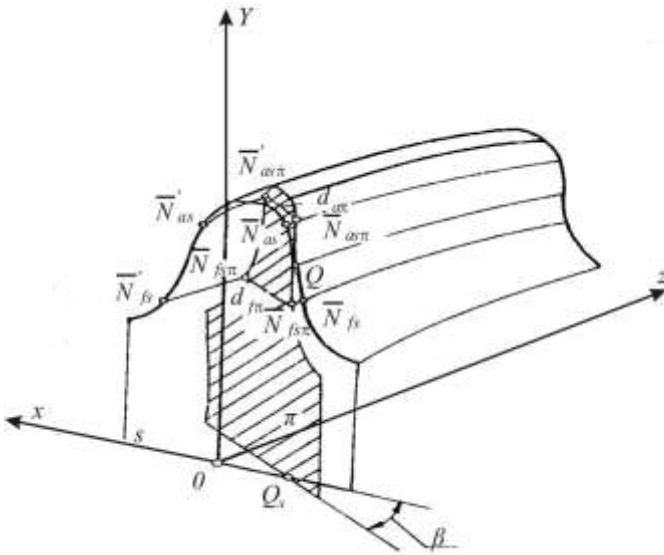


Рис. 2. Торцовое s и нормальное π сечения зуба колеса

Тогда, по уравнению поверхности головки зуба колеса, а также положению винтовых проекций н.т.к. N_{as} ($\bar{N}'_{as}$), координаты $\bar{N}_{as\pi}$ ($\bar{N}'_{as\pi}$) определяются следующим соотношением:

$$\begin{cases} x_{N_{as\pi}}^- = r_{ab} \cos(\varphi(\alpha_s) + \gamma_{as}^*) ; \\ y_{N_{as\pi}}^- = r_{ab} \sin(\varphi(\alpha_s) + \gamma_{as}^*) ; \\ z_{N_{as\pi}}^- = p\gamma_{as}^* , \end{cases}$$

где $\alpha_s = \alpha_s(\alpha'_s)$ – полярный угол, определяющий положение $N_{as}(\bar{N}'_{as})$ на торцовом сечении зуба рейки. Угол γ_{as}^* находится как решение (методом простых итераций) уравнения $\gamma = Rr/p^2 \sin(\varphi_0 - \varphi - \gamma)$, в котором $\operatorname{tg} \varphi = y(\alpha_s)/x(\alpha_s)$, $x(\alpha_s)$ и $y(\alpha_s)$ – координаты н.т.к. $\bar{N}_{as}$

(н.т.к. $\overline{N}_{as}'$) на рабочей (нерабочей) стороне головки зуба колеса, $\text{tg}\varphi_0 = y_0/x_0$, x_0 и y_0 – координаты точки Q пересечения начального цилиндра с рабочей стороной торцового профиля зуба колеса, r_{ab} – радиус контактного цилиндра.

Расстояние $d_{a\pi}$ между точками $\overline{N}_{a\pi}$ и $\overline{N}_{a\pi}'$ толщина зуба в нормальном сечении в н.т.к. головки зуба колеса вычисляется по формуле:

$$d_{a\pi} = \sqrt{(X_{\overline{N}_{a\pi}} - X_{\overline{N}_{a\pi}}')^2 + (Y_{\overline{N}_{a\pi}} - Y_{\overline{N}_{a\pi}}')^2}.$$

Аналогично рассуждая, находим координаты н.т.к. $\overline{N}_{f\pi}$ ($\overline{N}_{f\pi}'$):

$$\begin{cases} x_{\overline{N}_{f\pi}} = r_{fb} \cos(\varphi(\alpha_s)) + \gamma_{fs}^*; \\ y_{\overline{N}_{f\pi}} = r_{fb} \sin(\varphi(\alpha_s)) + \gamma_{fs}^*; \\ z_{\overline{N}_{f\pi}} = p\gamma_{fs}^*. \end{cases}$$

где $\alpha_s = \alpha_{fs}(\alpha_{fs}')$ – полярный угол, определяющий положение $N_{fs}(\overline{N}_{fs}')$ на торцовом сечении зуба рейки, γ_{fs}^* – решение уравнения $\gamma = Rr/p^2 \sin(\varphi_0 - \varphi - \gamma)$, в котором $\text{tg}\varphi = y(\alpha_s)/x(\alpha_s)$, $x(\alpha_s)$ и $y(\alpha_s)$ – координаты н.т.к. $\overline{N}_{fs}$ (н.т.к. $\overline{N}_{fs}'$) на рабочей (нерабочей) стороне торцового сечения ножки зуба колеса, r_{fb} – радиус контактного цилиндра.

Тогда, толщина $d_{f\pi}$ нормального сечения в н.т.к. ножки зуба колеса вычисляется по формуле:

$$d_{f\pi} = \sqrt{(X_{\overline{N}_{f\pi}} - X_{\overline{N}_{f\pi}}')^2 + (Y_{\overline{N}_{f\pi}} - Y_{\overline{N}_{f\pi}}')^2}.$$

Результаты расчетов показаны ниже на рис. 3.

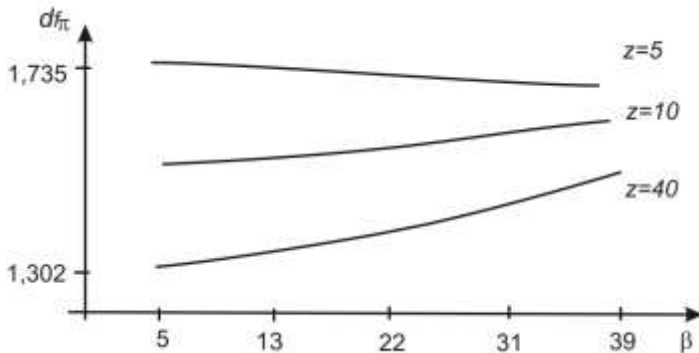


Рис. 3. Зависимость толщины ножки зуба в нормальном его сечении в номинальных точках контакта

Выводы. Разработан алгоритм, позволяющий по заданным параметрам исходного контура фрезы и начальным параметрам зацепления вычислять толщину зуба колеса для цилиндрических передач Новикова с двумя линиями зацепления.

Список литературы: 1. Васин В.А. Конструкторско-технологическое обеспечение процесса формообразования круговых зубьев цилиндрических колес. Дис. канд. техн. наук. – Тула: ТулГУ., 2005. – 145 с. 2. Плахтин В.Д. Синтез зацепления цилиндрических зубчатых колёс с арочными бочкообразными зубьями / В.Д. Плахтин, А.Н.Паришин // Технология машиностроения. – 2007. – № 2. – С. 46-53. 3. Сызранцева К.В. Оценка напряженного состояния арочных зубьев колес цилиндрических передач / К.В. Сызранцева, М.Р. Варшавский, А.В. Белобородов / Инновационные технологии в машиностроении и приборостроении: Мат. междунар. научн.-техн. конферен. – Ижевск, 2010. – Ч. 2. – С. 313-317. 4. Плахтин В.Д. Анализ зацепления и технология изготовления цилиндрических колес с арочными зубьями с применением автоматизированного комплекса T-Flex. / В.Д. Плахтин., И.Г. Панков, А.П. Давыдов, А.Н. Паришин // CAD/CAM/CAE информационно аналитический PLM журнал. – 2007. – № 6 (36). – С. 63-66. 5. Мацей Р.А. Уравнения активных поверхностей арочных зубьев цилиндрических зубчатых передач, нарезаемых способом непрерывного деления // Детали машин: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – Киев, 1984. – Вып. 38. – С. 3-11. 6. Syzrantsev V.N. Contact load and endurance of cylindrical gearing with arch-shaped teeth / V.N. Syzrantsev, K.V. Syzrantseva, M.R. Varshavsky / Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions. – 5–9 April 2010. – Chongqing, China. – P. 425-43. 7. Плахтин В.Д. Изготовление зубчатых колес с арочными зубьями с применением пальцевых фрез / В.Д. Плахтин, А.П. Давыдов, А.Н. Паришин / Технология машиностроения. – 2008. – № 6. – С. 12-15. 8. Матюшенко Н.В. Арочные зубья с циклоидальной продольной формой. / Н.В. Матюшенко, В.А. Бережной, А.В. Федченко / Вестник НТУ "ХПИ". Тем. вып. "Проблемы механического привода". – Харьков, 2013. – № 40. – С. 75-79.

Bibliography (transliterated): 1. Vasin V.A. Konstruktorsko-tehnologicheskoe obespechenie processa formoobrazovaniya zub'ev cilindricheskikh koles. Dis. kand. tehn. nauk. – Tula: TulGU, 2005. – 145 s. 2. *Plahtin V.D.* Sintez zacepleniya cilindricheskikh zubchatykh koljos s arochnymi bochkoobraznymi zub'jami / *V.D. Plahtin, A.N. Parshin* // *Tehnologija mashinostroeniya*. – 2007. – № 2. – S. 46-53. 3. *Syzranceva K.V.* Ocenka naprjazhennogo sostojaniya arochnykh zub'ev koles cilindricheskikh peredach. / *K.V. Syzranceva, M.R. Varshavskij, A.V. Beloborodov* // *Innovacionnye tehnologii v mashinostroenii i priborostroenii*: Mat. mezhdunar. nauchn.-tehn konferen. – Izhevsk, 2010. – Ch. 2. – S. 313-317. 4. *Plahtin V.D.* Analiz zacepleniya i tehnologija izgotovleniya cilindricheskikh koles s arochnymi zub'jami s primeneniem avtomatizirovannogo kompleksa T-Flex. / *V.D. Plahtin., I.G. Pankov, A.P. Davydov, A.N. Parshin* // *SAD/CAM/CAE informacionno analiticheskij PLM zhurnal*. – 2007. – № 6 (36). – S. 63-66. 5. *Macej R.A.* Uravneniya aktivnykh poverhnostej arochnykh zub'ev cilindricheskikh zubchatykh peredach, narezaemykh sposobom nepreryvnogo delenija / *R.A. Macej* // *Detali mashin: Resp. mezhved. nauchn.-tehn. sb.* – Kiev, 1984. – Vyp. 38. – S. 3-11. 6. *Syzrantsev V.N.* Contact load and endurance of cylindrical gearing with arch-shaped teeth / *V.N. Syzrantsev, K.V. Syzrantseva, M.R. Varshavsky* // *Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions*. – 5–9 April 2010. – Chongqing, China. – P. 425-43. 7. *Plahtin V.D.* Izgotovlenie zubchatykh koles s arochnymi zub'jami s primeneniem pal'cevyykh frez / *V.D. Plahtin, A.P. Davydov, A.N. Parshin* // *Tehnologija mashinostroeniya*. – 2008. – № 6. – S. 12-15. 8. *Matjushenko N.V.* Arochnye zub'ja s cikloidal'noj prodol'noj formoj / *N.V. Matjushenko, V.A. Berezhnoj, A.V. Fedchenko* // *Vestnik NTU "KhPI"*. Tem. vyp. "Problemy mehanicheskogo privoda". – Har'kov, 2013. – № 40. – S.75-79.

Поступила (received) 12.05.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. ХТУ ХПИ" Ткачук Н.А.

Matyushenko Nikolai, Ph.D., Associate Professor
Kharkiv National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-64-31, e-mail: priada@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-4727-8993

Fedchenko Hanna, Ph.D., Associate Professor
Kharkiv National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-64-31, e-mail: anna-fedchenko@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-0690-6017

Kraevskaya Helena,
Kharkiv National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-64-31, e-mail: kraevsck@list.ru
ORCID ID: 0000-0002-8460-958X

УДК 621.3.07: 681.5.015

Н.В. МЕЗЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
А.Ю. ЗАКОВОРОТНЫЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
Г.В. ГЕЙКО, ст. преп., НТУ "ХПИ"

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ПРИВОДА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА

Предлагается идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда на основе метода наименьших квадратов. Выполнено преобразование исходной математической модели тягового привода к модели, в которой исключены неподдающиеся прямому измерению величины. Приводятся результаты имитационного моделирования, подтверждающие правильность предложенной параметрической идентификации. Ил.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: идентификация, метод наименьших квадратов, тяговый асинхронный привод, имитационное моделирование.

Постановка проблемы и анализ литературы. Качественное управление электроприводом основывается на точном знании его фазовых координат. В тяговом приводе дизель-поезда используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, измерение части фазовых координат которого напрямую невозможно [1]. Поэтому одной из основных задач, возлагаемых на систему управления, является задача идентификации данных, которая решается за счет использования различного рода наблюдателей [2 – 6]. Наблюдатели строятся на базе математических моделей асинхронного двигателя с известной структурой. Однако параметры двигателя (в большей степени сопротивления обмоток статора и ротора) могут меняться в широких диапазонах, что в конечном итоге приводит к ошибкам при определении фазовых координат. На сегодняшний день для идентификации параметров объектов существует ряд методов, большинство из которых основаны на использовании фильтров Калмана [7] и метода наименьших квадратов (МНК) [8 – 9]. Основная сложность практической реализации методов на основе фильтров Калмана в задачах управления электроприводом обуславливается большим числом выходных параметров как электрической, так и механической природы. Поэтому в работе предлагается идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда на основе МНК.

Целью статьи является параметрическая идентификация тягового

© Н.В. Мезенцев, А.Ю. Заковоротный, Г.В. Гейко, 2014

асинхронного привода дизель-поезда на основе МНК.

Математическая модель тягового асинхронного привода при общеизвестных допущениях может быть представлена в неподвижной системе координат $(\alpha, \beta, 0)$ следующим образом:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} U_{s\alpha} - \gamma i_{s\alpha} + \frac{\beta}{T_r} \Psi_{r\alpha} + p\beta\omega\Psi_{r\beta}; \quad (1)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} U_{s\beta} - \gamma i_{s\beta} + \frac{\beta}{T_r} \Psi_{r\beta} + p\beta\omega\Psi_{r\alpha}; \quad (2)$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_r} - p\omega\Psi_{r\beta}; \quad (3)$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} - \frac{\Psi_{r\beta}}{T_r} - p\omega\Psi_{r\alpha}; \quad (4)$$

$$M = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{\sigma L_r} (\Psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} i_{s\alpha}); \quad (5)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{p}{J} (M - M_c), \quad (6)$$

где $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ – соответственно проекции тока статора на оси α и β ; t – время; $\sigma = 1 - k_s k_r = 1 - L_m^2 / (L_s L_r)$ – полный коэффициент рассеивания; L_m , L_s , L_r – соответственно взаимная индуктивность, индуктивности статора и ротора; $U_{s\alpha}$, $U_{s\beta}$ – соответственно проекции напряжения статора на оси α и β ; $\gamma = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r L_m^2}{\sigma L_s L_r^2}$; R_s , R_r – активные сопротивления статора и ротора; $\beta = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}$; $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ – постоянная времени ротора; p – число пар полюсов; $\Psi_{r\alpha}$, $\Psi_{r\beta}$ – соответственно проекции потокосцеплений ротора на оси α и β ; ω – частота вращения ротора; J – приведенный момент инерции двигателя; M – электромагнитный момент; $M_c = b_0 + b_1\omega + b_2\omega^2$ – момент сопротивления движению; b_0 , b_1 , b_2 – коэффициенты, которые зависят от характеристик дизель-поезда и условий движения.

Для выполнения идентификации по МНК необходимо выполнить преобразование модели (1)–(6) к виду, в котором исключены

неподдающиеся измерению проекции потокоцепления ротора. Для этого объединив попарно уравнения (1) с (3) и (2) с (4), получим:

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{1}{K_r} \left(U_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha} - \sigma L_s \frac{di_{s\alpha}}{dt} \right); \quad (7)$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{1}{K_r} \left(U_{s\beta} - R_s i_{s\beta} - \sigma L_s \frac{di_{s\beta}}{dt} \right). \quad (8)$$

Далее, продифференцировав обе части выражений (1) и (2), получим:

$$\frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} = \frac{1}{\sigma L_s} \frac{dU_{s\alpha}}{dt} - \gamma \frac{di_{s\alpha}}{dt} + \frac{\beta}{T_r} \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + p\beta\omega \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} + p\beta \frac{d\omega}{dt} \Psi_{r\beta}; \quad (9)$$

$$\frac{d^2 i_{s\beta}}{dt^2} = \frac{1}{\sigma L_s} \frac{dU_{s\beta}}{dt} - \gamma \frac{di_{s\beta}}{dt} + \frac{\beta}{T_r} \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} + p\beta\omega \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + p\beta \frac{d\omega}{dt} \Psi_{r\alpha}. \quad (10)$$

Подставив выражения (7) в (9), а (8) в (10) и выполнив соответствующие преобразования, с учетом того, что $\frac{d\omega}{dt} \approx 0$, имеем

$$\begin{aligned} \frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} + p\omega \frac{di_{s\beta}}{dt} &= K_1 i_{s\alpha} + K_2 U_{s\alpha} + K_3 p\omega i_{s\beta} + \\ &+ K_4 \left(\frac{dU_{s\alpha}}{dt} + U_{s\beta} \right) + K_5 \frac{di_{s\alpha}}{dt}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 i_{s\beta}}{dt^2} + p\omega \frac{di_{s\alpha}}{dt} &= K_1 i_{s\beta} + K_2 U_{s\beta} + K_3 p\omega i_{s\alpha} + \\ &+ K_4 \left(\frac{dU_{s\beta}}{dt} + U_{s\alpha} \right) + K_5 \frac{di_{s\beta}}{dt}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{де } K_1 &= -\frac{R_s}{\sigma L_s T_r}; & K_2 &= \frac{1}{\sigma L_s T_r}; & K_3 &= -\frac{R_s}{\sigma L_s}; & K_4 &= \frac{1}{\sigma L_s}; \\ K_5 &= -\frac{(L_r R_s + L_s R_r)}{\sigma L_s L_r}. \end{aligned}$$

На основе коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 могут быть получены основные параметры привода, которых достаточно для построения идентификатора. Эти параметры определяются следующим образом:

$$R_s = -\frac{K_3}{K_4}, L_s = \frac{K_3 - K_5}{K_2}, T_r = \frac{K_4}{K_2}, \sigma = -\frac{K_2}{K_4(K_3 - K_5)}.$$

Кроме идентификации параметров электрической части привода необходимо также выполнять идентификацию параметров его механической части, а именно, момента сопротивления движению.

Как известно, в математических моделях момент сопротивления движению M_c аппроксимируется полиномом второй степени с постоянными коэффициентами b_0, b_1, b_2 , которые рассчитываются заранее и остаются постоянными при движении поезда по конкретному перегону. Однако, в процессе движения дизель-поезда по перегону, при изменении дорожной обстановки (погодные условия, изменения расписания и т.д.) эти коэффициенты могут изменяться. Поэтому необходимо выполнять их уточнение при движении подвижного состава по железнодорожному перегону.

Уточнённый момент сопротивления M_c^* может быть представлен следующим образом:

$$M_c^* = b_0 + b_1\omega + b_2\omega^2 + \varepsilon,$$

где ε — составляющая, которая учитывает изменение дорожной обстановки. Тогда, используя МНК, могут быть рассчитаны новые коэффициенты b_0^*, b_1^*, b_2^* , в которых учтена составляющая ε .

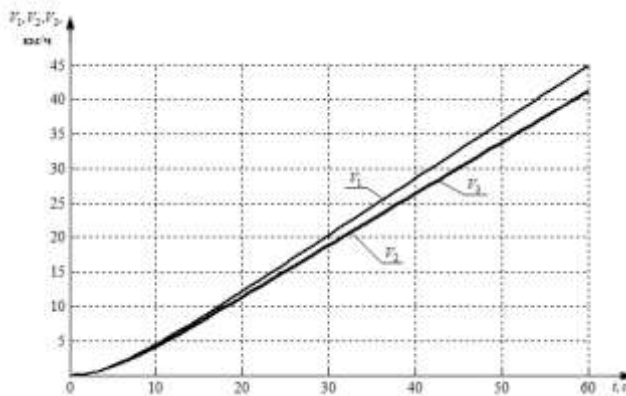


Рис. Изменение скорости движения дизель-поезда

На рис. приведены изменения во времени следующих скоростей движения дизель-поезда: V_1 — расчётная скорость при известных

параметрах движения по перегону (при известном M_c); V_2 – реальная скорость дизель-поезда; V_3 – скорость, рассчитанная с учётом M_c^* . Как видно из рис., скорости V_2 и V_3 практически совпадают, что свидетельствует о правильности нахождения коэффициентов b_0^* , b_1^* , b_2^* методом наименьших квадратов, а следовательно, и оценки момента сопротивления M_c^* .

Выводы. С помощью метода наименьших квадратов выполнена идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда. На основе данного подхода может быть создан наблюдатель для системы управления движением подвижного состава.

Список литературы: 1. Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. – Х.: Изд. центр "НТМТ", 2013. – 248 с. 2. Бешта А.С. Идентификация координат асинхронного двигателя в условиях дрейфа активных сопротивлений / А.С. Бешта, А.В. Валахонцев, Е.Г. Худой // Электротехника та електроенергетика. – 2005. – № 2. – С. 52-64. 3. Афанасьев К.С. Идентификация скорости асинхронного электродвигателя лабораторного стенда с помощью фильтра Калмана и наблюдателя Льюенбергера / К.С. Афанасьев, А.С. Глазырин // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2012. – № 4. – С. 66-69. 4. Водовозов А.М. Идентификация параметров асинхронной машины в установившихся режимах / А.М. Водовозов, А.С. Елюков // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 3. – С. 69-71. 5. Ha I.-J. An online identification method for both stator and rotor resistances of induction motor without rotational transducers / I.-J. Ha, S.-H. Lee // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2000. – Vol. 47. – № 4. – P. 842-852. 6. Duran M.J. Induction-motor sensorless vector control with online parameter estimation and overcurrent protection / M.J. Duran, J.L. Duran, F. Perez, J. Fernandez // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2006. – Vol. 53. – № 1. – P. 154-161. 7. Афанасьев К.С. Применение расширенного фильтра Калмана для улучшения параметрической робастности бездатчикового асинхронного электропривода / К.С. Афанасьев, А.С. Глазырин // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2012. – № 1. – С. 2-7. 8. Зоркальцев В.И. Метод наименьших квадратов: геометрические свойства, альтернативные подходы, приложения / В.И. Зоркальцев. – Новосибирск: ВО Наука. – 1995. – 220 с. 9. Лоусон Ч. Численное решение задач методом наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. – М.: Наука. – 1986. – 232 с.

Bibliography (transliterated): 1. Dmitrienko V.D. Modelirovanie i optimizacija processov upravlenija dvizheniem dizel'-poezdov / V.D. Dmitrienko, A.Ju. Zakovorotnyj. – H.: Izd. centr "NTMT", 2013. – 248 p. 2. Beshita A.S. Identifikacija koordinat asinhronnogo dvigatelja v uslovijah drejfa aktivnyh soprotivlenij / A.S. Beshita, A.V. Valahoncev, E.G. Hudoy // Elektrotehnika ta elektroenergetika. – 2005. – № 2. – P. 52-64. 3. Afanas'ev K.S. Identifikacija skorosti asinhronnogo jelektrodvigatelja laboratornogo stenda s pomoshh'ju fil'tra Kalmana i nabljudatelja Ljubenbergera / K.S. Afanas'ev, A.S. Glazyrin // Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija. – 2012. – № 4. – P. 66-69. 4. Vodovozov A.M. Identifikacija parametrov asinhronnoj mashiny v ustanovivshisja rezhimah / A.M. Vodovozov, A.S. Eljukov // Vestnik IGJeU. – 2010. – Vyp. 3. – P. 69-71. 5. Ha I.-J. An online identification method for both stator and rotor resistances of induction motor without rotational transducers / I.-J. Ha, S.-H. Lee // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2000. – Vol. 47. – № 4. – P. 842-852. 6. Duran M.J.

Induction-motor sensorless vector control with online parameter estimation and overcurrent protection / *M.J. Duran, J.L. Duran, F. Perez, J. Fernandez* // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2006. – Vol. 53. – № 1. – P. 154-161. 7. *Afanas'ev K.S.* Primenenie rasshirennogo fil'tra Kalmana dlja uluchsheniya parametricheskoj robnosti bezdatchikovogo asinhronnogo jelektroprivoda / *K.S. Afanas'ev, A.S. Glazyrin* // Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija. – 2012. – № 1. – P. 2-7. 8. *Zorkal'cev V.I.* Metod naimen'shih kvadratov: geometricheskie svoystva, al'ternativnye podhody, prilozhenija / *V.I. Zorkal'cev*. – Novosibirsk: VO Nauka. – 1995. – 220 p. 9. *Louson Ch.* Chislennoe reshenie zadach metodom naimen'shih kvadratov / *Ch. Louson, R. Henson*. – M.: Nauka. – 1986. – 232 p.

Поступила (received) 19.06.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Дмитриенко В.Д.

Mezentsev Nikolay, Cand.Tech.Sci., Docent
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 (067) 782-88-41, e-mail: besitzer@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0001-7834-2797

Zakovorotnyy Alexandr, Cand.Tech.Sci., Docent
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 (067) 546-35-27, e-mail: arcade@i.ua
ORCID ID: 0000-0003-4415-838X

Gejko Gennadij, senior lecturer
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute "
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 (098) 929-85-28, e-mail: e2901@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0001-6958-8306

УДК 004.891.3

А.И. ПОВОРОЗНИУК, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
А.В. ЕМЕЛЬЯНОВА, магистр, НТУ "ХПИ"

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАДИОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

В статье рассмотрены вопросы использования теории фракталов для анализа медицинских изображений в радиологии и применения возможностей фрактальной размерности в качестве диагностических характеристик для определения патологий на маммографических изображениях. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: фрактальная размерность, диагностические характеристики, маммографические изображения.

Постановка проблемы. Распространение компьютерных технологий стало началом разработки различного программного обеспечения, направленного на улучшение качества диагностирования разного рода заболеваний и изменения доли участия "человеческого фактора" во время постановки диагноза.

В современном мире рак молочной железы находится на первом месте среди онкозаболеваний женщин. Актуальность поиска методов эффективного диагностирования обусловлена постоянным увеличением количества больных. В последнее время ежегодный прирост больных на Украине – около 3% [1], однако своевременное диагностирование дает возможность остановить развитие болезни.

Несмотря на постоянное развитие и усовершенствование методов диагностики рака молочной железы, в данный момент не существует комплексных и эффективных средств, которые позволяют повысить обоснованность и достоверность компьютерного диагноза на основе маммограмм. Таким образом **остается актуальной** проблема поиска методов диагностики патологий на медицинских изображениях, в том числе и на маммограммах.

Анализ литературы. Большое количество исследований было проведено для изучения целесообразности использования фрактальной геометрии для описания структуры опухолей и патологий. Первой была работа Ландини и Риппина, опубликованная в 1993 году [2]. Несмотря на это только в последние несколько лет начали обращать внимание на возможность использования преимуществ фрактальной геометрии в медицине, особенно в кардиологии и радиологии.

Широко распространено использование мультифракталов для

анализа изображений. Например в [3] был предложен метод классификации опухолей с помощью мультифрактального анализа.

Некоторые исследования показали потенциал фрактального анализа как морфологической характеристики нерегулярных структур опухолей, принимая во внимание то, что фрактальная геометрия дает хорошую теоретическую базу для изучения и моделирования нерегулярных структур.

Фрактальные характеристики были использованы для того, чтобы представлять сложные изменения плотности и структуры тканей молочной железы, которые используются для выделения нетипичных областей на маммограммах [4, 5].

На данный момент большую сложность вызывает выделение на радиологических снимках небольших объектов, которые имеют хаотическое расположение или нечеткие контуры. В связи с этим актуально использование фрактальных характеристик в качестве диагностических характеристик для определения наличия патологий на маммографических изображениях.

Цель работы – разработка методов и технологий выявления диагностически значимых характеристик медицинских изображений на основе фрактального метода.

Суть исследования. В качестве диагностической характеристики для маммографического изображения была выбрана фрактальная размерность изображения.

Фрактальная размерность D – понятие фрактальной геометрии, которое означает статистическую величину, которая говорит о том, насколько полно фрактал заполняет пространство, когда его увеличивают до мельчайших деталей.

В ходе исследования рассчитывалась размерность Хаусдорфа, которая в математике представляет собой неотрицательное действительное число, связанное с любым пространством. Размерность Хаусдорфа обобщает понятия изменения реального векторного пространства [6].

Существует много способов расчета размерности Хаусдорфа, но наиболее распространенным является Box-counting метод, что обусловлено его простотой и достаточно легкой компьютерной реализацией [7].

Фрактальная размерность D исследуемого изображения является средним арифметическим значений D_m , рассчитанных по следующему алгоритму:

1. Заданное изображения делится на квадраты со стороной a_i .

2. Для каждого из квадратов определяется $n(a_i)$ – степень его заполненности изображением.

3. Уменьшается сторона квадрата таким образом, что выполняется $a_{i+1} = 0.5a_i$.

4. Повторяются пункты 1 – 3 заданное количество раз.

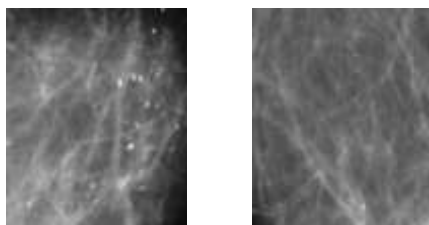
Значения, полученные в ходе выполнения алгоритма, попарно подставляются в формулу расчета фрактальной размерности (1)

$$D_m = \frac{\log n(a_i) - \log n(a_j)}{\log(\frac{1}{a_i}) - \log(\frac{1}{a_j})}, \quad (1)$$

где i, j – порядковые номера повторов алгоритма, для которых выполняется $i \neq j$; $n(a_i), n(a_j)$ – количество квадратов, которые содержит изображение; a_i, a_j – это ширины сторон квадрата [8].

Для исследования были использованы реальные маммограммы женщин разного возраста с разной степенью выраженности патологий. Были взяты изображения в формате png с цветовой моделью RGB. Расчет фрактальной размерности выполнялся по формуле (1) для части, которая вызывала подозрение на наличие микрокальцинатов или новообразований.

На рис. *а, б* приведено пример частей маммограмм с наличием и отсутствием патологий соответственно. В правой части рис. *а* видно скопления белых точек – микрокальцинатов.



а

б

Рис. *а* – часть маммограммы, содержащая скопление микрокальцинатов;
б – часть маммограммы без патологий

Рассчитанные значения фрактальной размерности для рис *а* и *б* составляют соответственно 0.938 и 0.556, что показывает наличие дифференциации между фрактальной размерностью для изображений здоровых и больных тканей.

В табл. 1 приведено фрактальные размерности большого количества образцов.

Таблица 1

Фрактальная размерность частей маммограмм

Тип образца	образец 1	образец 2	образец 3	образец 4
ФР изображения без патологий	0.559	0.559	0.463	0.463
ФР изображения с патологией	0.901	0.938	1.026	1.086

Анализ фрактальной размерности здоровых и пораженных тканей молочной железы показал, что фрактальная размерность здоровой ткани находится в диапазоне от 0 до ~ 0.6 , а фрактальная размерность изображений с патологиями – в диапазоне от 0.8 до 2.

Также, проведенные исследования показали, что существует зависимость между диагностической точностью расчета фрактальной размерности и размером изображения, которое исследуется. Из результатов, которые приведено в табл. 2, можно сделать выводы о том, что исследование отдельных частей маммограмм дает более точный результат расчета фрактальной размерности и имеют большую диагностическую ценность.

Таблица 2

Фрактальная размерность частей маммограмм в зависимости от размера

№ образца	Размер 800×960 px		Размер 800×480 px	
	Без патологий	С патологией	Без патологий	С патологией
1	0.559	0.901	0.542	0.870
2	0.463	1.026	0.312	0.976

Выводы: проведенные расчеты показывают дифференцирование значений фрактальной размерности для маммографических изображений, содержащих микрокальцинаты, и без видимых патологий, что показывает целесообразность дальнейших исследований возможности использования фрактальной размерности в качестве диагностической характеристики.

В ходе проведения исследований были найдены параметры, которые могут улучшить качество результатов, полученных с помощью фрактального анализа.

Список литературы. 1. Униан. Всеукраинский день борьбы с раком молочной железы [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://health.unian.net/cancer/415347-vseukrainskiy->

den-borbyi-s-rakom-molochnoy-jelezzyi-bolshe-vsego-onkobolnyih-jenschin-v-vostochnyih-regionah.html **2.** Landini G. Fractal dimensions of the epithelial-connective tissue interfaces in premalignant and malignant epithelial lesions of the floor of the mouth / G. Landini, J.W. Rippin // Anal. Quant. Cytol. Histol. – 1993. – Vol. 15. – P. 144-149. **3.** Hemsley A. Multifractal measures for tissue image classification and retrieval / A. Hemsley, R. Mukundan // In Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Multimedia. – 2009. – P. 618-623. **4.** Guo Q. A novel approach to mass abnormality detection in mammographic images / Q. Guo, V. Ruiz, J. Shao, F. Guo // In Proceedings of the IASTED International Conference on Biomedical Engineering. – Innsbruck. – 2005. – P. 180-185. **5.** Caldwell C.B. Characterisation of mammographic parenchymal pattern by fractal dimension / C.B. Caldwell, S.J. Stapleton, D.W. Holdsworth, R.A. Jong, W.J. Weiser, G. Cooke // Phys Med Biol. – 1990. – P. 35-47. **6.** Hausdorff dimension [электронный ресурс]. Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Hausdorff_dimension. **7.** Lia Jian An improved box-counting method for image fractal dimension estimation / Jian Lia, Qian Dub, Caixin Suna // Pattern Recognition. – 2009. – № 42. – P. 2460-2469. **8.** Fractal Explorer. Calculating Fractal Dimension [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.wahl.org/fe/HTML_version/link/FE4W/c4.htm

Bibliography (transliterated): **1.** Unian. Vseukrainskij den' bor'by s rakom molochnoj zhelezzy [jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://health.unian.net/cancer/415347-vseukrainskij-den-borbyi-s-rakom-molochnoy-jelezzyi-bolshe-vsego-onkobolnyih-jenschin-v-vostochnyih-regionah.html> **2.** Landini G. Fractal dimensions of the epithelial-connective tissue interfaces in premalignant and malignant epithelial lesions of the floor of the mouth / G. Landini, J.W. Rippin // Anal. Quant. Cytol. Histol. – 1993. – Vol. 15. – P. 144-149. **3.** Hemsley A. Multifractal measures for tissue image classification and retrieval / A. Hemsley, R. Mukundan // In Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Multimedia. – 2009. – P. 618-623. **4.** Guo Q. A novel approach to mass abnormality detection in mammographic images / Q. Guo, V. Ruiz, J. Shao, F. Guo // In Proceedings of the IASTED International Conference on Biomedical Engineering. – Innsbruck. – 2005. – P. 180-185. **5.** Caldwell C.B. Characterisation of mammographic parenchymal pattern by fractal dimension. / C.B. Caldwell, S.J. Stapleton, D.W. Holdsworth, R.A. Jong, W.J. Weiser, G. Cooke // Phys Med Biol. – 1990. – P. 35-47. **6.** Hausdorff dimension [elektronnij resurs]. Rezhim dostupa: http://en.wikipedia.org/wiki/Hausdorff_dimension **7.** Jian Lia. An improved box-counting method for image fractal dimension estimation / Jian Lia, Qian Dub, Caixin Suna // Pattern Recognition. – 2009. – № 42. – S. 2460-2469. **8.** Fractal Explorer. Calculating Fractal Dimension [jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.wahl.org/fe/HTML_version/link/FE4W/c4.htm

Поступила (received) 31.03.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. ХТУ "ХПИ" Можжаев А.А.

Povoroznyk Anatoly, Dr.Sci.Tech, Professor
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-60-19, e-mail: ai.povoroznjuk@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-2499-2350

Emelyanova Tonya, Magister
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (+38066) 895-48-39, e-mail: tonya.emelyanova@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-4456-6930

УДК 528.835:519.876.5:004.032.26

О.В. ПОЛЯРУС, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ХНАДУ, Харків,
А.О. ПОДОРОЖНЯК, канд.техн.наук, с.н.с., НТУ "ХПІ",
А.О. КОВАЛЬ, асп., ХНАДУ, Харків

ДИНАМІЧНА НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

На основі використання нейромережових алгоритмів розроблена динамічна нейромережева модель первинного перетворювача, яка здатна адаптувати свої динамічні параметри під умови проведення вимірювань. Приведені результати математичного моделювання роботи запропонованої нейромережевої моделі первинного вимірювального перетворювача. Лл.: 6. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: первинний перетворювач, математичне моделювання, нейромережева модель.

Постановка проблеми. Динамічний режим вимірювань характеризується такою зміною вимірюваної величини за час проведення вимірювального експерименту, яка може впливати на результат вимірювання. Внаслідок цього, у теорії динамічних вимірювань найбільше значення мають дві проблеми: відновлення вимірюваного сигналу, динамічно спотвореного засобом вимірювання, і аналіз динамічної похибки. Раніше, у роботах [1 – 4], були розглянуті моделі вимірювальних перетворювачів, що дозволяють відновити спотворений сигнал і одержати оцінку похибки вимірювань. У таких моделях вимірювальних перетворювачів настроювані параметри суттєво зменшують динамічну похибку вимірювань. Однак лінійні методи управління настроюваними параметрами моделі перетворювача за своїми можливостями мають обмеження. Використання більш ефективних методів відновлення динамічно спотворених сигналів (рішення оберненої задачі в метрології) вимагає комплексного підходу до вирішення поставлених проблемних питань. Одним із таких підходів є використання нейронних мереж для розробки динамічних моделей первинних вимірювальних перетворювачів.

Аналіз останніх публікацій і досягнень. Розглянемо існуючі методи розв'язання оберненої задачі. У ряді робіт обернена задача вирішується як задача статистичного оцінювання, наприклад, за критерієм максимальної правдоподібності [1, 2]. У цій постановці безперервний оператор апроксимують дискретним оператором, а функціонал визначають на дискретній множині як функцію, що є

© О.В. Полярус, А.О. Подорожняк, А.О. Коваль, 2014

зворотню до функції правдоподібності.

У роботах [1 – 4] запропонований метод статистичної регуляризації при рішенні оберненої задачі. Метод вимагає знання законів розподілу вимірюваного сигналу й перешкод, що є досить жорстким обмеженням.

У роботах [5, 6] обернена задача розглядається як компенсація динамічних складових похибки вимірювання. Розв'язується задача синтезу алгоритму визначення вимірюваного сигналу по зареєстрованій реалізації вихідного сигналу датчика. Синтез алгоритму зроблений, виходячи з умови мінімуму середнього квадрата сигналу похибки, спектральні щільності якого задаються своїми верхніми й нижніми межами на кожній частоті. Отримані і проаналізовані рішення задачі синтезу фільтра при нестационарному характері вхідного впливу й неточному завданні імпульсної характеристики. Однак зменшення апіорної інформації й збільшення похибки приводить до того, що ступінь компенсації динамічної похибки зменшується.

Мета статті – обґрунтування структурної схеми динамічної нейромережевої моделі вимірювального перетворювача.

Динамічна модель первинного вимірювального перетворювача. У загальному випадку передатна функція (ПФ) первинного вимірювального перетворювача $W_s(p)$ описується наступним лінійним рівнянням [7]:

$$W_s(p) = K_0 \cdot \frac{\prod_{i=1}^{m_1} (T_{2i}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_{2i} \cdot T_{2i} \cdot p + 1) \cdot \prod_{i=m_1+1}^{m_2} (T_{2i} \cdot p + 1)}{\prod_{j=1}^{n_1} (T_{1j}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_{1j} \cdot T_{1j} \cdot p + 1) \cdot \prod_{j=m_1+1}^{n_2} (T_{1j} \cdot p + 1)}, \quad (1)$$

де p – комплексна змінна; K_0 – статичний коефіцієнт підсилення; T_{1j} , T_{2i} – постійні часу датчика; ξ_{1j} , ξ_{2i} – коефіцієнти демпфування.

Ступінь чисельника m , ступінь знаменника (порядок) n і ступінь q ПФ датчика визначаються, відповідно, наступним чином:

$$m = m_1 + m_2, \quad n = n_1 + n_2, \quad q = n - m = n_1 - m_1 + n_2 - m_2. \quad (2)$$

Розглянемо задачу одержання дискретної моделі датчика, що описується за допомогою безперервної ПФ (1). Для розв'язання даної задачі скористаємося здатністю нейронних мереж (НМ) в процесі

навчання підстроювати свої вагові коефіцієнти під заданий цільовий вихід при наявності конкретного входу [8]. Дана здатність НМ дозволяє визначати значення параметрів дискретної ПФ датчика на основі інформації про його реакції на заданий вхідний вплив.

Нейромережева динамічна модель датчика. Представимо ПФ (1) датчика у вигляді залежності:

$$W_s(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{b_m \cdot p^m + b_{m-1} \cdot p^{m-1} + b_{m-2} \cdot p^{m-2} + \dots + b_1 \cdot p + b_0}{p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + a_{n-2} \cdot p^{n-2} + \dots + a_1 \cdot p + a_0}, \quad (3)$$

де $U(p)$, $Y(p)$ – зображення по Лапласу, відповідно вхідного та вихідного сигналів датчика; $b_i = b_i(T_{2j}, \xi_{2j}, K_0)$ – коефіцієнти, що залежать від постійних часу та коефіцієнтів демпфування елементарних кіл, що становлять чисельник ПФ (1) датчика, і статичного коефіцієнта підсилення, $i = \overline{0, m}$, $j = \overline{1, m_2}$; $a_i = a_i(T_{1j}, \xi_{1j})$ – коефіцієнти, що залежать від параметрів елементарних кіл, що становлять знаменник ПФ (1) датчика, $i = \overline{0, n-1}$, $j = \overline{0, n_2}$.

Дискретний аналог безперервної ПФ (1) запишемо у вигляді:

$$W_s(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{\beta_0 + \beta_1 \cdot z^{-1} + \beta_2 \cdot z^{-2} + \dots + \beta_{n-1} \cdot z^{-n+1} + \beta_n \cdot z^{-n}}{1 - \alpha_1 \cdot z^{-1} - \alpha_2 \cdot z^{-2} - \dots - \alpha_{n-1} \cdot z^{-n+1} - \alpha_n \cdot z^{-n}}, \quad (4)$$

де $U(z)$, $Y(z)$ – z -перетворення, відповідно, вхідного та вихідного сигналів датчика, $\beta_i = \beta_i(b_0, \dots, b_m, a_0, \dots, a_{n-1}, T)$, $\alpha_j = \alpha_j(b_0, \dots, b_m, a_0, \dots, a_{n-1}, T)$ – коефіцієнти, які залежать від коефіцієнтів ПФ (3) датчика та періоду квантування T , $i = \overline{0, n}$, $j = \overline{1, n}$.

Різницеве рівняння, що відповідає дискретній ПФ (4) датчика, запишеться у вигляді

$$u(k) = y(k) - \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot y(k-i) = \sum_{j=0}^n \beta_j \cdot y(k-j), \quad (5)$$

де $u(k)$, $y(k)$ – відліки, відповідно, вхідного й вихідного сигналів датчика із ПФ (1) у дискретні моменти часу $t_k = k \cdot T$, $k = 0, 1, 2, \dots$. Зв'язок між виходом і входом дискретної моделі датчика представимо у вигляді рекурентного відношення, що отримується з виразу (5):

$$y(k) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot y(k-i) + \sum_{j=0}^n \beta_j \cdot y(k-j) + u(k). \quad (6)$$

Значення параметрів дискретної моделі (4) можна визначити на основі лінійної нейромережевої моделі датчика, структурна схема якої приведена на рис. 1.

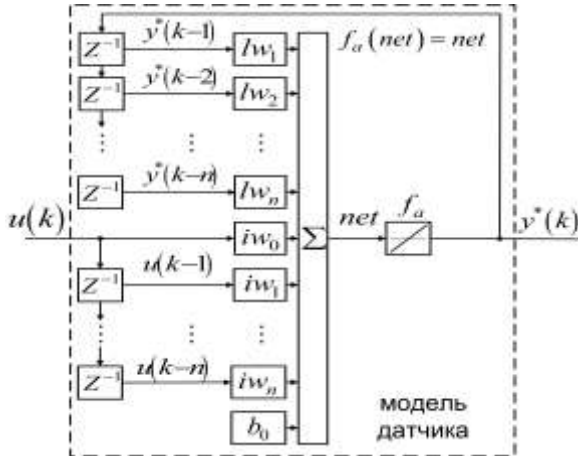


Рис.1. Структурна схема нейромережевої моделі первинного вимірювального перетворювача

Зазначена модель являє собою рекурентну нейронну мережу, що складається з одного нейрона з лінійною функцією активації $f_a(net)$ та нульовим зсувом b_0 . При цьому структура даної моделі повністю відповідає виразу (6).

Рекурентне рівняння, що визначає зв'язок між входом і виходом нейромережевої моделі датчика, запишеться у вигляді:

$$y^*(k) = f_a(net) = net = \sum_{i=1}^n lw_i \cdot y^*(k-i) + \sum_{j=0}^n iw_j \cdot u(k-j), \quad (7)$$

де $y^*(k)$ – відліки вихідного сигналу нейромережевої моделі в дискретні моменти часу $t_k = k \cdot T$, $k = 0, 1, 2, \dots$; $u(k-j)$, $y^*(k-i)$ – відліки, відповідно, вхідного сигналу датчика й вихідного сигналу

нейромережевої моделі в попередні дискретні моменти часу $t_{k-1} = (k-1) \cdot T$; lw_i , iw_j – настроювані вагові коефіцієнти нейромережевої моделі датчика, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{0, n}$.

При відповідному способі формування вхідної і цільової навчальних послідовностей, який відображає зв'язок між входом і виходом дискретної моделі датчика, вагові коефіцієнти нейромережевої моделі можуть бути настроєні в процесі її навчання таким чином, що при заданому рівні точності (що не перевищує машинну точність обчислень і округлень проміжних результатів) відліки вихідного сигналу нейромережевої моделі дорівнюють відповідним дискретним відлікам вихідного сигналу датчика із ПФ (1). При цьому зазначена можливість впливає з лінійності й відповідності дискретної та нейромережевої моделей датчика.

Таким чином, якщо в результаті навчання нейромережевої моделі датчика, відліки її вихідного сигналу дорівнюють відповідним дискретним відлікам вихідного сигналу датчика із ПФ (1), то значення настроєних параметрів нейромережевої моделі будуть значеннями параметрів дискретної моделі (4) датчика. Отже, у якості критерію навчання розглянутої моделі необхідно вибрати функцію похибки між бажаним і реальним виходом нейромережевої моделі первинного вимірювального перетворювача.

Результати математичного моделювання. Для ілюстрації можливостей запропонованої нейромережевої моделі первинного вимірювального перетворювача було проведено математичне моделювання в програмному середовищі Matlab.

Як приклад був розглянутий датчик радіометричної температури, що має ПФ виду:

$$W_S(p) = \frac{1}{(T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_1 \cdot T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}, \quad (8)$$

де $T_1 = 50$ с, $T_2 = 25$ с – постійні часу датчика, $\xi_1 = 0.7$ – коефіцієнт демпфування.

Графіки сигналів, відліки яких використовуються як навчальні послідовності, наведено на рис. 2. Значення довжини навчальних послідовностей – $N = 540$, при цьому були задані наступні значення: періоду квантування – $T = 1$ с і параметра $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-3}$, який визначає довжину навчальних послідовностей N .

Графік зміни похибки навчання E нейромережевої моделі датчика залежно від кількості циклів (epoch) навчання приведено на рис. 3. У якості алгоритму навчання був використаний алгоритм Левенберга-Марквардта [2], при цьому після 100 epoch навчання значення похибки склало $7.6 \cdot 10^{-7}$.

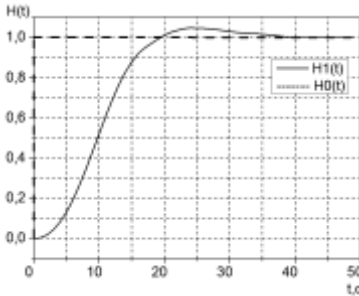


Рис. 2. Приклади реалізацій сигналів для навчання нейромережевої моделі датчика

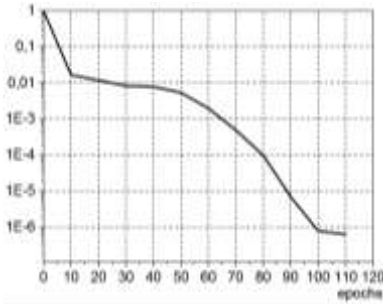


Рис. 3. Графік зміни похибки навчання залежно від кількості циклів (epoch) навчання

На основі виразів (4) і (7) з урахуванням отриманого значення похибки навчання нейромережевої моделі датчика, дискретний аналог неперервної ПФ (8) можна представити у наступному вигляді:

$$W(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{iw_0 + iw_1 \cdot z^{-1} + iw_2 \cdot z^{-2} + iw_3 \cdot z^{-3}}{1 - lw_1 \cdot z^{-1} - lw_2 \cdot z^{-2} - lw_3 \cdot z^{-3}}. \quad (9)$$

У результаті проведеного процесу навчання були отримані наступні значення параметрів нейромережевої моделі датчика, а отже, і значення параметрів дискретної ПФ (9): $iw_0 = 2.622 \cdot 10^{-6}$; $iw_1 = 1.031 \cdot 10^{-5}$; $iw_2 = 2.534 \cdot 10^{-6}$; $iw_3 = -2.227 \cdot 10^{-17}$; $lw_1 = 2.933$; $lw_2 = -2.867$; $lw_3 = 9.343 \cdot 10^{-1}$.

Логарифмічні частотні характеристики неперервної (8) і отриманої дискретної (9) моделей датчика наведено на рис. 4. Очевидна близькість даних характеристик дозволяє зробити висновок про відповідність між собою двох розглянутих моделей датчика.

Для оцінки точності отриманої дискретної моделі датчика необхідно порівняти між собою реакції моделей (8) і (9) на один і той же вхідний вплив відмінний від вхідної навчальної послідовності. У якості такого

впливу був використаний імпульсний сигнал у вигляді періоду квадрата синусоїди $u(t) = \sin^2(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ із частотою $f = 0.4$ Гц.

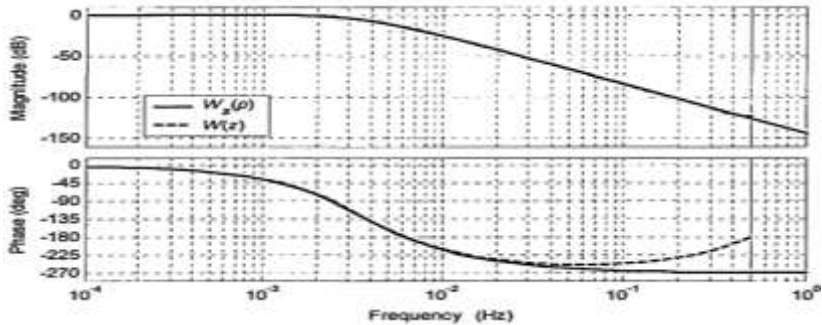


Рис. 4. Логарифмічні амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики нейромережевої моделі перетворювача

Графіки вхідного $u(t)$ і вихідного $y(t)$ сигналів неперервної моделі датчика приведено на рис. 5. Графік сигналу похибки між неперервною й дискретною моделями датчика у вигляді різниці реакцій зазначених моделей на один і той же вплив, наведено на рис. 6.

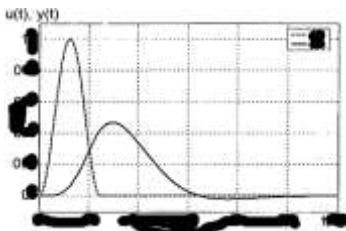


Рис. 5. Графіки вхідного і вихідного сигналів неперервної моделі датчика

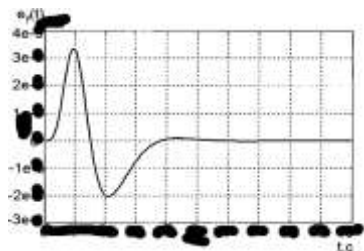


Рис. 6. Графік сигналу похибки між виходами неперервної і дискретної нейромережевої моделі датчика

При цьому, як видно з рис. 6, амплітуда сигналу похибки не перевищує значення $4 \cdot 10^{-3}$, що свідчить про відповідність у термінах "вхід-вихід" неперервної та отриманої дискретної моделей датчика.

Висновки. Розроблена динамічна дискретна нейромережева модель первинного вимірювального перетворювача, яка адекватна неперервній моделі даного перетворювача. В якості міри адекватності була вибрана

різниця реакцій зазначених моделей на один і той же вплив, яка за результатами моделювання не перевищує значення $4 \cdot 10^{-3}$. При довжині навчальних послідовностей $N = 540$ і періоду квантування $T = 1$ с похибка навчання динамічної нейромережевої моделі первинного вимірювального перетворювача після 100 епох навчання становить $7.6 \cdot 10^{-7}$.

Отримані результати можуть бути корисні при дослідженнях і проектуванні інтелектуальних первинних вимірювальних перетворювачів та інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем.

Список літератури: 1. *Korbicz J.* Artificial neural networks in fault diagnosis of dynamical systems / *J. Korbicz* // Proc. IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering. – 2010. – P. 449. 2. *Materassi D.* Reconstruction of topologies for acyclic networks of dynamical systems / *D. Materassi* // Proc. of the American Control Conference. – 2011. – P. 37-41. 3. *Tan P.V.* A contribution to the identification of switched dynamical systems over finite fields / *P.V. Tan, G. Millérioux, J. Daafouz* // Proc. 49th IEEE Conference on Decision and Control. – 2010 – P. 4429-4434. 4. *Cessac B.* Neural Networks as dynamical systems / *B. Cessac* // International Journal of Bifurcations and Chaos. – 2010. – № 6 (20). – P. 1585-1629. 5. *Gonzalez C.* Instance-based learning: integrating sampling and repeated decisions from experience // *C. Gonzalez, V. Dutt* // Psychol. Rev. – 2011. – № 4 (118). – P. 523-551. 6. *Gonzalez C.* A loser can be a winner: comparison of two instance-based learning models in a market entry competition / *C. Gonzalez, V. Dut, T. Lejarraga* // Games. – 2011. – № 2. – P. 136-162. 7. *Коваль А.О.* Лінійна нейромережева динамічна вимірювальна система з послідовним відновленням і фільтрацією вхідного сигналу датчика / *А.О. Коваль* // Вісник національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 53. – С. 84-89. 8. *Подорожняк А.О.* Нейросетевые технологии в прогнозировании телекоммуникационного трафика / *А.О. Подорожняк* // Системы обработки информации. – Харків: ХУ ПС. – 2007. – Вип. 4 (62). – С. 93-96.

Bibliography (transliterated): 1. *Korbicz J.* Artificial neural networks in fault diagnosis of dynamical systems / *J. Korbicz* // Proc. IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering. – 2010. – P. 449. 2. *Materassi D.* Reconstruction of topologies for acyclic networks of dynamical systems / *D. Materassi* // Proc. of the American Control Conference. – 2011. – P. 37-41. 3. *Tan P.V.* A contribution to the identification of switched dynamical systems over finite fields / *P.V. Tan, G. Millérioux, J. Daafouz* // Proc. 49th IEEE Conference on Decision and Control. – 2010 – P. 4429-4434. 4. *Cessac B.* Neural Networks as dynamical systems / *B. Cessac* // International Journal of Bifurcations and Chaos. – 2010. – № 6 (20). – P. 1585-1629. 5. *Gonzalez C.* Instance-based learning: integrating sampling and repeated decisions from experience // *C. Gonzalez, V. Dutt* // Psychol. Rev. – 2011. – № 4 (118). – P. 523-551. 6. *Gonzalez C.* A loser can be a winner: comparison of two instance-based learning models in a market entry competition / *C. Gonzalez, V. Dut, T. Lejarraga* // Games. – 2011. – № 2. – P. 136-162. 7. *Koval' A.O.* Linijna nejromerezheva dinamichna vimirjuval'na sistema z poslidovnim vidnovlennjam i fil'traciju vhidnogo signalu datchika / *A.O. Koval'* // Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu "HPI". – Harkiv: NTU "HPI". – 2011. – № 53. – S. 84-89. 8. *Podorozhnyak A.O.* Nejrosetevye tehnologii v prognozirovanii telekommunikacionnogo trafika / *A.O. Podorozhnyak* // Sistemi obrobki informacii. – Harkiv: HU PS. – 2007. – Vip. 4 (62). – S. 93-96.

Статтю представив д-р техн. наук, проф. ХНАДУ Нефьодов Л.І.

Надійшла (received) 31.03.2014

Poliarus Olexander, Dr.Sci.Tech, Professor
Kharkiv National Automobile and Highway University
Str. Petrovskogo, 25, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 700-38-66, e-mail: polyarus.Kharkiv@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0003-4976-9964

Podorozhniak Andrii, Ph.D, associate Professor
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-00-00, e-mail: andpod2@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-6688-8407

Koval Andrii, postgraduate student,
Kharkiv National Automobile and Highway University
Str. Petrovskogo, 25, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 700-38-66, e-mail: andrey.koval.79@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-8457-126X

УДК 004.89, 004.93

К.А. РУЧКИН, канд. физ.-мат. наук, доц., ГВУЗ "ДонНТУ", Донецк,
Е.А. ШЕВЧЕНКО, асп., ГВУЗ "ДонНТУ", Донецк

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОБЩЕННОГО 3D ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА

В данной работе продолжены исследования, связанные с повышением эффективности обобщенного преобразования Хафа для поиска нескольких сферических поверхностей по заданному трехмерному массиву точек в пространстве. Предложен способ распараллеливания работы алгоритма для ускорения его работы на многоядерных персональных компьютерах. Наибольшую эффективность данный подход показывает вместе с каскадным преобразованием. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: 3D преобразование Хафа, каскадное преобразование, распараллеливание работы алгоритма.

Постановка проблемы. Задача детектирования простых геометрических фигур на изображении является одной из широко известных задач автоматизированной обработки изображений. С этой задачей достаточно успешно справляется преобразование Хафа. Классический алгоритм Хафа был предназначен для нахождения прямой на изображении, но позже он был обобщен и на другие геометрические фигуры. Теперь его можно применять для обнаружения произвольных как параметризуемых объектов (например, эллипсов, окружностей, парабол), так и не параметризуемых объектов (с произвольной формой). По сути алгоритм Хафа является алгоритмом поиска и подбора параметров, значения которых в дискретном пространстве поиска будут соответствовать параметрам исходной модели. Однако чрезмерная дискретизация пространства или увеличение количества объектов поиска существенно увеличивают время работы алгоритма, делая его неэффективным. Эта проблема является одной из актуальных проблем и в настоящее время. Для ее решения предложены различные модификации по уменьшению и сокращению пространства поиска, основанные на вероятностных характеристиках пространства поиска.

В последнее время все чаще появляются различные обобщения преобразования Хафа на трехмерный случай. Однако при поиске трехмерных объектов увеличивается размерность аккумуляторного массива, что снова приводит к увеличению времени работы алгоритма. Повышению эффективности работы трехмерного преобразования Хафа за счет использования многопоточного подхода посвящена эта работа.

Анализ литературы. Исследованием преобразования Хафа занимались многие ученые. Отметим работы [1 – 6].

Преобразование Хафа в классическом виде, проблемы реализации в мультипроцессорных системах, а также особенности реализации на графических процессорах (GPU) описаны в [2]. Приведены иллюстрации работы метода, а также описан более обобщённый алгоритм распознавания произвольного образа.

В работе [3] обсуждается новый метод распознавания окружностей с помощью измененного преобразования Хафа. В основе метода лежит идея сокращения трехмерного накопительного массива (для распознавания окружности нужны 3 параметра) до двух двумерных, что позволяет несколько сократить объем вычислений и значительно экономить оперативную память. Также обсуждается процесс реализации распараллеливания данного алгоритма с помощью машины MIMD (сеть реконфигурируемых транспьютеров) и сравнение этой реализации по скорости выполнения со стандартным подходом.

В работе [4] обсуждается процесс нахождения произвольного объекта на изображении с помощью быстрого обобщенного преобразования Хафа, используя распараллеливание с помощью ресурсов GPU (применяя технологию CUDA). Рассмотрены основные проблемы распараллеливания, испытаны несколько вариантов реализации (максимальное распараллеливание или максимизирование времени владения общими ресурсами). Приведена таблица и сравнительные графики для каждого метода, предложены методы уплотнения, сортировки, репликации памяти, которые помогают оптимизировать разработанный алгоритм.

В статье [5] описано применение преобразования Хафа для поиска окружностей на изображении. Автором в базовый алгоритм были внесены некоторые изменения, которые позволили значительно ускорить обработку изображения и заполнение аккумуляторного массива, что, в свою очередь, в несколько раз ускорило алгоритм. Главными направлениями оптимизации стали распараллеливание некоторых этапов вычислений и уменьшение в несколько раз исходного изображения.

В [6] изложены сведения о параллельном программировании с использованием технологии OpenMP для современных параллельных высокопроизводительных вычислительных систем с общей памятью.

Цель статьи – повышение эффективности использования обобщенного преобразования Хафа за счет распараллеливания алгоритма и использования мультипоточного подхода.

Классическое преобразование Хафа использует преобразование координат точек искомого объекта в точки накопительного пространства. Преобразование Хафа для поиска любого объекта как на плоскости (изображении), так и в пространстве можно коротко описать следующими шагами.

1. Выбор размерности накопительного пространства и его создание.
2. Выбор количества промежуточных значений при переводе точек из декартовой плоскости в накопительное пространство.
3. Перевод каждой граничной точки изображения (пространства) из декартовой системы в накопительное пространство.
4. Поиск максимума в накопительном пространстве.
5. Восстановление координат и размеров искомого объекта по найденному максимуму.

Наиболее ресурсоемким шагом является третий. Если посчитать сложность этого шага для поиска прямой на изображении, то выйдет следующая зависимость:

$$S = K \cdot N \cdot R, \quad (1)$$

где S – рассчитываемая сложность; K – количество граничных точек; N – количество промежуточных углов прямой к оси OX (шаг угла в алгоритме); R – количество промежуточных расстояний перпендикуляра до центра координат (шаг расстояния в алгоритме).

В более простом виде эту зависимость можно выразить как $S = K \cdot N^2$, если $N = R$. Для более сложных фигур эта зависимость будет ещё более ресурсоемкой. Например, при поиске окружности её можно записать в виде $S = K \cdot A \cdot B$, где A, B – размеры окрестности по осям X и Y , в пределе которой ищется радиус.

То есть увеличение количества граничных точек приводит к полиномиальному увеличению сложности работы алгоритма и увеличению времени его работы.

Методы оптимизации алгоритма. Ускорение работы (уменьшение времени работы) классического алгоритма можно выполнить несложными способами [7 – 9].

1. Уменьшение количества точек исходной выборки.
2. Уменьшение количества промежуточных вычислений (например, увеличение шага угла и шага расстояния при поиске линии).
3. Распараллеливание некоторых веток алгоритма.

Первый вариант был успешно исследован и описан как вероятностное преобразование Хафа. Суть метода состоит в том, чтобы случайным образом выбрать определенный процент граничных точек из

исходной выборки и уже по этим точкам провести исследование. То есть пропорционально уменьшению количества точек будет расти скорость алгоритма. Экспериментальным путем N. Kiryati и др. [7] было выяснено, что для достаточно больших выборок эффективность этого метода была уже при 2% отобранных точек из общего их числа. С другой стороны, в методе есть некоторый недостаток, и состоит он в проблеме вычисления этого необходимого минимального процента [8]. То есть, чтобы подобрать процент правильно, мы должны знать характер данных выборки (зашумленность, количество точек и т.п.). Если же пользоваться универсальным правилом выбора процентного соотношения, то это не даст достаточного прироста быстродействия.

Второй вариант так же может успешно применяться. Но, во-первых, при значительном увеличении шага мы уже не сможем достаточно точно обнаружить координаты искомого объекта, в некоторых крайних случаях это становится практически невозможно и шаг приходится уменьшать. Во-вторых, не разработано универсального алгоритма, позволяющего определить оптимальный шаг с точки зрения эффективного нахождения объекта и скорости его выполнения.

Третий вариант является одним из наиболее интересных и перспективных. Он не обладает недостатками двух предыдущих (не теряется точность вычислений с уменьшением выборки и не нужно подбирать эффективный шаг) и его эффективность зависит только от аппаратной части оборудования, на котором он будет выполняться. Но у этого метода есть свои сложности на этапе реализации [9].

Распараллеливание обобщённого преобразования Хафа. Опишем реализацию распараллеливания метода для поиска сферы в трехмерном пространстве. Для поиска произвольных объектов эту методику можно так же успешно применять.

В случае поиска сферы с помощью преобразования Хафа, алгоритм можно представить в следующем виде (радиус сферы постоянный):

1. *Задать точность вычислений (количество промежуточных углов) при поиске точек сферы $U1$, $U2$.*

2. *Задать радиус искомой сферы R_s .*

3. *Задать количество точек M облака данных, в котором ищется объект.*

4. *Создать массив облака точек данных $Data[M][3]$.*

5. *Заполнить массив $Data[M][3]$.*

6. *Задать размерность аккумуляторного массива – Ax , Ay , Az .*

7. *Создать аккумуляторный массив центров сфер – $Acum[Ax][Ay][Az]$.*

8. Обнулить аккумуляторный массив $Acum[Ax][Ay][Az]$.

9. Цикл по всем точкам облака данных d от 1 до M с шагом 1:

 Цикл по всем углам $AngleAlpha$ от 0 до PI с шагом $PI/U1$:

 Цикл по всем углам $AngleBeta$ от 0 до $2*PI$ с шагом $2*PI/U2$:

$LXc = Data[d][1] + Rs * \sin(AngleAlpha) * \cos(AngleBeta)$;

$LYc = Data[d][2] + Rs * \sin(AngleAlpha) * \sin(AngleBeta)$;

$LZc = Data[d][3] + Rs * \cos(AngleAlpha)$;

$Acum[LXc][LYc][LZc] = Acum[LXc][LYc][LZc] + 1$;

 Конец цикла по углу $AngleBeta$;

 Конец цикла по углу $AngleAlpha$;

Конец цикла по всем точкам облака данных.

15. В аккумуляторном массиве $Acum[Ax][Ay][Az]$ найти ячейку с наибольшим значением.

16. По индексам i, j, k найденной ячейки $Acum[i][j][k]$ восстановить координаты центра сферы:

$Xs = i$; $Ys = j$; $Zs = k$.

18. Отобразить найденную сферу в пространстве.

Как видно, наиболее интересным с точки зрения распараллеливания является девятый шаг. Наиболее сложными проблемами в процессе распараллеливания алгоритма являются такие.

1. Поиск операций, которые можно распараллелить.

2. Выбор ресурсов, которые должны использоваться по отдельности каждым независимым потоком.

3. Проблема использования общих ресурсов.

Так как процесс создания параллельных потоков достаточно ресурсоемкий, то его было решено использовать минимум раз. В связи с этим распараллеливание применимо к самому верхнему циклу девятого шага, то есть граничные точки разделены поровну между потоками. В связи с этим все локальные ресурсы (углы – $AngleAlpha$, $AngleBeta$, шаг углов, переменные LXc , LYc , LZc) были выделены отдельно каждому потоку. Алгоритм может быть распараллелен на любое количество потоков, но не большее чем количество точек. С практической точки зрения, наибольшая эффективность алгоритма будет в том случае, когда количество потоков программы будет соответствовать количеству процессорных ядер вычислительной машины.

Наиболее важным вопросом оказалось использование общих ресурсов. В данном случае это был накопительный трехмерный массив. В связи с этим были исследованы два возможных варианта его использования.

1. Создание для каждого потока своего накопительного массива с целью предотвращения проблем одновременного доступа к ячейке. После выполнения всех потоков соответствующие ячейки каждого из массивов складываются и заносятся в главный накопительный массив.

2. У всех потоков накопительный массив – общий ресурс. Используя ограничения на одновременный доступ можно использовать этот общий ресурс. Но в данном случае если одновременно двум потокам нужно будет записать значение в одну ячейку массива, то один из них будет ожидать, пока второй выполнит операцию.

У каждого из методов были выявлены свои достоинства и недостатки. У первого метода можно выделить следующие особенности.

1) Неэффективное использование оперативной памяти. Пропорционально увеличению потоков увеличивается её использование. Это так же ограничивает использование данного алгоритма на ПК с малым объемом оперативной памяти.

2) Требуется некоторое время на выделение памяти и её освобождение.

3) Требуется время на объединение результатов.

4) Нет проблем одновременного доступа к одной ячейке.

У второго метода выявлены следующие особенности.

1) Количество занимаемой оперативной памяти практически равно обычному линейному алгоритму (за исключением дополнительного выделения для некоторых независимых ресурсов).

2) После завершения работы потоков накопительный массив не требует постобработки.

3) Время на выделение и освобождение памяти не увеличивается по сравнению с линейным алгоритмом.

4) Возможны задержки внутри потоков из-за одновременного доступа к одной ячейке накопительного пространства.

Результаты исследования отображены в сравнительной табл. 1. Тестирование проводилось на компьютере с такими характеристиками: операционная система – Windows 7 SP1 64bit, процессор – AMD Phenom II 4 ядра по 3.4 GHz, 4GB RAM. Как видно, использование своего накопительного массива для каждого потока выявилося неоправданным. Даже с ростом объема выборки этот метод так и не смог догнать метод с использованием общего накопительного массива. Таким образом, согласно исследованию можно сделать вывод, что задержки времени на выделение дополнительных ресурсов (памяти) всегда больше, чем задержки, связанные с одновременным доступом к общему ресурсу. Также негативным фактором является использование первым методом огромного количества оперативной памяти. Так если

второму алгоритму при его работе выделяется не более 500 МБ оперативной памяти (накопительный массив 500·500·500, тип данных – long integer), то для первого случая необходимо в 4 раза больше памяти (при использовании 4 параллельных потоков).

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности работы алгоритмов при поиске сферы в облаке точек

Кол-во элементов (точек пространства)	Время выполнения (сек.)		
	1 поток	4 потока (отдельные накопительные массивы)	4 потока (общий накопительный массив)
500	4,74	5,57	1,59
1000	9,3	6,73	2,76
10000	94,4	29,7	26,28
15000	128,33	39,22	36,63
20000	171	51,6	46,67

На рис. отображены данные из табл. 1. Согласно им можно сделать вывод, что наблюдается нелинейная зависимость времени выполнения от размера входящей выборки. Так же наблюдается нелинейная зависимость производительности от количества потоков выполнения, но с одной оговоркой. Если количество потоков программы больше чем, количество возможных параллельных потоков процессора, то роста производительности не наблюдается, а может наблюдаться даже некоторое замедление (до нескольких десятков миллисекунд).

Выводы. Практические исследования в области применения многопоточных вычислений в преобразовании Хафа показали хорошие результаты, значительно увеличив скорость выполнения алгоритма. Особенно это актуально в связи с ростом в ПК количества вычислительных ядер. Для оптимизации базового алгоритма в работе рассмотрены различные модификации преобразования Хафа. Рассмотрена применимость для поиска различного типа объектов. Разработан метод распараллеливания некоторых ветвей алгоритма, позволяющего ускорить алгоритм на многоядерных процессорах. Также улучшен метод поиска нескольких сфер в одном накопительном пространстве.

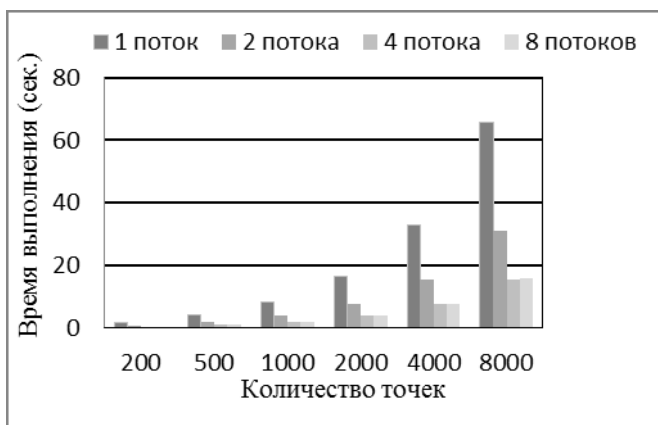


Рис. Зависимость времени выполнения программы от размера выборки и количества потоков

Разработано ПО, которое позволяет находить в облаке точек трехмерного пространства одну или несколько сфер за счет многопоточного режима. Среди недостатков данного ПО можно отметить необходимость ручного ввода радиуса искомой сферы. Среди достоинств можно отметить возможность загрузки произвольного файла данных и удобный, интуитивно понятный интерфейс.

Также положительной стороной исследуемого алгоритма распараллеливания является его применимость к разным вариантам обобщенного преобразования Хафа. Этот алгоритм может быть оптимизирован и для поиска линий, окружностей, и для произвольных объектов. Применение мультипоточных вычислений для вероятностного преобразования Хафа ещё больше ускорит работу алгоритма по сравнению с классическим преобразованием Хафа.

Список литературы: 1. Tuytelaars Tinne The Cascaded Hough Transform / Tinne Tuytelaars, Marc Proesmans, Luc Van Gool. – Esat Mi. – 1998 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.45.2686>. 2. Van den Braak Fast Hough transform on GPUs: exploration of algorithm trade-offs / G.J. Van den Braak, C. Nugteren, B. Mesman, H. Corporaal // Springer, Advances Concepts for Intelligent Vision Systems, Lecture Notes in Computer Science. – 2011. – Vol. 6915. – P. 611-622. 3. Chan R. New parallel Hough transform for circles / R. Chan, W. C. Siu // IEE PROCEEDINGS-E. – 1991. – Vol. 138. – № 5. – P. 335-344. 4. Gomez-Luna Juan Parallelization of the Generalized Hough Transform on GPU / Juan Gomez-Luna, Jose Maria Gonzalez-Linares, Jose Ignacio Benavides, Emilio L. Zapata, Nicolas Guil. – XXII Jornadas de Paralelismo, 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jp2011.pcg.ull.es/sites/jp2011.pcg.ull.es/files/Load.pdf> 5. Денисюк В.С. Применение и оптимизация преобразования Хафа для поиска объектов на изображении / В.С. Денисюк

// Межд. конгресс по информатике: информационные системы и технологии: Мат. межд. научного конгресса 31 окт. – 3 нояб. 2011 г.: в 2 ч. Ч. 2. – Минск: БГУ, 2011. – С. 162-165. **6. Антонов А.С.** Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 77 с. **7. Kiryat N.** A probabilistic Hough transform / *N. Kiryat, Y. Eldar, A.M. Bruckstein* // Pattern Recognition. – 1991. – Vol 24. – Issue 4. – P. 303-316. **8. Matas J.** Progressive Probabilistic Hough Transform / *J. Matas, C.Galambos, J. Kittler* // British Machine Vision Conference. – London, 1998. – Vol. 1. – P. 256-265. **9. Khoshelham K.** Extending Generalized Hough Transform to detect 3D objects in laser range data / *K. Khoshelham* // IAPRS. – 2007. – Vol. XXXVI. – Part 3. – P. 206-210. **10. Ручкин К.А.** Метод обнаружения окружностей в пространстве по трехмерному массиву данных / *К.А. Ручкин* // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: Мат. межд. научной конференции // Херсонский НТУ. – Херсон, 2012. – С. 405-406.

Bibliography (transliterated): **1. Tuytelaars Tinne** The Cascaded Hough Transform / *Tinne Tuytelaars, Marc Proesmans, Luc Van Gool*. – Esat Mi. – 1998 // [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.45.2686>. **2. Van den Braak G.J.** Fast Hough transform on GPUs: exploration of algorithm trade-offs / *G.J. Van den Braak, C. Nugteren, B. Mesman, H. Corporaal* // Springer, Advances Concepts for Intelligent Vision Systems, Lecture Notes in Computer Science. – 2011. – Vol. 6915. – R. 611-622. **3. Chan R.** New parallel Hough transform for circles / *R. Chan, W. C. Siu* // IEE PROCEEDINGS-E. – 1991. – Vol. 138. – № 5. – P. 335-344. **4. Gomez-Luna Juan** Parallelization of the Generalized Hough Transform on GPU / *Juan Gomez-Luna, Jose Maria Gonzalez-Linares, Jose Ignacio Benavides, Emilio L. Zapata, Nicolas Guil*. – XXII Jornadas de Paralelismo, 2011. [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupa: <http://jp2011.pcg.ull.es/sites/jp2011.pcg.ull.es/files/Load.pdf> **5. Denisjuk V.S.** Primenenie i optimizacija preobrazovaniya Hafa dlja poiska ob'ektov na izobrazhenii / *V.S. Denisjuk* // Mezhd. kongress po informatike: informacionnye sistemy i tehnologii: Mat. mezhd. nauchnogo kongressa 31 okt. – 3 nojab. 2011 g.: v 2 ch. Ч. 2. – Minsk: BGU, 2011. – С. 162-165. **6. Antonov A.S.** Parallel'noe programmirovaniye s ispol'zovaniem tehnologii OpenMP: Uchebnoye posobie. – M.: Izd-vo MGU, 2009. – 77 s. **7. Kiryat N.** A probabilistic Hough transform / *N. Kiryat, Y. Eldar, A.M. Bruckstein* // Pattern Recognition. – 1991. – Vol 24. – Issue 4. – P. 303-316. **8. Matas J.** Progressive Probabilistic Hough Transform / *J. Matas, C.Galambos, J. Kittler* // British Machine Vision Conference. – London, 1998. – Vol. 1. – P. 256-265. **9. Khoshelham K.** Extending Generalized Hough Transform to detect 3D objects in laser range data / *K. Khoshelham* // IAPRS. – 2007. – Vol. XXXVI. – Part 3. – P. 206-210. **10. Ruchkin K.A.** Metod obnaruzheniya okruzhnostej v prostranstve po trehmernomu massivu dannyh / *K.A. Ruchkin* // Intellektual'nye sistemy prinjatija reshenij i problemy vychislitel'nogo intellekta: Mat. mezhd. nauchnoj konferencii // Hersonskij NTU. – Herson, 2012. – S. 405-406.

Поступила (received) 25.03.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. БелГУ Корсунов Н.И.

Ruchkin Konstantin., Ph.D., Associate Professor
Donetsk National Technical University
Str. Artema, 58, Donetsk, Ukraine, 83001
tel./phone: (062) 342-91-21, e-mail: C_ruchkin@mail.ru

Shevchenko Evgeniy, assistant
Donetsk National Technical University
Str. Artema, 58, Donetsk, Ukraine, 83001
tel./phone: (062) 342-91-21, e-mail: sheva_aka_sea@mail.ru

УДК 004.832.34

І.С. СКАРГА-БАНДУРОВА, канд. техн. наук, доц., ТІ СНУ
ім. В. Даля, Сєверодонецьк

ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ДО ПОЄДНАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЙ ДОВІРИ

Стаття присвячена теоретичним аспектам обґрунтування рішень при наявності конкуруючих гіпотез. В контексті задач дослідження розглянуті особливості прийняття рішень з використанням структур довіри. Виділена проблема конфліктів, яка є невіршуваною в класичній моделі. Удосконалена модель прийняття рішень шляхом використання додаткової процедури їх комбінунання. Табл.: 1. Бібліогр.: 28 назв.

Ключові слова: поєднання невизначеностей, гіпотеза, прийняття рішень, структура довіри, модель.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Більшість моделей прийняття рішень, заснованих на функціях довіри, містять виявлення суб'єктивних даних від групи експертів на основі якісних переваг. Враховуючи, що однією з основних причин використання груп є припущення, що в поєднанні судження групи перевершує особисті судження, то питання синтезу, оцінки та досягнення консенсусу стають актуальними. У загальному випадку процес вилучення знань містить урахування індивідуальних невизначеностей експертів, невідповідності їх думок і комбінунання рішень для досягнення консенсусу. На завершальному етапі, коли потрібно узагальнити всі судження, звичайна роз'єднаність в значній мірі ускладнює прийняття остаточного рішення.

Незважаючи на значну кількість академічних робіт [1 – 10] і глибокі методологічні розробки основних концепцій теорії прийняття рішень, на сьогоднішній день ряд рішень все ще потребує теоретичного обґрунтування. До таких рішень відносять вибір в умовах невизначеності, темпоральний (межчасовий) вибір, вибір при наявності конкуруючих гіпотез та комплексні рішення.

У теорії прийняття рішень підхід на основі доказових міркувань (evidential reasoning approach) являє собою методологію аналізу множинних атрибутів рішення, що враховують як кількісні, так і якісні критерії в умовах невизначеності, включаючи неосвіченість і випадковість [11 – 13]. Пояснення ситуацій при цьому проводиться на підставі поточної інформації і ступеня впевненості в ній, а ступінь довіри і висновки можуть змінюватися залежно від накопиченої інформації [14].

При цьому аргументація являє собою пізнавальну процедуру прийняття гіпотез, або абдукції. Неформально абдукція окреслюється знаходженням кращого пояснення отриманим даним [15], тобто необґрунтованим (unsound) правилом виводу і, отже, висновок не обов'язково є істиною для кожної інтерпретації, при якій істинні передумови [16]. Більш формально, абдукція це пошук припущень G , які в поєднанні з деякою теорією T досягають деякого набору цілей, не викликаючи певних протиріч [17, 18].

Найчастіше завдання абдукції розглядається як задача знаходження множини мінімальних пояснень спостережуваних подій на основі наявних знань і обмежень для представлення результатів [15, 19, 20]. Формалізація абдукції засобами двозначної логіки предикатів першого порядку виглядає наступним чином [21]:

Нехай D – множина спостережуваних фактів, T – деяка задана теорія, G – множина гіпотез. Тоді множина висловлювань E називається абдуктивним поясненням D , якщо і тільки якщо для нього виконуються наступні умови: E міститься в G , з об'єднання T і E виводиться D , T і E – несуперечливі.

Таким чином, завдання отримання абдуктивного пояснення зводиться до знаходження E . Дане завдання передбачає, що спочатку для отримання пояснення (апріорної оцінки) використовується вже наявна інформація (статистичні та експериментальні дані, або експертні оцінки). Потім апріорна оцінка об'єднується з новою інформацією.

Отримана оцінка може об'єднувати інформацію загального характеру, різні припущення і судження, висловлені експертами, а також дані, що стосуються безпосередньо розглянутого об'єкта. На цьому етапі виникає проблема об'єднання припущень і конкуруючих гіпотез, яка в ряді випадків може бути ефективно вирішена за допомогою теорії функції довіри Демпстера-Шафера [22, 23].

Мета роботи – розробка підходу до автоматичного комбінування гіпотез з використанням функцій довіри.

Особливості класичної моделі довіри. Структура довіри Демпстера-Шафера визначена в просторі X , що складається з набору n ненульових підмножин $B_j, j = 1, \dots, n$, званих фокальними елементами і відображення m (basic belief assignment), званого основною функцією призначення ймовірностей, мірою довіри [16] або масою ймовірності [24], визначеної як:

$$m: 2^X \rightarrow [0,1],$$

такої, що

$$\sum_{j=1}^n m(B_j) = 1, \quad \forall B_j \subseteq X,$$

$$m(A) = 0, \quad \forall A \neq B_j.$$

Модель структури довіри [13] є розподіленою оцінкою з рівнями довіри для представлення ефективності альтернативи за обраним критерієм. Припустимо, що критерій оцінюється повним набором можливих ситуацій з n оцінними класами, $H = \{H_1; H_2; \dots, H_j; \dots, H_n\}$, де H_j це j -й оцінний клас.

Без втрати спільності, передбачається, що H_n переважніше за H_{n+1} . Дана оцінка для критерію c математично може бути представлена у вигляді наступного розподілу:

$$S(c) = \{F(H_j, m(B_j))\}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

де $m(B_j) \geq 0$, $\sum_{j=1}^N m(B_j) \leq 1$.

Функція (1) означає, що критерій c оцінюється для класу H_n з рівнем довіри $m(B_j)$. Оцінка $S(c)$ є повною, якщо $\sum_{j=1}^N m(B_j) = 1$ і неповною, якщо

$\sum_{j=1}^N m(B_j) < 1$. Особливим випадком є $\sum_{j=1}^N m(B_j) = 0$, який являє собою

повне ігнорування критерію c .

Зі структурами довіри, традиційно, асоційовані дві міри – Pls (plausibility) і Bel (belief) [23].

Міра Pls визначається як $Pls : 2^X \rightarrow [0, 1]$, така, що:

$$Pls(A) = \sum_{A \cap B_j \neq \emptyset} m(B_j).$$

Аналогічно, міра довіри Bel визначається як $Bel : 2^X \rightarrow [0, 1]$, така, що:

$$Bel(A) = \sum_{B_j \subseteq A} m(B_j).$$

Bel являє собою точну підтримку *A*, у той час як *Pls* являє собою можливу підтримку *A*. За допомогою цих мір можливе представити інтервал довіри *A* у вигляді $[Bel(A), Pls(A)]$. Даний інтервал розглядається відповідно як нижній і верхній рівні довіри *A*.

Модель Шафера визначає розрізнявальний фрейм Θ , як простір всіх можливих рішень. Правило Демпстера дозволяє для кожної сукупності вихідних підмножин (фокальних елементів) на всій множині вихідних даних сформулювати результуючі підмножини і обчислити для них ступені впевненості (комбіновані міри довіри (маси ймовірності)). Правило Демпстера є універсальним для комбінування гіпотез *X*, *Y* і виконується шляхом ортогонального підсумовування відповідних їм мір довіри m_1 і m_2 :

$$m_{12}(A) = \frac{\sum_{X \cap Y = A} m_1(X) m_2(Y)}{1 - k_{12}}, \quad (2)$$

де

$$k_{12} = \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X) m_2(Y). \quad (3)$$

Основною проблемою використання даного підходу при проектуванні автоматизованих систем підтримки прийняття рішень є наявність нормувального фактору $(1 - k_{12})$, який повністю ігнорує конфлікти.

Практично, при k_{12} рівному одиниці, правило комбінування свідочств (2) математично не визначається.

Поєднання невизначеностей з використанням функцій довіри.

Для вирішення даної проблеми було розглянуто ряд моделей комбінування гіпотез: Дюбуа, Лефевра, Мерфі, Сметс і Ягера [25 – 28]. В результаті запропоновано використовувати комбінацію модифікацій свідочств Лефевра і Ягера, застосовуючи наступну процедуру:

1. Розраховується загальна кількість конфліктів щодо кон'юнктивного консенсусу по (3), де $X, Y \in 2^\Theta$.

2. Здійснюється комбінування гіпотез на підмножині розрізняльного фрейму $(A \neq \emptyset) \subseteq \Theta$ з відповідним набором коефіцієнтів $\varpi_m(A) \in [0, 1]$:

$$m(\emptyset) = \varpi_m(\emptyset) k_{12},$$

$$m(A) = \sum_{X \cap Y = A} m_1(X)m_2(Y) + \varpi_m(A)k_{12},$$

де $\forall (A \neq \emptyset) \in 2^\Theta$ і $\sum_{A \subseteq \Theta} \varpi_m(A) = 1$.

Використання даної процедури дозволяє представити правило комбінації, вибравши певний набір коефіцієнтів.

3. Проводиться розрахунок за правилом Ягера, шляхом вибору $\varpi_m(\Theta) = 1$ і $\varpi_m(A \neq \Theta) = 0$:

$$m(A) = \sum_{X \cap Y = A} m_1(X)m_2(Y),$$

$$m(\Theta) = m_1(\Theta)m_2(\Theta) + \sum_{X \cap Y = A} m_1(\Theta)m_2(\Theta) = \varpi(\Theta) + \varpi(\emptyset), \text{ якщо } A = \Theta,$$

де $\forall A \in 2^\Theta$, $A \neq \emptyset$.

Наприклад, для наборів $\{s_1, s_2, s_4\}$, $\{s_2, s_3, s_4\}$, $\{s_2, s_4\}$ можливі перетини фокальних елементів $X_1 \cap Y_2$, $X_1, Y_2 \subseteq \Theta$ представлені у табл.

Таблиця

Можливі перетини фокальних елементів X, Y

$m_1(X) \backslash m_2(Y)$		$m_1(x_1)$	$m_1(x_2)$	$m_1(x_3)$
		$\{s_1, s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_3, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$
$m_2(y_1)$	$\{s_1, s_2, s_4\}$	$\{s_1, s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$
$m_2(y_2)$	$\{s_2, s_3, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_3, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$
$m_2(y_3)$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$

$$m(\{s_1, s_2, s_4\}) = m_1(x_1) \cdot m_2(y_1),$$

$$m(\{s_2, s_3, s_4\}) = m_1(x_2) \cdot m_2(y_2),$$

$$m(\{s_2, s_4\}) = m_1(x_2) \cdot m_2(y_1) + m_1(x_3) \cdot m_2(y_1) + m_1(x_1) \cdot m_2(y_2) + m_1(x_3) \cdot m_2(y_2) + m_1(x_1) \cdot m_2(y_3) + m_1(x_2) \cdot m_2(y_3) + m_1(x_3) \cdot m_2(y_3).$$

Висновки. Представлено задачу обґрунтування рішень при наявності конкуруючих гіпотез. Запропоновано об'єднану процедуру комбінації гіпотез з використанням модифікацій свідочств Лефевра і Ягера. Даний підхід дозволяє представити проблему конфліктів принципово вирішуваною для алгоритмізації та подальшого використання в автоматизованих системах підтримки прийняття рішень.

- Список літератури 1.** Демидова Л.А. Принятие решений в условиях неопределенности / Л.А. Демидова, В.В. Кираковский, А.Н. Пылькин. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2012. – 288 с. **2.** Катулев А.Н. Математические методы в системах поддержки принятия решений / А.Н. Катулев, Н.А. Северцев. – М.: Высшая школа, 2005. – 312 с. **3.** Есиков О.В. Модели и методы поддержки принятия решений / О.В. Есиков, А.С. Кислицын, В.Г. Кузнецов, А.В. Пружинин – М.: Радиотехника, 2010. – 192 с. **4.** Петровский А.Б. Теория принятия решений / А.Б. Петровский. – М.: Академия, 2009. – 400 с. **5.** Саати Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Т.Л. Саати. – М.: Либроком, 2011. – 360 с. **6.** Chen Z. Computational intelligence for decision support / Z. Chen // The CRC Press, 2000. – 400 p. **7.** Cruz J. Constraint reasoning for differential models / J. Cruz // IOS Press, 2005. – 244 p. **8.** Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели: моногр. / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Соколова, В.Е. Ходаков; под ред. Э.Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д.С., 2013. – 284 с. **9.** Phillips-Wren G. Intelligent decision making Studies in Computational Intelligence // G. Phillips-Wren, N. Ichalkaranje – 2008. – Vol. 97. – 424 p. **10.** Power D.J. Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers / D.G. Power. – Praeger, 2002. – 272 p. **11.** Srivastava R.P. An Introduction to Evidential Reasoning for Decision Making under Uncertainty: Bayesian and Belief Functions Perspectives / R.P. Srivastava // International Journal of Accounting Information Systems. – 2010. – Vol. 12. – P. 126-135. **12.** Liu X.-B. Evidential Reasoning Approach for MADA under Group and Fuzzy Decision Environment / X.-B. Liu, Mi Zhou, J.-B. Yang // Advances in Intelligent Decision Technologies Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2010. – Vol. 4. – P. 209-214. **13.** Yang J.B. The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties / J.B. Yang, Y.M. Wang, D.L. Xu, K.S. Chin // European Journal of Operational Research. – 2006. – Vol. 171. – P. 309-343. **14.** Skarga-Bandurova I. Belief Structure and Its Application to Critical Infrastructure Management / I. Skarga-Bandurova // XXIII Int. Conf. Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2014). – K.: Taras Shevchenko National Univ. of Kyiv, 2014. – P. 41. **15.** Inoue K. Discovering rules by meta-level abduction / K. Inoue, K. Furukawa, I. Kobayashi, and H. Nabeshima // 19th International Conference, ILP 2009 Leuven, Belgium, July 02-04, 2009 Revised Papers. – 2009. – P. 49-64. **16.** Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: Стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / Д.Ф. Люгер. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2003. – 864 с. **17.** Eshghi K. A tractable class of abductive problems / K. Eshghi // In Proc. IJCAI'93. – 1993. – Vol. 1. – P. 3-8. **18.** Stickel M.E. Upside-down meta-interpretation of the model elimination theorem-proving procedure for deduction and abduction / M.E. Stickel // Journal of Automated Reasoning. – 1994. – 13 (2). – P. 189-210. **19.** Inductive logic programming: 19th International Conference, ILP 2009 / L. De Raedt (Ed.). – Belgium: Springer. – 2010. – 257 p. **20.** Tamaddoni-Nezhad A. Application of abductive ILP to learning metabolic network inhibition from temporal data / A. Tamaddoni-Nezhad, R. Chaleil, A. Kakas, S. Muggleton // Machine Learning. – 2006. – Vol. 65. – P. 209-230. **21.** Конверський А.Є. Логіка: підручн. для студентів юридичн. факульту / А.Є. Конверський. – К.: Центр навч. літерат., 2004. – 304 с. **22.** Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping // Ann. Math. Stat. – 1967. – Vol. 38. – P. 325-339. **23.** Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence / G. Shafer. – Princeton University Press, Princeton, 1976. – 314 p. **24.** Коваленко И.И. Методы экспертного оценивания сценариев: учеб. пособие / И.И. Коваленко, А.В. Швед. – Николаїв: ЧДУ ім. П. Могили, 2012. – 156 с. **25.** Dubois D. Representation and combination uncertainty with belief functions and possibility measures / D. Dubois, H. Prade // Computation Intelligence. – 1988. – Vol. 4. – P. 244-264. **26.** Lefevre E. Belief functions combination and conflict management / E. Lefevre, O. Colot, P. Vannooorenberghie // Information Fusion. – 2002. – Vol. 3 (2). – P. 149-162. **27.** Murphy C. Combining belief functions when evidence conflicts / C. Murphy // Decision support systems. – 2000. – Vol. 29. – P. 1-9. **28.** Smets P. The transferable belief model / P. Smets, R. Kennes // Pattern analysis and Machine Intelligence. – 1994. – Vol. 66 (2). – 191-234.

- Bibliography (transliterated):** 1. *Demidova L.A.* Prinjatje reshenij v uslovijah neopredelennosti / *L.A. Demidova, V.V. Kirakovskij, A.N. Pyl'kin.* – M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2012. – 288 s. 2. *Katulev A.N.* Matematicheskie metody v sistemah podderzhki prinjatija reshenij / *A.N. Katulev, N.A. Severcev.* – M.: Vysshaja shkola, 2005. – 312 s. 3. *Esikov O.V.* Modeli i metody podderzhki prinjatija reshenij / *O.V. Esikov, A.S. Kislicyn, V.G. Kuznecov, A.V. Pruzhinin* – M.: Radiotekhnika, 2010. – 192 s. 4. *Petrovskij A.B.* Teorija prinjatija reshenij / *A.B. Petrovskij.* – M.: Akademiya, 2009. – 400 s. 5. *Saati L.* Prinjatje reshenij pri zavisimostjakh i obratnyh svyazjah. Analiticheskie seti / *T.L. Saati.* – M.: Librokom, 2011. – 360 s. 6. *Chen Z.* Computational intelligence for decision support / *Z. Chen* // The CRC Press, 2000. – 400 p. 7. *Cruz J.* Constraint reasoning for differential models / *J. Cruz* // IOS Press, 2005. – 244 p. 8. *Vvedenie v normativnuju teoriju prinjatija reshenij. Metody i modeli:* monogr. / *V.V. Krjuchkovskij, Je.G. Petrov, N.A. Sokolova, V.E. Hodakov; pod red. Je.G. Petrova.* – Herson: Grin' D.S., 2013. – 284 s. 9. *Phillips-Wren G.* Intelligent decision making Studies in Computational Intelligence // *G. Phillips-Wren, N. Ichalkaranje.* – 2008. – Vol. 97. – 424 p. 10. *Power D.J.* Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers / *D.G. Power.* – Praeger, 2002. – 272 p. 11. *Srivastava R.P.* An Introduction to Evidential Reasoning for Decision Making under Uncertainty: Bayesian and Belief Functions Perspectives / *R.P. Srivastava* // International Journal of Accounting Information Systems. – 2010. – Vol. 12. – P. 126-135. 12. *Liu X.-B.* Evidential Reasoning Approach for MADA under Group and Fuzzy Decision Environment / *X.-B. Liu, Mi Zhou, J.-B. Yang* // Advances in Intelligent Decision Technologies Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2010. – Vol. 4. – P. 209-214. 13. *Yang J.B.* The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties / *J.B. Yang, Y.M. Wang, D.L. Xu, K.S. Chin* // European Journal of Operational Research. – 2006. – Vol. 171. – P. 309-343. 14. *Skarga-Bandurova I.* Belief Structure and Its Application to Critical Infrastructure Management / *I. Skarga-Bandurova* // XXIII Int. Conf. Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2014). – K.: Taras Shevchenko National Univ. of Kyiv, 2014. – P. 41. 15. *Inoue K.* Discovering rules by meta-level abduction / *K. Inoue, K. Furukawa, I. Kobayashi, H. Nabeshima* // 19th International Conference, ILP 2009 Leuven, Belgium, July 02-04, 2009 Revised Papers. – 2009. – P. 49-64. 16. *Ljucer D.F.* Isskustvennyj intellekt: Strategii i metody reshenija slozhnyh problem. 4-e izd. / *D.F. Ljucer.* – M.: Izd. dom "Vil'jams", 2003. – 864 s. 17. *Eshghi K.* A tractable class of abductive problems / *K. Eshghi* // In Proc. IJCAI'93. – 1993. – Vol. 1. – P. 3-8. 18. *Stickel M.E.* Upside-down meta-interpretation of the model elimination theorem-proving procedure for deduction and abduction / *M.E. Stickel* // Journal of Automated Reasoning. – 1994. – 13 (2). – P. 189-210. 19. *Inductive logic programming: 19th International Conference, ILP 2009* / *L. De Raedt* (Ed.). – Belgium: Springer. – 2010. – 257 p. 20. *Tamaddoni-Nezhad A.* Application of abductive ILP to learning metabolic network inhibition from temporal data / *A. Tamaddoni-Nezhad, R. Chaleil, A. Kakas, S. Muggleton* // Machine Learning. – 2006. – Vol. 65. – P. 209-230. 21. *Konvers'kij A.C.* Logika: pidruchn. dlja studentiv juridichn. fakul't / *A.C. Konvers'kij.* – K.: Centr navch. literat., 2004. – 304 s. 22. *Dempster A.P.* Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping // Ann. Math. Stat. – 1967. – Vol. 38. – P. 325-339. 23. *Shafer G.* A Mathematical Theory of Evidence / *G. Shafer.* – Princeton University Press, Princeton, 1976. – 314 p. 24. *Kovalenko I.I.* Metody jekspertnogo ocenivannja scenarijev: ucheb. posobie / *I.I. Kovalenko, A.V. Shved.* – Mikolaiv: ChDU im. P. Mogili, 2012. – 156 s. 25. *Dubois D.* Representation and combination uncertainty with belief functions and possibility measures / *D. Dubois, H. Prade* // Computation Intelligence. – 1988. – Vol. 4. – P. 244-264. 26. *Lefevre E.* Belief functions combination and conflict management / *E. Lefevre, O. Colot, P. Vannoorenberghe* // Information Fusion. – 2002. – Vol. 3 (2). – P. 149-162. 27. *Murphy C.* Combining belief functions when evidence conflicts / *C. Murphy* // Decision support systems. – 2000. – Vol. 29. – P. 1-9. 28. *Smets P.* The transferable belief model / *P. Smets, R. Kennes* // Pattern analysis and Machine Intelligence. – 1994. – Vol. 66 (2). – 191-234.

Статтю представив д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп'ютерної інженерії Технологічного інституту ЧНУ ім. Даля Рязнцев О.І.

Надійшла (received) 04.07.2014

Skarga-Bandurova Inna, PhD, Associated Professor
Technological Institute of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl
Radyansky ave., 59-a, Siverodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400
tel./phone: (064) 522-89-97, e-mail: skarga_bandurova@ukr.net
ORCID ID: 0000-0003-3458-8730

РЕФЕРАТИ

ABSTRACTS

УДК 62-83:621.77

Багатокритеріальний синтез комбінованої стохастичної робастної системи сумісного регулювання товщини, натягу і петлі смуги в чистовій групі широкосмугового стану гарячої прокатки / Балюта С.М., Нікітіна Т.Б., Копилова Л.А., Татарченко М.О., Хоменко В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 4 – 14.

Розроблено метод багатокритеріального синтезу комбінованої стохастичної робастної системи сумісного регулювання товщини, натягу і петлі смуги в чистовій групі широкосмугового стану гарячої прокатки. Показано, що розроблена система забезпечує більш високу точність регулювання товщини, натягу і величини петлі смуги у порівнянні із існуючими системами. Ил.: 4. Бібліогр.: 18 назв.

Ключові слова: система сумісного регулювання товщини, натягу і петлі смуги, комбінована стохастична робастна система, багатокритеріальний синтез.

УДК 62-83:621.77

Многокритеріальний синтез комбінованої стохастичної робастної системи сумісного регулювання товщини, натягу і петлі смуги в чистовій групі широкополосного стану гарячої прокатки / Балюта С.М., Нікітіна Т.Б., Копилова Л.А., Татарченко М.О., Хоменко В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 4 – 14.

Розроблено метод багатокритеріального синтезу комбінованої стохастичної робастної системи сумісного регулювання товщини, натягу і петлі смуги в чистовій групі широкополосного стану гарячої прокатки. Показано, що розроблена система забезпечує більш високу точність регулювання товщини, натягу і величини петлі смуги у порівнянні із існуючими системами. Ил.: 4. Бібліогр.: 18 назв.

Ключевые слова: система сумісного регулювання товщини, натягу і петлі смуги, комбінована стохастична робастна система, багатокритеріальний синтез.

УДК 62-83:621.77

Multicriteria synthesis of combined stochastic robust system by co-regulation thickness, tension and loop strip finishing group broadband hot rolling mill / Balyuta S.M., Nikitina T.B., Kopilova L.A., Tatarchenko M.O., Khomenko V.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 4 – 14.

Developed a method for the multicriteria synthesis of combined stochastic robust system by co-regulation thickness, tension and loop strip finishing group broadband hot rolling mill. It is shown that the developed system allows greater control precision of thickness, tension and loop strip over the existing systems. Figs.: 4. Refs.: 18 titles.

Keywords: system by co-regulation thickness, tension and loop strips, combined stochastic system robust, multi-criteria synthesis.

УДК 579.2:573.3:577

Схемотехнічні особливості побудови діагностично-лікувальних приладів на основі мікроконтролерів PSoC / Барило Г.И., Вірт В.В., Готра З.Ю., Ивах М.С., Кожухар О.Т. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 15 – 21.

Проведено огляд засобів та електронних систем активного контролю лікувальних процедур під час їх проведення. Використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення, а також сучасний тип мікроконтролерів PSoC, розроблено дослідний взірець приладу, який дозволяє проводити неперервний контроль та корекцію лікувальної процедури. Іл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: схемотехнічні особливості, діагностично-лікувальні прилади, мікроконтролер, контроль та корекція лікувальних процедур.

УДК 579.2:573.3:577

Схемотехнические особенности построения диагностико-лечебных приборов на основе микроконтроллеров PSoC / Барыло Г.И., Вирт В.В., Готра З.Ю., Ивах М.С., Кожухар А.Т. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 15 – 21.

Проведен обзор средств и электронных систем активного контроля лечебных процедур во время их проведения. Используя специализированное программное обеспечение, а также современный тип микроконтроллеров PSoC, разработан исследовательский образец прибора, который позволяет проводить непрерывный контроль и коррекцию лечебной процедуры. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: схемотехнические особенности, диагностико-лечебные приборы, микроконтроллер, контроль и коррекция лечебных процедур.

UDC 579.2:573.3:577

Schematic features of diagnostic and therapeutic devices based microcontroller PSoC / Barylo G.I., Virt V.V., Hotra Z.Yu., Ivakh M.S., Kozhukhar O.T. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – №. 35 (1078). – P. 15 – 21.

An overview of electronic systems and active control of treatments during their execution. using specialized software and a modern type of PSoC microcontrollers developed research model of the device for the continuous monitoring of treatments which allows for continuous monitoring and correction of treatments. Figs.: 3. Refs.: 10 titles.

Keywords: schematic features, diagnostic and therapeutic devices, microcontroller, monitoring and correction of treatments.

УДК 519.87

Задача оптимального розміщення об'єктів інфраструктури автомобільних доріг загального користування / Д.С. Бірюков, О.В. Заславська // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ", 2014. – № 35 (1078). – С. 22 – 28.

В роботі розглядається формальна постановка задачі дискретної оптимізації спеціального виду, яка виникає при розміщенні об'єктів інфраструктури автомобільних доріг загального користування. Специфіка задачі та алгоритму її розв'язування пов'язана із властивостями цільової функції, наявністю булевих та цілочисельних змінних, нелінійних функцій в обмеженнях та інтервальних обмежень на значення цілочисельних змінних. Запропонована загальна схема декомпозиційного алгоритму розв'язування даної задачі. Ил.: 1. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: дискретна оптимізація, декомпозиційні алгоритми, цільова функція, розміщення об'єктів інфраструктури.

УДК 519.87

Задача оптимального размещения объектов инфраструктуры автомобильных дорог общего пользования / Д.С. Бирюков, Е.В. Заславская // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2014. – № 35 (1078). – С. 22 – 28.

В работе рассматривается формальная постановка задачи дискретной оптимизации специального вида, которая возникает при размещении объектов инфраструктуры автомобильных дорог общего пользования. Специфика задачи и алгоритма её решения связаны со свойствами целевой функции, наличием булевых и целочисленных переменных, нелинейными функциями в ограничениях и интервальными ограничениями на значения целочисленных переменных. Предложена общая схема декомпозиционного алгоритма решения данной задачи. Ил.: 1. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: дискретная оптимизация, декомпозиционные алгоритмы, целевая функция, размещение объектов инфраструктуры.

UDK 519.87

Optimal allocation problem for infrastructure objects of general use roads / D.S. Biriukov, O.V. Zaslavskaya // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 35 (1078). – P. 22. – 28.

In this article we consider formulation of discrete optimization problem of specific kind. The problem occurs when allocation of infrastructure objects of general use roads are considered. The specifics of the problem related to the properties of the objective function, use of Boolean and Integer variables, nonlinear functions in the restrictions and interval restrictions on Integer variables. The scheme of the decomposition algorithm for solving this problem is proposed. Figs.: 1. Refs.: 12 titles.

Keywords: discrete optimization, decomposition algorithm, objective function, allocation of infrastructure objects.

УДК 004.932:616-073.7

Розробка системи підтримки прийняття рішень у радіології для покращення візуалізації патологій / Бойко Д.О., Заможська О.О., Філатова Г.Є. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 29 – 34.

Обґрунтовано актуальність розробки та представлена структурна схема системи підтримки прийняття рішень в радіології для поліпшення візуалізації патологій на мамограмах. Описано автоматизоване робоче місце лікаря мамолога та підсистема підтримки прийняття рішень, інтерфейси, модулі системи та їх взаємодія між собою. Іл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, радіологія, візуалізація патологій.

УДК 004.932:616-073.7

Разработка системы поддержки принятия решений в радиологии для улучшения визуализации патологий / Бойко Д.О., Заможская Е.А., Филатова А.Е. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – №. 35 (1078). – С. 29 – 34.

Обоснована актуальность разработки и представлена структурная схема системы поддержки принятия решений в радиологии для улучшения визуализации патологий на маммограммах. Описаны автоматизированное рабочее место врача маммолога и подсистема поддержки принятия решений, интерфейсы, модули системы и их взаимодействие между собой. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, радиология, визуализация патологий.

UDC 004.932:616-073.7

The development of decision support systems in radiology for the improvement of the pathologies visualization / Boyko D. Zamozhska O., Filatova A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – №. 35 (1078). – P. 29 – 34.

This article presents the urgency of the development and the structural scheme of the decision support system in radiology to improve the pathologies visualization on mammograms. The workstation doctor mammalogy and decision support subsystem, interfaces, the modules, the systems and their interaction are described. Figs.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: decision support system, radiology, pathology visualization.

УДК 651.326

Адаптивні алгоритми фільтрації і зміни контрасту зображення / Бондіна Н.М., Мураров Р.Ю. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 35 – 42.

Розглянуто адаптивну фільтрацію на основі лінійних і медіанних алгоритмів, зміни розмірів апертури та вибору різних шаблонів. Приведено приклади видозміни гістограм на базі адаптивних алгоритмів. Обчислено об'єктивні оцінки для порівняння алгоритмів фільтрації адаптивними фільтрами. Ил.: 3. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: адаптивні алгоритми фільтрації, видозміни гістограми зображення, порівняння алгоритмів фільтрації.

УДК 651.326

Адаптивные алгоритмы фильтрации и изменения контраста изображения / Бондина Н.Н., Мураров Р.Ю. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 35 – 42.

Рассмотрена адаптивная фильтрация на основе линейных и медианных алгоритмов, изменения размеров апертуры и выбора различных шаблонов. Приведены примеры видоизменения гистограмм на базе адаптивных алгоритмов. Вычислены объективные оценки для сравнения алгоритмов фильтрации адаптивными фильтрами. Ил.: 3. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы фильтрации, видоизменения гистограммы изображения, сравнение алгоритмов фильтрации.

UDC 651.326

Adaptive algorithms of filtration and contrast changes of image / Bondina N.N., Murarov R.Yu. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 35 – 42.

The adaptive filtering, on the basis of linear and median algorithms, change of sizes of aperture or choice of different templates are considered. The examples of modification of histograms on the base of adaptive algorithms are resulted. The objective criteria of comparison of filtration algorithms by adaptive filters are got. Figs. 3. Tabl.: 1. Refs.: 9 titles.

Keywords: adaptive algorithms of the filtration, modification of image histogram, comparison algorithms of filtration.

УДК 658.012

Прогнозування корельованого тимчасового ряду по малій вибірці вихідних даних / Головка В.А., Ямен Хазім // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 43 – 47.

Розглянуто метод оцінки прогнозованого значення випадкового процесу, відліки якого корельовані. Виділення детермінованих поліноміальної і гармонійної складових спостережуваного процесу з урахуванням малого об'єму вибірки реальних статистичних даних здійснюється методом найменших квадратів. Розрахунок випадкової складової прогнозованого значення виконаний з використанням значення кореляційної функції, відповідного інтервалу між спостереженнями процесу. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: корельований тимчасовий ряд, мала вибірка, прогнозування.

УДК 658.012

Прогнозирование коррелированного временного ряда по малой выборке исходных данных / Головка В.А., Ямен Хазим // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 43 – 47.

Рассмотрен метод оценки прогнозируемого значения случайного процесса, отсчеты которого коррелированы. Выделение детерминированных полиномиальной и гармонической составляющих наблюдаемого процесса с учетом малого объема выборки реальных статистических данных осуществляется методом наименьших квадратов. Расчет случайной составляющей прогнозируемого значения выполнен с использованием значения корреляционной функции, соответствующего интервалу между наблюдениями процесса. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: коррелированный временной ряд, малая выборка, прогнозирование.

UDC 651.326

Prediction correlated time series small sample basic data / Golovko V.A., Yamen Hazim // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – №. 35 (1078). – P. 43 – 47.

Considered the method of assessing the predicted value of a random process, which counts correlated. Isolation deterministic polynomial and harmonic components of the observed process, taking into account the small sample size of real statistical data provided by the least squares method. Calculation of the random component of the predicted value is made using the value of the correlation function corresponding to the interval between the observations of the process. Refs.: 8 titles.

Keywords: correlated time series, small sample, prediction.

УДК 004.93'1

Побудова модифікацій і аналіз властивостей структурного опису при розпізнаванні зображень / Гороховатський В.О., Власенко Н.В., Полякова Т.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078) – С. 48 – 58.

Обговорюються принципи побудови, трансформації і властивості модифікацій для структурних описів зображень у вигляді множини характерних ознак. Наведені результати експериментів з оцінювання достовірності та завадостійкості запропонованих методів, які в плані достовірності і швидкодії краще відомих методів. Ил.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: характерна ознака, структурний опис, трансформація, достовірність, завадостійкість.

УДК 004.93'1

Построение модификаций и анализ свойств структурных описаний при распознавании изображений / Гороховатский В.А, Власенко Н.В., Полякова Т.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 48 – 58.

Обсуждаются принципы построения, трансформации и свойства модификаций для структурных описаний изображений в виде множества характерных признаков. Приведены результаты экспериментов по оцениванию достоверности и помехозащищенности предложенных методов, которые в плане достоверности и быстродействия лучше известных методов. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: характерный признак, структурное описание, трансформация, достоверность, помехозащищенность

UDC 004.93'1

Formation of modifications and properties analysis of structural description in image recognition/ Gorokhovatskiy V.A., Vlasenko N.V., Poliakova T.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 48 – 58.

The principles of formation, transformation and modifications property for the structural descriptions of images as a set of features are discussed in article. The experimental results on estimation of reliability and noise immunity proposed methods are adduced, that in terms of reliability and performance is better known methods. Figs.: 2. Refs.: 8 titles.

Keywords: feature, structural description, transformation, reliability, noise immunity.

УДК 681.5

Розробка програмних засобів для автоматизації перетворень нелінійних систем до еквівалентних лінійних систем у формі Бруновського / Дмитрієнко В.Д., Заковоротний О.Ю., Нестеренко А.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 59 – 72.

Для пакета Matlab розроблена програма, що автоматизує перетворення нелінійних систем до еквівалентного лінійного вигляду за допомогою засобів геометричної теорії керування. Виконано синтез лінійної математичної моделі руху дизель-поїзда в канонічній формі Бруновського. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: форма Бруновського, перетворення нелінійних систем, геометрична теорія керування, математична модель руху дизель-поїзда.

УДК 681.5

Разработка программных средств для автоматизации преобразований нелинейных систем к эквивалентным линейным системам в форме Бруновского / Дмитриенко В.Д., Заковоротный А.Ю., Нестеренко А.О. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 59 – 72.

Для пакета Matlab разработана программа, автоматизирующая преобразование нелинейных систем к эквивалентному линейному виду с помощью средств геометрической теории управления. Выполнен синтез линейной математической модели движения дизель-поезда в канонической форме Бруновского. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: форма Бруновского, преобразование нелинейных систем, геометрическая теория управления, математическая модель движения дизель-поезда.

UDC 681.5

Developing software tools that automate the conversion nonlinear systems to equivalent linear system in form Brunovsky / Dmitrienko V.D., Zakovorotnyi A.Y., Nesterenko A.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 59 – 72.

Matlab package for a program that automates the transformation of nonlinear systems to the equivalent linear form by means of geometric control theory. Synthesis was carried out in a linear mathematical model diesel train traffic in canonical form Brunovsky. Refs.: 13 titles.

Keywords: form Brunovsky, transformation of nonlinear systems, geometric control theory, mathematical model diesel train traffic.

УДК 004.932.72

Про стійкість потайливого субполосного впровадження інформації в зображення до впливу шуму / Жиляков Є.Г., Черноморець А.А., Болгова Е.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 73 – 79.

У роботі показано перевагу потайливого субполосного впровадження інформації в підобласті просторових частот зображення-контейнера в стійкості (а також за обсягом впроваджуваної інформації) до впливу адитивного шуму різної інтенсивності в порівнянні з методом відносної заміни коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення. Ил.: 1. Табл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: субполосне впровадження, стійкість, адитивний шум, коефіцієнти дискретного косинусного перетворення.

УДК 004.932.72

Об устойчивости скрытного субполосного внедрения информации в изображение к воздействию шума / Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 73 – 79.

В работе показано преимущество скрытного субполосного внедрения информации в подобласти пространственных частот изображения-контейнера в устойчивости (а также по объему внедряемой информации) к воздействию аддитивного шума различной интенсивности по сравнению с методом относительной замены коэффициентов дискретного косинусного преобразования. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: субполосное внедрение, устойчивость, адитивный шум, коэффициенты дискретного косинусного преобразования.

UDC 004.932.72

On noise stability of secretive subband data embedding in the image / Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 73 – 79.

The paper shows the advantage of secretive subband data embedding in the image-container subareas of spatial frequency in stability (as well as in volume of the embedding information) to the effects of varying intensity additive noise in comparison with the method of replacing the Discrete Cosine Transform coefficients. Figs.: 1. Tabl.: 2. Refs.: 8 titles.

Keywords: subband implementation, stability, additive noise, discrete cosine transform coefficients.

УДК 004.93

Спрощення транзакційних баз даних на основі чітких продукцій
/ Зайко Т.А., Олійник А.О., Субботін С.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 80 – 86.

Розглянуто завдання спрощення транзакційних баз даних. Запропоновано метод скорочення баз транзакцій на основі чітких продукцій. Розроблений метод дозволяє виключити неінформативні ознаки та надлишкові екземпляри з заданих масивів даних, що в свою чергу дозволяє знизити структурну та параметричну складність синтезованих діагностичних моделей. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: транзакційні бази даних, чіткі продукції, модель, ознака, транзакція, екземпляр.

УДК 004.93

Упрощение транзакционных баз данных на основе четких продукций
/ Зайко Т.А., Олейник А.А., Субботин С.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 80 – 86.

Рассмотрены задачи упрощения транзакционных баз данных. Предложен метод сокращения баз транзакций на основе четких продукций. Разработанный метод позволяет исключить неинформативные признаки и избыточные экземпляры из заданных массивов данных, что, в свою очередь, позволяет снизить структурную и параметрическую сложность синтезированных диагностических моделей. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: транзакционные базы данных, четкие продукции, модель, признак, транзакция, экземпляр.

UDC 004.93

Simplification of transactional databases based on clear productions
/ Zayko T.A., Oliynyk A.A., Subbotin S.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – С. 80 – 86.

The problem of transactional databases simplifying is considered in this paper. A method for reducing the database transaction on the basis of productions is proposed. The developed method allows to eliminate redundant and uninformative features and instances of the specified data arrays, which in turn leads to lower structural and parametric complexity of synthesized diagnostic models. Refs.: 14 titles.

Keywords: transactional databases, clear production, model, feature, transaction, instance.

УДК 37.012

Педагогічний процес як критерій взаємодії викладача і студента / Злепко С.М., Тимчик С.В., Коваль Л.Г., Костишин С.В., Постемська К.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 87 – 95.

В статті розглянуто формалізацію педагогічного процесу на основі взаємодії викладача і студента. Розроблена оптимізована модель структурно-функціональної організації педагогічного процесу і модель ефективної навчальної діяльності в рамках вищого навчального закладу з урахуванням психологічної сумісності. Ил.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: педагогічний процес, структурно-функціональна організація, модель ефективної навчальної діяльності, вищий навчальний заклад.

УДК 37.012

Педагогический процесс как критерий взаимодействия преподавателя и студента / Злепко С.М., Тимчик С.В., Коваль Л.Г., Костишин С.В., Постемская К.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 87 – 95

В статье рассмотрена формализация педагогического процесса на основе взаимодействия преподавателя и студента. Разработана оптимизированная модель структурно-функциональной организации педагогического процесса и модель эффективной обучающей деятельности в рамках высшего учебного заведения с учетом психологической совместимости. Ил.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: педагогический процесс, структурно-функциональная организация, модель эффективной обучающей деятельности, высшее учебное заведение.

UDC 37.012

The teaching process as a criterion for interaction of teacher and student / Zlepko S.M., Tymchyk S.V., Koval L.G., Kostishyn S.V., Postemska K.S. / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 87 – 95.

The formalization of the pedagogical process based on the interaction of the teacher and the student is considered in the article. The optimized model for structural and functional organization of the pedagogical process and model for effective learning activities within the universities based on psychological compatibility are developed. Figs.: 1. Refs.: 9 titles.

Keywords: teaching process, structural and functional organization, model of learning activity, universities.

УДК 621.746.62.001.57

Ідентифікація параметрів зовнішнього теплообміну при охолодженні заготовки в сортових МБЛЗ / Калітаєв А.Н., Тутарова В.Д., Пономарьов Ю.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 96 – 104.

На основі методу одномірної безумовної оптимізації (метод Фібоначчі) і математичної моделі затвердіння заготовки розглянута ідентифікація параметрів зовнішнього теплообміну при охолодженні заготовки в сортових машинах безперервного лиття заготовки на прикладі п'ятиручєвих сортових машинах безперервного лиття заготовки радіального типу фірми VAI. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключові слова: оптимізація, ідентифікація, теплообмін, МБЛЗ, модель.

УДК 621.746.62.001.57

К вопросу идентификации параметров внешнего теплообмена при охлаждении заготовки в сортовых МНЛЗ / Калитаев А.Н., Тутарова В.Д., Пономарев Ю.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 96 – 104.

На основе метода одномерной безусловной оптимизации (метод Фибоначчи) и математической модели затвердевания заготовки рассмотрена идентификация параметров внешнего теплообмена при охлаждении заготовки в сортовых машинах непрерывного литья заготовки на примере пятиручьевых сортовых машин непрерывного литья заготовки радиального типа фирмы VAI. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: оптимизация, идентификация, теплообмен, МНЛЗ, модель.

UDK 621.746.62.001.57

Identification of the parameters of external heat transfer during cooling the workpiece in the CCM / Kalitaev A.N., Tutarova V.D., Ponomarev Y.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv : NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 96 – 104.

On the basis of one-dimensional unconstrained optimization (a method of Fibonacci) and a mathematical model of solidification blank considered the identification of parameters of external heat transfer during cooling in high-grade billet continuous casting machine as an example fivestream variety of continuous casting billet radial type of firm VAI. Figs.: 3. Refs.: 10 titles.

Keywords: optimization, identification, heat transfer, CCM, model.

УДК 004.77:37.04

Формування індивідуального освітнього простору студента в умовах дистанційного навчання / Карасюк В.В., Іванов С.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 105 – 111.

У статті викладено дослідження особливостей формування індивідуального освітнього простору. Проаналізовані компоненти освітнього простору. Сформульовано висновок, що засобом інтеграції інформаційних ресурсів в єдину структуру можуть бути онтології. Онтологія правових знань розглянута як основна ланка моделі індивідуального освітнього простору. Наведено опис програмного пакета, що реалізує онтологію в предметній області права. Іл.: 1. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: індивідуальний освітній простір, область права, онтологія, модель.

УДК 004.77:37.04

Формирование индивидуального образовательного пространства студента в условиях дистанционного обучения / Карасюк В.В., Иванов С.Н. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 105 – 111.

В статье изложено исследование особенностей формирования индивидуального образовательного пространства. Проанализированы компоненты образовательного пространства. Сформулирован вывод, что средством интеграции информационных ресурсов могут быть онтологии. Онтология правовых знаний рассмотрена как основное звено модели индивидуального образовательного пространства. Приведены характеристики программного пакета, реализующего онтологию в области права. Ил.: 1. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: индивидуальное образовательное пространство, область права, онтология, модель.

UDC 004.77:37.04

Formation of students personal knowledge space in the distance learning / Karasiuk V., Ivanov S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 105 – 111.

The article describes a study of features of formation Personal Knowledge Space. There was analyzed the components of the Knowledge Space. A conclusion is made that tool for integrate various resources into a single structure can be ontology. Legal knowledge ontology is considered as the main link of model of Personal Knowledge Space. The characteristics of the software package that implements the ontology in the domain of law are presented. Figs.: 1. Refs.: 12 titles.

Keywords: personal knowledge space, domain of law, ontology, model.

УДК 658.012

Багатостадійний розподіл активів підприємства по стратегічних напрямках діяльності / Каткова Т.І. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ", 2014. – № 35 (1078). – С. 113 – 120.

Розглянуто задачу багатостадійного розподілу ресурсів підприємства за обраними напрямками діяльності. Рішення завдання досягається з використанням методу динамічного програмування, що зводить вихідну багатокрокову задачу до сукупності однокрокових оптимізаційних задач. При цьому забезпечується отримання точного рішення вихідної задачі. Важливо, що характер обчислювальної процедури, що реалізує метод, не залежить від того, наскільки тривалим виявляється вплив чергового розподілу на наступні. Бібліогр.: 17 назв.

Ключові слова: розподіл ресурсів підприємства, оптимізаційна задача, динамічне програмування.

УДК 658.012

Многостадийное распределение активов предприятия по стратегическим направлениям деятельности / Каткова Т.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 113 – 120.

Рассмотрена задача многостадийного распределения ресурсов предприятия по выбранным направлениям деятельности. Решение задачи достигается с использованием метода динамического программирования, сводящего исходную многошаговую задачу к совокупности одношаговых оптимизационных задач. При этом обеспечивается получение точного решения исходной задачи. Библиогр.: 17 назв.

Ключевые слова: распределение ресурсов предприятия, динамическое программирование, оптимизационная задача.

Multistage allocation of company assets on strategic directions of activities / Katkova T.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 35 (1078). – P. 113 – 120.

The problem of multistage allocation of resources in selected areas of the enterprise activity is researched. The solution of the problem is achieved using dynamic programming method, which reduces the original multistep problem to a set of one-step optimization problems. This ensures getting the exact solution of the original problem. Importantly, the nature of the computational procedure that implements the method does not depend on how long the next distribution is influenced by the following. Refs.: 17 titles.

Keywords: allocation of company assets, dynamic programming, optimization problem.

УДК 621.38:537.533.3:532.783

Моделювання процесу формування градієнтного світловода в шарі нематичного рідкого кристала / Коцун В.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2014. – № 35 (1078). – С. 121 – 126.

Досліджено ступінь впорядкованості та профіль директора модельного рідкого кристала, який утримується в порі з гомеотропними граничними умовами в різних мезогенних фазах. За допомогою методу молекулярної динаміки виконано комп'ютерне моделювання процесу формування градієнтного світловода під дією електричного поля. Ил.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: градієнтні світловоди, рідкі кристали, молекулярна динаміка.

УДК 621.38:537.533.3:532.783

Моделирование процесса формирования градиентного световода в слое нематического жидкого кристалла / Коцун В.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 121 – 126.

Исследована степень упорядоченности и профиль директора модельного жидкого кристалла, который содержится в поре с гомеотропными граничными условиями в различных мезогенных фазах. С помощью метода молекулярной динамики выполнено компьютерное моделирование процесса формирования градиентного световода под действием электрического поля. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: градиентные световоды, жидкие кристаллы, молекулярная динамика.

UDC 621.38:537.533.3:532.783

Simulation of formation process of a gradient light guide in nematic liquid crystal layer / Kotsun V.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 35 (1078). – P. 121 – 126.

The degree of order and account director of the liquid crystal model which is held in the pore of homeotropnymy boundary conditions in different mesogenic phases. By means of molecular dynamics computer simulations performed graded fiber formation process under an electric field. Figs.: 3. Refs.: 10 titles.

Keywords: gradient light guides, liquid crystals, molecular dynamics.

УДК 004.942:539.3

Підтримка прийняття рішень при виборі моделі анізотропії термопружного середовища / Ломазова В.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 127 – 133.

Розглядається проблема підтримки прийняття рішень при виборі (побудові) моделі анізотропії на прикладі задачі дослідження пов'язаних термопружних процесів в неоднорідних анізотропних середовищах. Пропонується підхід, заснований на виділенні підзадач структурного і параметричного синтезу, перша з яких вирішується еволюційними методами, а друга – методами розв'язку обернених задач математичної фізики. Іл.: 1. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень, модель, анізотропія, термопружне середовище.

УДК 004.942:539.3

Поддержка принятия решений при выборе модели анизотропии термоупругой среды / Ломазова В.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 127 – 133.

Рассматривается проблема поддержки принятия решений при выборе (построении) модели анизотропии на примере задачи исследования связанных термоупругих процессов в неоднородных анизотропных средах. Предлагается подход, основанный на выделении подзадач структурного и параметрического синтеза, первая из которых решается эволюционными методами, а вторая – методами решения обратных задач математической физики. Ил.: 1. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, модель, анизотропия, термоупругая среда.

UDC 004.942:539.3

Decision support in the selection anisotropy models for thermoelastic media / Lomazova V.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 127 – 133.

The problem of decision support in selecting (constructing) a model of the anisotropy to study the thermoelastic processes in heterogeneous anisotropic media is considered. The approach is based on the allocation of subtasks of structural and parametric synthesis, the first of which is solved by evolutionary methods, and the second - the methods of solving inverse problems of mathematical physics. Figs.: 1. Refs.: 14 titles.

Keywords: decision support, model, anisotropy, thermoelastic media.

УДК 621.833+515.2

Побудова алгоритму обчислення товщини зуба у нормальних перерізах у номінальній точці контакту циліндричних передач Новікова / Матюшенко М.В., Федченко Г.В., Краєвська О.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 134 – 140.

У статті отримано рівняння поверхні зубів циліндричних передач Новікова з двома лініями зацеплення з циклоїдальною поздовжньою формою, нарізаних резцовою голівкою. Форма зуба є обвідної однопараметричного сімейства миттєвих положень вихідного контуру інструменту. Побудовано алгоритм обчислення товщини зуба. Ил.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключові слова: циліндрична передача, передача Новікова, дві лінії зацеплення, циклоїдальна поздовжня форма, товщина зуба.

УДК 621.833+515.2

Построение алгоритма вычисления толщины зуба в нормальном сечении в номинальных точках контакта цилиндрических передач Новикова / Матюшенко Н.В., Федченко А.В., Краевская Е.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 134 – 140.

В статье получено уравнение поверхности зубьев цилиндрических передач Новикова с двумя линиями зацепления с циклоидальной продольной формой, нарезанных резцовой головкой. Форма зуба является огибающей однопараметрического семейства мгновенных положений исходного контура инструмента. Построен алгоритм вычисления толщины зуба. Ил.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: цилиндрическая передача, передача Новикова, две линии зацепления, циклоидальная продольная форма, толщина зуба.

UDC 621.833 +515.2

Construction algorithm for computing tooth thickness in the normal section in nominal contact point cylindrical transmission Novikova / Matyushenko N.V., Fedchenko A.V., Kraevskaya E.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – С. 134 – 140.

The paper obtained the equation of the teeth of cylindrical gears with two lines Novikov gearing with longitudinal cycloidal form, chopped the cutting head. Tooth shape is the envelope of one-parameter family of the instantaneous position of the initial contour of the tool. Constructed an algorithm for calculating the thickness of the tooth. Figs.: 3. Refs.: 8 titles.

Keywords: cylindrical transmission Novikova, longitudinal cycloidal form, two lines, tooth thickness.

УДК 621.3.07: 681.5.015

Ідентифікація параметрів тягового асинхронного приводу дизель-поїзда / Мезенцев М.В., Заковоротний О.Ю, Гейко Г.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 141 – 146.

Пропонується ідентифікація параметрів тягового асинхронного приводу дизель-поїзда на основі методу найменших квадратів. Виконано перетворення вихідної математичної моделі тягового приводу до моделі, в якій виключені величини, що не піддаються прямому вимірюванню. Наводяться результати імітаційного моделювання, що підтверджують правильність запропонованої параметричної ідентифікації. Іл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: ідентифікація, метод найменших квадратів, тяговий асинхронний привід, імітаційне моделювання.

УДК 621.3.07: 681.5.015

Идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда / Мезенцев Н.В., Заковоротный А.Ю, Гейко Г.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделювання. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 141 – 146.

Предлагается идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда на основе метода наименьших квадратов. Выполнено преобразование исходной математической модели тягового привода к модели, в которой исключены неподдающиеся прямому измерению величины. Приводятся результаты имитационного моделирования, подтверждающие правильность предложенной параметрической идентификации. Ил.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: идентификация, метод наименьших квадратов, тяговый асинхронный привод, имитационное моделирование.

UDC 621.3.07: 681.5.015

Identification parameters of traction asynchronous drive of diesel train / Mezentsev N.V., Zakovorotniy A.Y., Gejko G.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 141 – 146.

Identification parameters of asynchronous traction drive of diesel train on the basis of the method of least squares is proposed. The conversion of the original mathematical model of a traction drive model, which excluded the direct measurement values intractable is completed. The results of the simulation, confirming the correctness of the proposed parametric identification is given. Figs.: 1. Refs.: 9 titles.

Keywords: identification, method of least squares, traction asynchronous drive, simulation.

УДК 616.012

Система обробки медичних зображень в радіології на основі фрактального аналізу / Поворознюк А.І., Емельянова А.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 147 – 151.

У статті розглянуті питання використання теорії фракталів для аналізу медичних зображень в радіології та застосування можливості фрактальної розмірності в якості діагностичних характеристик для виявлення патологій на мамографічних зображеннях. Ил.: 1. Табл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: фрактальна розмірність, діагностичні характеристики, мамографічні зображення.

УДК 616.012

Система обработки медицинских изображений в радиологии на основе фрактального анализа / Поворознюк А.И., Емельянова А.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 147 – 151.

В статье рассмотрены вопросы использования теории фракталов для анализа медицинских изображений в радиологии и применения возможностей фрактальной размерности в качестве диагностических характеристик для определения патологий на маммографических изображениях. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: фрактальная размерность, диагностические характеристики, маммографические изображения.

UDC 616.012

System of processing of medical images in radiology on the basis of the fractal analysis / Povoroznyuk A.I., Emelyanova A.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 147 – 151.

Theoretical framework for fractal analysis in medical images in radiology processing is considered in this paper. The aim of the research is to get from fractal characteristics criterias for the diagnosis pathologies on the medical images, especially on mammograms. Figs.: 1. Tabl.: 2. Refs.: 8 titles.

Keywords: fractal analysis, medical images processing, criterias for the diagnosis, mammograms.

УДК 528.835:519.876.5:004.032.26

Динамічна нейромережева модель первинного перетворювача
/ Полярус А.В., Подорожняк А.О., Коваль А.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 152 – 160.

На основі використання нейромережевих алгоритмів розроблена динамічна нейромережева модель первинного перетворювача, яка здатна адаптувати свої динамічні параметри під умови проведення вимірювань. Приведені результати математичного моделювання роботи запропонованої нейромережевої моделі первинного вимірювального перетворювача. Ил.: 6. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: первинний перетворювач, математичне моделювання, нейромережева модель.

УДК 528.835:519.876.5:004.032.26

Динамическая нейросетевая модель первичного преобразователя
/ Полярус А.В., Подорожняк А.А., Коваль А.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 152 – 160.

На основе использования нейросетевых алгоритмов разработана динамическая нейросетевая модель первичного преобразователя, которая способна адаптировать свои динамические параметры под условия проведения измерений. Приведены результаты математического моделирования работы предложенной нейросетевой модели первичного измерительного преобразователя. Ил.: 6. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: первичный преобразователь, математическое моделирование, нейросетевая модель.

UDC 528.835:519.876.5:004.032.26

A dynamic neural network model of the primary converter / Poliarus O.V., Podorozhniak A.O., Koval A.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – № 35 (1078). – P. 152 – 160.

Through the use of neural network algorithms developed dynamic neural network model of the primary converter, which can adapt its dynamic parameters under the measurement conditions. The results of mathematical modeling of the proposed neural network model of the primary transmitter. Figs.: 6. Refs.: 8 titles.

Keywords: converter, mathematical modeling, neural network model.

УДК 004.89, 004.93

Підвищення ефективності узагальненого 3D перетворення Хафа / Ручкін К.А., Шевченко Є.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 161 – 169.

У даній роботі продовжені дослідження, пов'язані з підвищенням ефективності узагальненого перетворення Хафа для пошуку декількох сферичних поверхонь по заданому тривимірному масиву точок у просторі. Запропоновано спосіб розпаралелювання роботи алгоритму для прискорення його роботи на багатоядерних персональних комп'ютерах. Найбільшу ефективність даний похід показує разом з каскадним перетворенням Хафа. Ил.: 1. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: 3D перетворення Хафа, каскадне перетворення Хафа, розпаралелювання роботи алгоритму.

УДК 004.89, 004.93

Повышение эффективности обобщенного 3D преобразования Хафа / Ручкин К.А., Шевченко Е.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 161 – 169.

В данной работе продолжены исследования, связанные с повышением эффективности обобщенного преобразования Хафа для поиска нескольких сферических поверхностей по заданному трехмерному массиву точек в пространстве. Предложен способ распараллеливания работы алгоритма для ускорения его работы на многоядерных персональных компьютерах. Наибольшую эффективность данный подход показывает вместе с каскадным преобразованием Хафа. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: 3D преобразование Хафа, каскадное преобразование Хафа, распараллеливание работы алгоритма.

UDC 004.89, 004.93

Improving the efficiency of generalized 3D Hough transform / Ruchkin K.A., Shevchenko E.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – №. 35 (1078). – P. 161 – 169.

In this paper we continue the study for improving the efficiency of the generalized Hough transform to search for multiple spherical surfaces for a given three-dimensional array of points in space. Proposed parallelization of the algorithm to speed up its work on multicore PCs. Greatest efficiency this campaign shows together with a cascading Hough transform. Figs.: 1. Tabl.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: 3D Hough transform, cascaded Hough transform, parallelization of the algorithm.

УДК 004.832.34

Інтегрований підхід до поєднання невизначеностей з використанням функцій довіри / Скарга-Бандурова І.С. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 170 – 177.

Стаття присвячена теоретичним аспектам обґрунтування рішень при наявності конкуруючих гіпотез. В контексті задач дослідження розглянуті особливості прийняття рішень з використанням структур довіри. Виділена проблема конфліктів, яка є не вирішуваною в класичній моделі. Удосконалена модель прийняття рішень шляхом використання додаткової процедури їх комбінування. Табл.: 1. Бібліогр.: 28 назв.

Ключові слова: поєднання невизначеностей, гіпотеза, прийняття рішень, структура довіри, модель.

УДК 004.832.34

Интегрированный подход к объединению неопределенностей с использованием функций доверия / Скарга-Бандурова И.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – № 35 (1078). – С. 170 – 177.

Стаття посвящена теоретическим аспектам обоснования решений при наличии конкурирующих гипотез. В контексте задач исследования рассмотрены особенности принятия решений с использованием структур доверия. Выделена проблема конфликтов, которая является неразрешимой в классической модели доверия Демпстера-Шафера. Усовершенствована модель принятия решений путем использования дополнительной процедуры их комбинирования. Табл.: 1. Библиогр.: 28 назв.

Ключевые слова: объединение неопределенностей, гипотеза, принятие решений, структура доверия, модель.

UDC 004.832.34

An integrated approach to the combination of uncertainties using belief functions / Skarga-Bandurova I.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – №. 35 (1078). – С. 170 – 177.

The article is devoted to the theoretical aspects of the decision making reasoning in the presence of competing hypotheses. In the context of research problems the features of the decision-making with belief structures is discussed. Dedicated the conflict problem, which is unsolvable in the classical model. Improved decision-making model based on fuzzy goals in the presence of competing hypotheses by using additional procedure of their combination is proposed. Tabl.: 1. Refs.: 28 titles.

Keywords: combination of uncertainties, hypothesis, decision making, belief structure, model.

Зміст

Балюта С.Н., Никитина Т.Б., Копылова Л.А., Татарченко М.О., Хоменко В.В. Многокритериальный синтез комбинированной стохастической робастной системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы в чистовой группе широкополосного стана горячей прокатки	4
Барило Г.І., Вірт В.В., Готра З.Ю., Івах М.С., Кожухар О.Т. Схемотехнічні особливості побудови діагностично-лікувальних приладів на основі мікроконтролерів PSoC	15
Бірюков Д.С., Заславська О.В. Задача оптимального розміщення об'єктів інфраструктури автомобільних доріг загального користування	22
Бойко Д.А., Заможская Е.А., Филатова А.Е. Разработка системы поддержки принятия решений в радиологии для улучшения визуализации патологий	29
Бондина Н.Н., Мураров Р.Ю. Адаптивные алгоритмы фильтрации и изменения контраста изображения	35
Головко В.А., Хазим Ямен Прогнозирование коррелированного временного ряда по малой выборке исходных данных	43
Гороховатский В.А., Власенко Н.В., Полякова Т.В. Построение модификаций и анализ свойств структурных описаний при распознавании изображений	48
Дмитриенко В.Д., Заковоротный А.Ю., Нестеренко А.О. Разработка программных средств для автоматизации преобразований нелинейных систем к эквивалентным линейным в форме Бруновского	59
Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. Об устойчивости скрытного субполосного внедрения информации в изображение к воздействию шума	73
Зайко Т.А., Олейник А.А., Субботин С.А. Упрощение транзакционных баз данных на основе четких продукций	80
Зленко С.М., Тымчик С.В., Коваль Л.Г., Костишин С.В., Постемская К.С. Педагогический процесс как критерий взаимодействия преподавателя и студента	87

Калитаев А.Н., Тутарова В.Д., Пономарев Ю.В. К вопросу идентификации параметров внешнего теплообмена при охлаждении заготовки в сортовых МНЛЗ	96
Карасюк В.В., Иванов С.Н. Формирование индивидуального образовательного пространства студента в условиях дистанционного обучения	105
Каткова Т.И. Многостадийное распределение активов предприятия по стратегическим направлениям деятельности	113
Коцун В.І. Моделювання процесу формування градієнтного світловоду в шарі нематичного рідкого кристала	121
Ломазова В.И. Поддержка принятия решений при выборе модели анизотропии термоупругой среды	127
Матюшенко Н.В., Федченко А.В., Краевская Е.А. Построение алгоритма вычисления толщины зуба в нормальном сечении в номинальных точках контакта цилиндрических передач Новикова	134
Мезенцев Н.В., Заковоротный А.Ю., Гейко Г.В. Идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда	141
Поворознюк А.И., Емельянова А.В. Система обработки медицинских изображений в радиологии на основе фрактального анализа	147
Полярус О.В., Подорожняк А.О., Коваль А.О. Динамічна нейромережева модель первинного перетворювача	152
Ручкин К.А., Шевченко Е.А. Повышение эффективности обобщенного 3D преобразования Хафа	161
Скарга-Бандурова І.С. Інтегрований підхід до поєднання невизначеностей з використанням функцій довіри	170
Реферати, Abstracts	178

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"Харківський політехнічний інститут"

Збірник наукових праць
Серія
Інформатика та моделювання
№ 35 (1078)

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.
Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.
Відповідальний за випуск к.т.н. Обухова І.Б.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул Фрунзе, 21, НТУ "ХПІ".
Кафедра обчислювальної техніки та програмування,
тел. (057) 7076198, E-mail: serleomail@gmail.com

Обл. вид. № 80 – 14

Підп. до друку 30.07.2014 р. Формат 60х84 1/16. Папір Сору Ререр.
Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,8. Облік. вид. арк. 10,0.
Наклад 300 прим.
Ціна договірна

НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавничий центр НТУ "ХПІ"
Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Отпечатано в типографии ООО «Цифра Принт»
на цифровом комплексе Xerox DocuTech 6135.
Свидетельство о Государственной регистрации А01 № 432705 от 3.08.2009 г.
Адрес : г. Харьков, ул. Данилевского, 30. Телефон : (057) 7861860.