

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: Інформатика та моделювання

№ 19 (992) 2013

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 році

Харків

НТУ "ХПІ", 2013

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. — Харків: НТУ "ХПІ". — 2013. — № 19 (992). — 175 с.

Державне видання

Свідомство 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 (PINC), 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.; С.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. Жиликов, 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 № 11 від 24 12 2013 р.

© Національний технічний університет "ХПІ", 2013

УДК 681.5.03

Р.С. ВОЛЯНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., докторант,
Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск,

А.В. САДОВОЙ, д-р техн. наук, проф., проректор по научной
работе, Днепродзержинский государственный технический
университет, Днепродзержинск,

Н.В. СЛИПЧЕНКО, ст. преп., Днепродзержинский государственный
технический университет, Днепродзержинск

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПИ- РЕГУЛЯТОРОМ КОМПЛЕКСНОГО ПОРЯДКА

Составлено матричное уравнение движения обобщенной замкнутой динамической системы (ОЗДС) с интегродифференциалом комплексного порядка. Найдена частотная интерпретация интегродифференциала комплексного порядка. Составлена матричная частотная передаточная функция (МЧПФ) исследуемой ОЗДС. Рассмотрен пример определения МЧПФ для электропривода постоянного тока. Ил.: 1. Библиограф.: 8 назв.

Ключевые слова: динамическая система, интегродифференциал комплексного порядка, матричная частотная передаточная функция, электропривод.

Постановка проблемы. Последние достижения микропроцессорной и микроконтроллерной техники в разработке недорогих мощных микроконтроллеров создали предпосылки для усовершенствования существующих и разработки новых систем управления электромеханическими объектами и технологическими процессами. Оптимизация таких систем по различным критериям позволяет улучшить характеристики систем управления и, как следствие, повысить качество выпускаемой продукции при одновременном снижении ее себестоимости. Одним из направлений оптимизации является использование интегродифференциалов дробной размерности координат объекта управления [1, 2].

Анализ литературы. Системам управления, регуляторы которых работают на дробномерных линиях равновесия, посвящено большое количество работ как отечественных [3 – 5], так и зарубежных авторов [6]. Приведенные в них результаты показывают, что использование в составе алгоритма управления производных и интегралов дробной

размерности позволяет улучшить качество процессов управления, создавая предпосылки для обобщения операций интегриродифференцирования на случай комплексной размерности [7]. Последнее обуславливает возникновение актуальной научной задачи, посвященной исследованию свойств замкнутых динамических систем с интегриродифференциалами комплексного порядка. Одним из подходов к решению этой задачи является анализ динамических систем в частотной области, базирующийся на определении и исследовании частотной передаточной функции (ЧПФ) [8].

Цель статьи – разработка метода определения ЧПФ замкнутой динамической системы с интегриродифференциалом комплексного порядка и исследование ее частотных характеристик.

1. Теоретические основы метода. Рассмотрим обобщенную электромеханическую систему, уравнения движения которой в относительных единицах можно представить следующим образом

$$pY = AY + MU, \quad (1)$$

где p – оператор Лапласа; Y – вектор переменных состояния; A – матрица коэффициентов, определяющих свободное движение объекта управления; M – вектор коэффициентов, которые определяют управляемое движение объекта; U – управляющее воздействие.

Будем считать, что движение динамического объекта (1) происходит под действием управляющего воздействия

$$U = (K_p + p^{-\alpha-j\beta}K_i) \times (Y^* - Y), \quad (2)$$

где K_p , K_i – матрицы-строки коэффициентов усиления пропорциональной и интегральной частей регулятора; Y^* , Y – матрицы-столбцы желаемых и текущих значений переменных состояний.

Регулятор, реализующий алгоритм (2), является обобщением ПИ ^{α} -регулятора с дробномерным интегратором [6]. Такой регулятор будем называть ПИ ^{α} -регулятором комплексного порядка.

Подставив управляющее воздействие (2) в уравнение движения объекта (1), представим его следующим образом

$$[pE - A + M(K_p + p^{-\alpha-j\beta}K_i)]Y = M(K_p + p^{-\alpha-j\beta}K_i)Y^*. \quad (3)$$

Заменив в уравнении (3) оператор Лапласа p на оператор Фурье $j\omega$, получим следующее выражение для амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) динамической системы (3)

$$[j\omega E - A + M(K_p + j\omega^{-\alpha-j\beta} K_i)]Y = M(K_p + (j\omega)^{-\alpha-j\beta} K_i)Y^*. \quad (4)$$

Из уравнения (4) может быть получена матричная частотная передаточная функция системы (3)

$$\frac{Y}{Y^*} = [j\omega E - A + M(K_p + j\omega^{-\alpha-j\beta} K_i)]^{-1} M(K_p + (j\omega)^{-\alpha-j\beta} K_i). \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) содержат комплексный оператор $(j\omega)^{-\alpha-j\beta}$, главное значение которого может быть определено через элементарные функции следующим образом

$$\begin{aligned} (j\omega)^{-\alpha-j\beta} &= f_{\text{Re}}(\omega) + jf_{\text{Im}}(\omega) = \\ &= \frac{e^{\beta\pi/2} \cos(\beta \ln \omega + \alpha\pi/2)}{\omega^\alpha} + j \frac{e^{\beta\pi/2} \sin(\beta \ln \omega + \alpha\pi/2)}{\omega^\alpha}. \end{aligned} \quad (6)$$

Подстановка выражения (6) в зависимость (5) позволяет записать МЧПФ следующим образом

$$\begin{aligned} \frac{Y(j\omega)}{Y^*(j\omega)} &= [j\omega E - A + M(K_p + f_{\text{Re}}(\omega)K_i + jf_{\text{Im}}(\omega)K_i)]^{-1} \times \\ &\times M(K_p + f_{\text{Re}}(\omega)K_i + jf_{\text{Im}}(\omega)K_i) \end{aligned} \quad (7)$$

или

$$\begin{aligned} \frac{Y(j\omega)}{Y^*(j\omega)} &= \frac{\text{adj}[-A + M(K_p + f_{\text{Re}}(\omega)K_i) + j(\omega E + f_{\text{Im}}(\omega)MK_i)]}{\det[-A + M(K_p + f_{\text{Re}}(\omega)K_i) + j(\omega E + f_{\text{Im}}(\omega)MK_i)]} M \times \\ &\times [K_p + (f_{\text{Re}}(\omega) + jf_{\text{Im}}(\omega))K_i], \end{aligned} \quad (8)$$

где $\text{adj}[\cdot]$ – функция, возвращающая матрицу алгебраических дополнений аргумента.

Выражение (8) является МЧПФ системы с ПИ^c-регулятором комплексного порядка и позволяет определять частотные характеристики широкого класса замкнутых систем не только с П, ПИ, ПИ^a, ПИ^c – регуляторами, но и, принимая во внимание, что тип операции интегриродифференцирования определяется знаком степени оператора дифференцирования, систем с ПД-, ПД^a-, ПД^c-регуляторами. В случае

исследования систем с ПИ^{c1}Д^{c2}-регуляторами или более сложными, выражение (8) дополняется соответствующими составляющими, не ограничивая при этом область применения разработанного метода.

2. Пример использования метода. В качестве примера определим частотную передаточную функцию для контура регулирования скорости электропривода постоянного тока с ПИ^c-регулятором, движение которого описывается следующими уравнениями динамики:

$$\begin{aligned} p y_1 &= a_{12} y_2; \\ p y_2 &= a_{21} y_1 + a_{22} y_2 + m_2 U; \\ U &= \left(k_1 + \frac{k_2}{p^{\alpha+j\beta}} \right) (y_1^* - y_1). \end{aligned} \quad (9)$$

Составим для системы (9) матрицы, входящие в выражение (8)

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \begin{pmatrix} 0 & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}; \quad \mathbf{M} = \begin{pmatrix} 0 \\ m_2 \end{pmatrix}; \\ \mathbf{K}_p &= (k_1 \quad 0); \\ \mathbf{K}_i &= (k_2 \quad 0). \end{aligned} \quad (10)$$

Подставив матрицы (10) в выражение (8), получим МЧПФ системы (9)

$$\frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{Y}^*} = \frac{adj[\mathbf{W}]}{\det(\mathbf{W})} \begin{pmatrix} 0 \\ m_2 \end{pmatrix} [(k_1 \quad 0) + f_{\text{Re}}(\omega) + j f_{\text{Im}}(\omega)(k_2 \quad 0)], \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{W} &= - \begin{pmatrix} 0 & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ m_2 \end{pmatrix} [(k_1 \quad 0) + f_{\text{Re}}(\omega)(k_2 \quad 0)] + \\ &+ j \left[\omega \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + f_{\text{Im}}(\omega) \begin{pmatrix} 0 \\ m_2 \end{pmatrix} (k_2 \quad 0) \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

После выполнения алгебраических преобразований МЧПФ (11) примет вид

$$\frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{Y}^*} = \begin{pmatrix} \frac{a_{12}m_2 \left(k_1\omega^\alpha + k_2 e^{\frac{1}{2}\beta\pi} \left[\cos\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) + j\sin\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) \right] \right)}{-\omega^{2+\alpha} - ja_{22}\omega^{1+\alpha} + \omega^\alpha(k_1a_{12}m_2 - a_{12}a_{21}) + D}}{0} \\ \frac{jm_2\omega \left(k_1\omega^\alpha + k_2 e^{\frac{1}{2}\beta\pi} \left[\cos\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) + j\sin\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) \right] \right)}{-\omega^{2+\alpha} - ja_{22}\omega^{1+\alpha} + \omega^\alpha(k_1a_{12}m_2 - a_{12}a_{21}) + D}}{0} \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$\text{где } D = k_2a_{12}m_2 e^{\frac{\beta\pi}{2}} \left[\cos\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) + j\sin\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) \right].$$

Размерность МЧПФ (13) задается числом независимых координат состояния, при этом количество ненулевых столбцов определяется числом задающих воздействий, подаваемых на систему. Выделив из МЧПФ (13) первый элемент первого столбца, получим искомую частотную передаточную функцию

$$\Phi(j\omega) = \frac{a_{12}m_2 \left(k_1\omega^\alpha + k_2 e^{\frac{\beta\pi}{2}} \left[\cos\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) + j\sin\left(\beta\ln(\omega) + \frac{\alpha\pi}{2}\right) \right] \right)}{-\omega^{2+\alpha} - ja_{22}\omega^{1+\alpha} + \omega^\alpha(k_1a_{12}m_2 - a_{12}a_{21}) + D}. \quad (14)$$

Приняв $\alpha = 1$, $\beta = 0$ и воспользовавшись зависимостью (14), определим ЧПФ замкнутой системы с классическим ПИ-регулятором

$$\Phi(j\omega) = \frac{a_{12}m_2(k_1\omega + jk_2)}{-\omega^3 - ja_{22}\omega^2 + \omega(k_1a_{12}m_2 - a_{12}a_{21}) + jk_2a_{12}m_2}. \quad (15)$$

Умножение числителя и знаменателя ЧПФ (15) на j приводит к выражению, которое может быть получено классическим методом. Считая параметры исследуемой системы единичными, построим на основании ЧПФ (14) и (15) соответствующие АФХ (рис.).

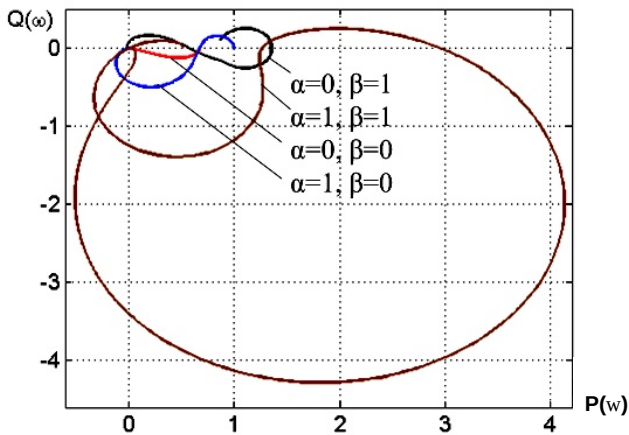


Рис. АФХ исследуемой системы при различных параметрах интегродифференциала комплексного порядка.

Анализ полученных АФХ при $\alpha = \beta = 0$ и $\alpha = 1, \beta = 0$, описываемых выражением (14) и найденные классическим способом совпадают. Приведенные на рис. АФХ позволяют сделать вывод, что при частоте ω равной нулю единичным коэффициентом усиления обладает только система с классическим ПИ-регулятором. Указанный недостаток систем с интегродифференциалом комплексного порядка может быть устранен путем увеличения порядка интегродифференциала.

Выводы. Использование при анализе частотных свойств систем матричного исчисления совместно с теорией функции комплексного переменного позволяет получить простые выражения для МЧПФ динамических систем с интегродифференциалом комплексного порядка.

Анализ зависимостей (13) и (14) показывает, что ЧПФ замкнутой системы с интегродифференциалом комплексного порядка независимой переменной, по которой находится передаточная функция, содержит гармонические составляющие, определяющиеся порядком интегродифференциала и частотой входного воздействия. Принимая во внимание, что интегродифференциал комплексного порядка является обобщением операций дифференцирования и интегрирования, можно сделать вывод, что ЧПФ с гармоническими составляющими являются обобщением известных ЧПФ динамических систем.

Анализ полученных АФХ показывает, что наличие в ЧПФ гармонических составляющих в определенном частотном диапазоне

позволяет повысить коэффициент усиления системы, обеспечивая тем самым форсировку замкнутой системы в динамических режимах.

Список литературы: 1. Васильев В.В. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем / В.В. Васильев, Л.А. Симак. – К.: НАН Украины, 2008. – 256 с. 2. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение / А.М. Нахушев. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 272 с. 3. Бушер В.В. Динамические свойства систем управления с дробным порядком астатизма / В.В. Бушер // Электротехнические и компьютерные системы. – 2010. – № 1. – С.13-16. 4. Васильев А.В. Математические модели ПИД-контроллеров динамических систем целого и дробного порядков на основе S-преобразования / А.В. Васильев // Информационные и телекоммуникационные технологии. – 2013. – Т. 322. – № 2. – С. 21-26. 5. Учайкин В.В. Метод дробных производных / В.В. Учайкин. – Ульяновск: "Артишок", 2008. – 512 с. 6. Podlubny I. Fractional differential equation / I. Podlubny. – San Diego: Academic Press, 1999. – 340 p. 7. Самко С.Г. Интегралы и дифференциалы дробного порядка и некоторые их приложения / С.Г. Самко, А.А. Килбас, О.И. Маричев. – Минск: Наука и техника, 1987. – 688 с. 8. Авсиевич А.В. Частотные критерии устойчивости Михайлова и Найквиста для моделей систем автоматического управления с дробным порядком / А.В. Авсиевич, В.В. Авсиевич // Вестник транспорта Поволжья. – 2010. – № 1. – С. 35-41.

Поступила в редакцию 07.06.2013

УДК 681.5.03

Частотні характеристики замкнутої електромеханічної системи з ПІ-регулятором комплексного порядку / Волянський Р.С., Садовий О.В., Сліпченко Н.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 3 – 9.

Складено матричне рівняння руху узагальненої замкнутої динамічної системи (ОЗДС) з інтегродиференціалом комплексного порядку. Знайдена частотна інтерпретація інтегродиференціала комплексного порядку. Складена матрична частотна передатна функція (МЧПФ) досліджуваної ОЗДС. Розглянуто приклад визначення МЧПФ для електроприводу постійного струму. Лл.: 1. Бібліограф.: 8 назв.

Ключові слова: динамічна система, інтегродиференціал комплексного порядку, матрична частотна передатна функція, електропривод.

UDC 681.5.03

Frequency response of closed-loop electromechanical system with PI controller of complex order / Volyanskiy R.S., Sadovoy A.V., Slipchenko N.V. // Herald of National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 3 – 9.

Matrix equation of generalized closed-loop complex order dynamic system (GCDS) motion is given. Frequency interpretation of complex order integrator is found. Frequency transfer function matrix (MCHPF) investigated GCDS is shown. MCHPF for DC electric drive is determined. Figs. 1. Ref: 8 titles.

Keywords: dynamic system, integrator of complex order, matrix frequency transfer function, electric drive.

УДК 669.053.4:004.896

Е.А. ГОРБАТОВА, канд. техн. наук, зав. каф., ФГБОУ ВПО
"Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова", Магнитогорск,
М.В. ЗАРЕЦКИЙ, канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВПО
"Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова", Магнитогорск,
И.З. ШИЯХМЕТОВА, студ., ФГБОУ ВПО "Магнитогорский
государственный технический университет им. Г.И. Носова",
Магнитогорск

НЕЧЕТКОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ

Рассмотрен выбор способа вовлечения в производство некондиционного сырья в гидрометаллургии. Обоснован многокритериальный выбор одного из трех вариантов вовлечения в производство: дофлотация, выщелачивания или утилизации. Разработана экспертная система для поддержки принятия решений в гидрометаллургии. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: гидрометаллургия, дофлотация, выщелачивание, утилизация, экспертная система.

Постановка проблемы. Горно-обоганительные предприятия Южного Урала функционируют в условиях снижения сырьевого потенциала, в результате чего в качестве потенциальных ресурсов рассматриваются отходы горно-обоганительного производства. В частности, актуальной является задача оперативного вовлечения в производство текущих хвостов горно-обоганительного производства. Вовлечение в производство состоит в извлечении из них ценных компонентов или в утилизации – использовании без извлечения ценных компонентов. Оперативное вовлечение в производство текущих хвостов позволяет устранить их накопление в хвостохранилищах и, тем самым, уменьшить негативное воздействие горно-обоганительных предприятий на окружающую природную среду.

Существенные для вовлечения в промышленное производство характеристики текущих хвостов обогащения определяются свойствами используемого сырья и особенностями технологического процесса обогащения. Значения этих характеристик подвержены изменениям со

© Е.А. Горбатова, М.В. Зарецкий, И.З. Шияхметова, 2013

значительным непредсказуемым разбросом. Таким образом, система поддержки принятия решений (СППР) для выбора способа вовлечения в производство текущих хвостов горно-обогажительного производства должна учитывать наличие неустранимой неопределенности в исходных данных.

Ранее уже были предложены нечеткологическая экспертная система для выбора конкретных характеристик технологического процесса переработки некондиционного сырья [1] и основанная на логическом выводе система определения способа вовлечения в производство некондиционного сырья [2]. Последняя система предполагает использование усредненных характеристик некондиционного сырья. Усреднение характеристик "маскирует" ситуацию неустранимой неопределенности, характерную для гидрометаллургии [1]. Экспертная система, использующая усредненные характеристики некондиционного сырья удовлетворительно функционирует при относительно стабильных значениях этих характеристик. При наличии большого разброса в их значениях экспертная система такого вида может дать ошибочные рекомендации.

В настоящее время имеется возможность оперативного получения детальных характеристик некондиционного сырья, что позволяет отказаться от использования его усредненных характеристик. Возникает необходимость построения экспертной системы для определения способа вовлечения в производство текущих хвостов обогащения, эффективно использующей оперативную информацию о наиболее существенных параметрах текущих хвостов обогащения. Методологической основой данной экспертной системы должна служить теория многокритериальной оптимизации [3, 4].

Анализ литературы. Проблемы оптимизации технологических процессов в гидрометаллургии в настоящее время активно обсуждаются в научной периодике. В [5] содержится обзор применяемых в настоящее время методов оптимизации в данной сфере. Основные подходы, применяемые при разработке экспертных систем в гидрометаллургии, изложены в [6]. Следует отметить, что в данных работах рассматриваются оптимизация и определение параметров при априори выбранном технологическом процессе.

Современная методология принятия решений в условиях неустранимой неопределенности изложена в [7, 8]. Примеры нечеткого многокритериального анализа с применением парных сравнений приведены в [9, 10].

Цель статьи. Разработка алгоритма функционирования нечеткологической экспертной системы, предназначенной для функционирования в составе СППР гидрометаллургического производства.

Вовлечение в производство некондиционного сырья может осуществляться путем переработки – извлечения полезных компонентов, а также путем утилизации – использования без извлечения полезных компонентов [2]. Переработка некондиционного сырья осуществляется чаще всего с помощью дофлотации или выщелачивания. Утилизация некондиционного сырья может быть выполнена различными способами в зависимости от его механических, физико-химических свойств.

Отметим, что переработка возможна лишь в том случае, когда содержание в сырье полезного компонента не меньше некоторой априори заданной величины. Если это условие не выполнено, некондиционное сырье подлежит утилизации.

В настоящее время сложилась следующая система приоритетов. В первую очередь рассматривается целесообразность дофлотации. Если проведение дофлотации нецелесообразно, рассматривается целесообразность выщелачивания. В том случае, когда дофлотация и выщелачивание нецелесообразны, применяется утилизация.

Следуя логике приоритетов, процесс принятия решений состоит из двух этапов. На первом этапе рассматривается вопрос о целесообразности дофлотации. Если проведение дофлотации целесообразно, работа системы завершается. В противном случае система переходит ко второму этапу – рассмотрению вопроса о целесообразности проведения выщелачивания. Если выщелачивание нецелесообразно, принимается решение об утилизации.

Сведения об основных характеристиках некондиционного сырья могут быть в настоящее время получены с разной степенью точности. Это могут быть как качественные данные типа «имеется (отсутствует)», так и количественные, характеризующие принадлежность интервалу. В рассматриваемой системе количество интервалов не превышает трех, поскольку при большем числе интервалов эксперты затрудняются в оценке ситуации.

Рассмотрим основные параметры:

– V – содержание полезного компонента, находится в интервале между кондиционным содержанием V_{Cond} и минимальным содержанием V_{Min} , интервал разбивается на 3 подинтервала $I1 = [V_{Min}, V1)$, $I2 = [V1, V2)$, $I3 = [V2, V_{Cond}]$;

– *TSplice* – тип преобладающего содержания минерала (в мономинеральных сростках – *MonoSplice* или полиминеральных сростках – *PolySplice*);

– *LClass* – крупность класса рудных минералов (*L1* – более 75% в крупном классе, *L2* – от 75% до 50% в крупном классе, *L3* – менее 50% в крупном классе);

– *Dom* – рудный минерал в полиминеральном сростке является преобладающим (*DomY* – является, *DomN* – не является);

– *Porosity* – наличие трещиноватости и пористости в полиминеральных сростках (*PorosityY* – имеется, *PorosityN* – отсутствует);

– *Silicates* – наличие слоистых силикатов (*SilicatesY* – имеются, *SilicatesN* – не имеются).

В соответствии с двухэтапной схемой выбора технологического процесса введем обозначения:

P_1 – дофлотация, P_2 – дополнительный выбор между выщелачиванием и утилизацией (для первого этапа);

Q_1 – выщелачивание, Q_2 – утилизация (для второго этапа, если он требуется).

В качестве критериев выбора рассматривается соответствие технологического процесса основным параметрам некондиционного сырья.

Для первого этапа выбора с помощью квалифицированных экспертов получены следующие оценки.

Для критерия *V* :

– при $V \in I3$ явное преимущество P_1 над P_2 ;

– при $V \in I2$ существенное преимущество P_1 над P_2 ;

– при $V \in I1$ почти слабое преимущество P_1 над P_2 .

Для критерия *TSplice* :

– при *TSplice* = *MonoSplice* почти существенное преимущество P_1 над P_2 ;

– при *TSplice* = *PolySplice* почти существенное преимущество P_2 над P_1 .

Для критерия *LClass* :

– при *LClass* = *L1* явное преимущество P_1 над P_2 ;

- при $LClass = L2$ почти существенное преимущество P_1 над P_2 ;
- при $LClass = L3$ почти слабое преимущество P_2 над P_1 .

Для второго этапа выбора с помощью квалифицированных экспертов получены следующие оценки.

Для критерия V :

- при $V \in I3$ явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $V \in I2$ существенное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $V \in I1$ почти слабое преимущество Q_1 над Q_2 .

Для критерия Dom :

- при $Dom = DomY$ почти явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $Dom = DomN$ почти явное преимущество Q_2 над Q_1 .

Для критерия $Porosity$:

- при $Porosity = PorosityY$ почти явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $Porosity = PorosityN$ почти явное преимущество Q_2 над Q_1 .

Для критерия $Silicates$:

- при $Silicates = SiliocatesY$ почти явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $Silicates = SilicatesN$ почти явное преимущество Q_2 над Q_1 .

В соответствии с исходными данными составляются матрицы парных сравнений, на основании которых в соответствии с методикой многокритериального выбора определяется наиболее приемлемый в конкретных условиях технологический процесс.

Разработанная система опробована на реальных данных, получены удовлетворительные результаты.

Выводы:

- предложена методика построения нечеткологической экспертной системы для определения способа вовлечения в производство некондиционного сырья;
- разработан алгоритм для реализации экспертной системы;
- получены удовлетворительные результаты при работе с реальными данными.

Список литературы: 1. Горбатова Е.А. Экспертная система в проектировании технологических процессов в гидрометаллургии / Е.А. Горбатова, А.И. Дюскина, М.В. Зарецкий // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 62 (968). – С. 40 – 45. 2. Горбатова Е.А. Гибридная экспертная система в гидрометаллургии / Е.А. Горбатова, М.В. Зарецкий, И.З. Шияхметова // Информационные технологии и системы. Материалы Второй международной конференции. – Челябинск: Изд-

во Челябин. гос. ун-та, 2013. – С. 157 – 159. 3. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Сб. переводов. – М.: Мир, 1976. – С. 173 – 215. 4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. 5. Rintala L. The use of decision and optimization methods in selection of hydrometallurgical unit process alternatives / L. Rintala, K. Lillkung, J. Aromaa // Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2011. – № 46. – P. 229 – 242. 6. Wu Min An expert control system in purification process / Wu Min, Gui Wiehua, Xie Yongfang, Shen Deyao, Cai Zixing // Transactions of NFsoc. – 1996. – Vol. 6. – № 2. – P. 125 – 131. 7. Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии / Ю.А. Зак – М.: Книжный дом "Либроком", 2013. – 352 с. 8. Сявакко М.С. Інформаційна система "Нечіткий експерт" / М.С. Сявакко – Львів: Видавничий центр Львівського нац. ун-ту, 2007. – 320 с. 9. Ротштейн О.П. Вибір проекту створення бренду за допомогою нечітких парних порівнянь / О.П. Ротштейн, С.Д. Штовба, О.В. Штовба // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 2. – С. 13 – 21. 10. Штовба Д.С. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Д.С. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Поступила в редакцию 15.07.2013

*Статью представил д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО
Магнитогорского государственного технического университета
им. Г.И. Носова" Ячиков И.М.*

УДК 669.053.4:004.896

Нечіткілогічне визначення способу залучення до виробництва некондиційної сировини у гідрометалургії / Горбатова О.О., Зарецький М.В., Шияхметова І.З. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 10 – 15.

Розглянуто вибір способу залучення до виробництва некондиційної сировини у гідрометалургії. Обґрунтовано багатокритеріальний вибір одного з трьох варіантів залучення до виробництва: дофлотації, вилугування або утилізації. Розроблена експертна система для підтримки прийняття рішень у гідрометалургії. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: гідрометалургія, дофлотація, вилугування, утилізація, експертна система.

UDC 669.053.4:004.896

Fuzzy logic defining of the method of the involving in manufacture substandard raw materials in hydrometallurgy / Gorbatova E.A., Zaretsky M.V., Shyyakhmetova I.Z. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 10 – 15.

We consider the choice of the method involving g in manufacture substandard raw materials in hydrometallurgy. Multi-criteria analysis justified the choice of one of three options to engage in production: additional flotation, leaching or disposal. A consulting model is developed for support of making decision in a hydrometallurgy. Refs.: 10 titles.

Keywords: hydrometallurgy, doflotaciya, lixiviating, utilization, consulting model.

УДК 621.314.7

А.Ф. ДАНИЛЕНКО, канд. техн. наук., доц. НТУ "ХПИ",
А.Г. ДЬЯКОВ, канд. техн. наук, доц., Харьковский государственный
 университет питания и торговли, Харьков

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРОМЕТРОМ ЯМР

Предложены и обоснованы подходы повышения качества измерения параметров пищевых продуктов. Наибольшее внимание уделено измерению коэффициента самодиффузии, как одного из основных указателей, что используются при исследованиях пищевых продуктов. Рассмотрены подходы к построению системы управления спектрометром ЯМР. На основе анализа требований к точности измерения параметров обоснована и предложена структура системы управления спектрометром ЯМР с использованием микроконтроллера АРМ. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: пищевые продукты, спектрометр, ЯМР, самодиффузия, микроконтроллер, система управления.

1. Постановка проблемы. При выполнении исследований свойств пищевых продуктов значительное внимание уделяется методам спектрального анализа. Одним из наиболее применяемых методов является метод ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), который позволяет установить изменение свойств вещества и состояния воды при воздействии на них различных добавок. Проведение подобных исследований применительно к пищевым технологиям дает возможность более целенаправленно изучить влияние пищевых добавок на качественные показатели продуктов. Изучить возможности замены дефицитных и дорогостоящих пищевых добавок импортного производства продукцией, которая широко производится в Украине. Кроме того, применение пищевых добавок дает возможность улучшить качественные показатели продукта, увеличить сроки его хранения. Поэтому решение данной задачи актуально.

Выходной сигнал спектрометра ЯМР имеет колоколообразную форму, длительность которого составляет 1 – 2 мс применительно к исследованиям водных систем [1 – 3], а именно такие системы и подвергаются анализу в пищевых производствах. Величина отклика сигнала спектрометра ЯМР с учетом диффузии имеет вид:

$$A_i = A_0 \exp(-2\tau_i/T_2 - (2/3)\gamma^2 G^2 D \tau_i^3), \quad (1)$$

где A_0 – величина, не зависящая от времени, определяется величиной

© А.Ф. Даниленко, А.Г. Дьяков, 2013

влажностисодержания исследуемого вещества; τ_1 – интервал времени между зондирующими импульсами спектрометра ЯМР; T_2 – время спин-спиновой релаксации; γ – гиромагнитное отношение; G – градиент магнитного поля; D – коэффициент самодиффузии [1, 3].

Из анализа соотношения (1) видно, что при малых значениях τ_i вклад диффузии в амплитуду измеряемого сигнала почти не сказывается и определить D крайне сложно. Поэтому при измерении времени T_2 длительность τ_i выбирают незначительной, чтобы вклад диффузии не искажал результаты измерений. Однако, с точки зрения метода планирования эксперимента, желательно чтобы τ_i было по возможности больше [2]. При этом амплитуда сигнала будет снижаться, и вклад диффузии в уменьшение сигнала будет основным. Уменьшение уровня сигнала на фоне помех, которые присущи данному методу измерения, так же снижает точность регистрации данных, поскольку уменьшается динамический диапазон.

Вычислить непосредственно коэффициент самодиффузии D из уравнения (1) представляет определенные трудности, так как точное определение градиента G – крайне сложная задача. Преобразуем уравнение (1) к виду:

$$A_i = A_0 \exp(-K_1 t_i - K_2 t_i^3), \quad (2)$$

где $K_1 = 2/T_2$; $K_2 = (2/3)\gamma^2 G^2 D$. В этом случае можно говорить о величине, пропорциональной коэффициенту самодиффузии. Для большинства исследований пищевых продуктов этого достаточно, так как наибольший интерес представляет тенденция изменения коэффициента самодиффузии, а не его абсолютное значение.

Исходя из особенностей исследуемых веществ величины K_1 и K_2 имеют следующие ориентировочные значения $K_1 = 10 - 20$ и $K_2 = 200 - 400$. Указанные значения коэффициентов приводят к тому, что при больших значениях амплитуда наблюдаемого сигнала падает и уровень помехи, который можно считать неизменным в процессе измерений, существенно начинает влиять на определение амплитуды измеряемого сигнала.

2. Анализ литературы. Существующие методы повышения точности измерения на спектрометрах ЯМР заключаются в использовании компьютеров не только для обработки результатов измерений, но и для непосредственной фиксации измеряемого сигнала, а также автоматизации процессов измерения. Установки данного типа позволяют оценить подвижности протонов в исследуемых веществах, и

дают возможность определить тенденцию изменения их подвижности при воздействии различных технологических добавок, либо при изменении процесса приготовления. Определение подвижности обычно производится косвенным путем, посредством вычисления времени спин-спиновой релаксации, обозначенной как T_2 , согласно источников [1 – 3].

Однако имеется еще один параметр, который можно определить на спектрометре ЯМР – это коэффициент самодиффузии. Данный параметр наиболее информативен и непосредственно показывает степень подвижности протонов в веществах. Измерение его непосредственно невозможно, но с применением спектрометра, имеющего автоматизированную систему управления, это возможно только при условии повышения точности измерительной системы и значительного усложнения проведения эксперимента.

Применение соотношения (2) для определения параметров продукта обосновывается тем, что при малом содержании воды в продукте вторым слагаемым (диффузионной составляющей) можно пренебречь по сравнению с первым, так как коэффициент самодиффузии – достаточно малая величина.

Однако при проведении исследований, целью которых является изучение изменения состояния воды в зависимости от ряда добавок, возникают сложности с определением величины T_2 из-за возможного влияния коэффициента самодиффузии. В образцах с большой подвижностью воды диффузионный член имеет значение сравнимое с первым слагаемым в (2). При проведении исследований раствора глицерина было установлено, что при концентрации глицерина в растворе от 40 до 100 % возможно применение формулы (2), а при меньших концентрациях необходимо вычисления вести по формуле (1). На такой характер спада амплитуды эхо-сигнала впервые обратил внимание А. Лёше [2]. Для исключения влияния коэффициента самодиффузии при исследовании маловязких жидкостей необходимо применять очень малые расстояния между зондирующими импульсами, что усложняет техническую реализацию спектрометра ЯМР. Однако Карр и Парселл [3] предложили более удобный способ измерения спада амплитуды эхо-сигнала, который заключается в использовании большого числа импульсов, следующих друг за другом. Первые два импульса являются обычными зондирующими импульсами, которые поворачивают вектор магнитной индукции на 90° и 180° и затем измеряется амплитуда сигнала эхо. Затем через определенный промежуток времени на образец воздействуют вновь 180° импульсом и измеряют эхо-сигнал от действия этого импульса. Показано, что в этом случае характер изменения сигнала эхо от величины τ определяется следующим соотношением:

$$A(\tau) = A_0 \exp\left(-\frac{\tau}{T_2} - \frac{5}{3}k \frac{\tau^3}{n^2}\right), \quad (3)$$

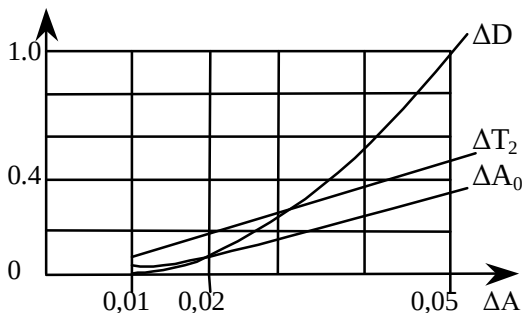
где $A(\tau)$ – амплитуда сигнала на выходе измерительной системы спектрометра; A_0 – начальная амплитуда сигнала; τ – временной интервал между зондирующими импульсами; k – коэффициент пропорциональности; n – число импульсов последовательности.

Из выражения (3) следует, что в этом случае влияние коэффициента самодиффузии можно уменьшить в n^2 раз, если общий интервал времени проведения исследований разделить промежуточными импульсами на n отрезков. Однако существующую измерительную систему установки ЯМР [5, 6] с учетом её программного обеспечения и технической реализации невозможно модернизировать для реализации соотношения (3). Для её доработки требуются существенные изменения аппаратной и программной составляющей измерительной системы спектрометра и доработки алгоритмов вывода информации на дисплей, так как в ней не предполагалось записи сигналов эхо последовательности импульсов.

Основные требования к вычислительному комплексу впервые были сформулированы в [1] и за последнее время существенно не изменились. В настоящий момент существенно изменились технические параметры средств вычислительной техники [5], которые дали возможность решать задачи, которые ранее не могли быть решены. Для уточнения некоторых технических характеристик, которыми должна обладать система управления ЯМР, рассмотрим некоторые вопросы точности измерения исследуемого сигнала и ее влияние на точность получаемых характеристик. Цифровая обработка сигналов, используемых в спектрометрах ЯМР, обычно строится на базе АЦП с последующим использованием цифровых методов обработки [6, 7].

На рис. 1 представлены графики изменения относительной погрешности определения начальной амплитуды ΔA_0 , времени спиновой релаксации ΔT_2 и величины ΔK_2 , пропорциональной коэффициенту самодиффузии, в зависимости от ошибки измерения амплитуды ΔA .

Из графиков следует, что рост ошибок измерения амплитуды вызывают рост погрешности определения параметров A_0 , T_2 и K_2 . Причем наибольшему влиянию подвержена величина коэффициента самодиффузии. Величина ошибки измерения амплитуды наибольшим образом сказывается на конечном результате, особенно, при больших значениях τ . Это обусловлено тем, что с увеличением τ амплитуда эхосигнала уменьшается и относительная ошибка возрастает.

Рис. 1. Графики изменения ошибок от ΔA

3. Цель статьи – совершенствование системы управления спектрометром ЯМР с применением микроконтроллеров АРМ и учетом требований к проведению многократных исследований в пищевых технологиях.

4. Структурная реализация. Моделирование системы на базе реальных значений параметров пищевых продуктов показало, что если повысить точность измерения при $\tau = 0,05$ и $\tau = 0,06$, то можно существенно уменьшить ошибку определения параметров. Для уменьшения влияния случайных ошибок использован метод накопления с последующим усреднением полученных результатов [4, 5]. Приведенный анализ показал, что существенно повысить точность измерений можно увеличением количества измерений для всех значений интервалов зондирующих импульсов, что нецелесообразно, так как существенно возрастет время проведения эксперимента. Применение АЦП с большей разрядностью, может повысить точность измерения, однако снять проблемы, связанные с влиянием помехи, нельзя.

При увеличении числа измерений возникает проблема их автоматизации, так как резко возрастет длительность проведения исследований. При этом, возможно, придется решать задачи, связанные с дрейфом основных параметров установки ЯМР. Автоматизация процесса измерений должна учитывать ряд последовательно выполняемых действий (учета количества измерений, фиксация полученных результатов, обработка полученной информации и непосредственное управление спектрометром). При этом целесообразно использовать последовательный порт USB или системную шину компьютера, через которые выполняется управление измерительной аппаратурой ЯМР спектрометра [7].

Важную роль в процессе измерений играет температурный режим. Во многих случаях требуется только регистрировать температуру. Для этого целесообразно использовать для ввода информации о температуре отдельный канал измерения. Поскольку данный параметр меняется относительно медленно, то для передачи данных в персональный компьютер можно использовать последовательный канал типа USB. Причем для работы с данным портом целесообразно использовать АЦП последовательного приближения, так как частота изменения сигнала не превышает 1 – 10 Гц.

С учетом приведенных доводов структурная схема системы управления спектрометром ЯМР имеет вид, представленный на рис. 2.

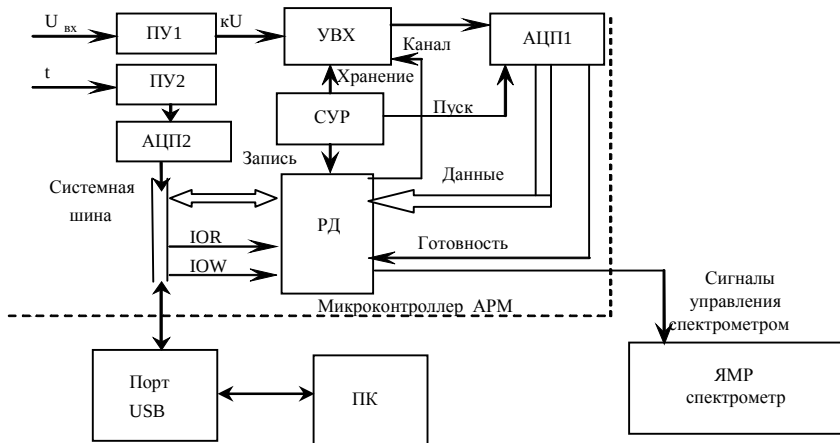


Рис. 2. Структурная схема системы управления спектрометром ЯМР

В системе измерительный сигнал поступает на вход предварительного усилителя ПУ1 и после преобразования в АЦП1 поступает на вход устройства выборки-хранения – УВХ, назначение которого состоит в запоминании сигнала на время преобразования сигнала АЦП1. Низкочастотные сигналы (от датчика температуры) через согласующий каскад усиления ПУ2 поступают прямо на АЦП2 и через порт USB вводятся в персональный компьютер (ПК) [8]. Управление измерительными блоками спектрометра ЯМР осуществляется сигналами микроконтроллера АРМ, параметры которых через порт USB поступают

от ПК. Программное обеспечение предлагаемой системы управления состоит из двух основных частей:

- программа формирования зондирующих импульсов с применением МК АРМ32 и специального ПО;
- программа для предварительной обработки полученной информации, управления спектрометром ЯМР, ведения протокола проведения экспериментов и документирования.

Для реализации данной задачи был применен микроконтроллер АРМ 32, который имеет в своём составе 8 встроенных 12 разрядных АЦП и 6 таймеров. Применение таймеров позволяет значительно сократить расход машинного времени процессора на управление спектрометром ЯМР при формировании зондирующих импульсов и использовать его для приема и хранения получаемых данных при анализе состояния продукта.

Выводы. На основе анализа предметной области сформулирована постановка задачи реализации системы управления спектрометром ЯМР. Отмечено, что достижение приемлемой точности определения коэффициента самодиффузии возможно без существенного увеличения общего объема измерений. Предложена и обоснована структурная схема системы управления спектрометром ЯМР с применением микроконтроллера АРМ 32.

Список литературы: 1. *Фаррар Т.* Импульсная Фурье-спектроскопия / *Т. Фаррар, Э. Беккер.* – М.: Мир, 1973. – 164 с. 2. *Лёше А.* Ядерная индукция / *А. Лёше.* – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 684 с. 3. *Carr Н.У.* Влияние диффузии на свободную прецессию в опытах по ядерному магнитному резонансу / *Н.У. Carr, Е.М. Purcell.* – Phys Rev. – 1954. – № 94. – 630 с. 4. *Даниленко О.Ф.* Автоматизована система виміру ЯМР спектрометра / *О.Ф. Даниленко, О.Г. Дьяков, О.І. Торяник* // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – Вип. 2. Харків, 2005. – С. 336-342 5. *Даниленко А.Ф.* Повышение точности измерений при исследовании продуктов с небольшим влагосодержанием / *А.Ф. Даниленко, А.Г. Дьяков* // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 46. – С. 155-159. 6. *Котляр А.М.* Современные проблемы питьевой пресной воды / *А.М. Котляр* – Х.: Факт, 2002. – 232 с. 7. *Афонский А.А.* Новое качество лаборатории USB – ваша LAN-лаборатория / *А.А. Афонский* // Контрольно-измерительные приборы и системы. – 2008. – С. 15-18. 8. *Олсон Г.* Цифровые системы автоматизации процесса управления / *Г. Олсон, Д. Пиани.* – СПб.: Невский диалект, 2012. – 254 с.

Поступила в редакцию 20.06.13

После доработки 11.11.13

Статью представил д-р хим. наук, проф. Харьковского государственного университета питания и торговли Торяник О.І.

УДК 621.314.7

Система управління спектрометром ЯМР / Даниленко О.Ф., Дьяков О.Г.
// Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 16 – 23.

Запропоновано і обґрунтовано підхід для підвищення якості вимірювання параметрів харчових продуктів. Розглянуто підходи до побудови системи управління спектрометром ЯМР. Найбільша увага приділена вимірюванню коефіцієнта самодифузії, як одного з основних показників, що використовується при дослідженнях харчових продуктів. На основі аналізу вимог до точності вимірювання параметрів обґрунтована і запропонована структура системи управління спектрометром ЯМР з використанням мікроконтролера АРМ. Іл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: харчові продукти, спектрометр, ЯМР, самодифузія, мікроконтролер, система управління.

UDC 621.314.7

Control system spectrometer NMR / Danilenko A.F., Dyakov A.G. / Herald of the National Technical University "KhPI" Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 16 – 23.

The approaches to construction of control system to NMR-spectrometer are considered. The most attention is given to the measurement of self-diffusion coefficient as one of principal indices which are used by the research of food products. On the base of the analysis of demands to the precision of parameters` measurement the structural scheme of control system to NMR-spectrometer is grounded and proposed the use ARM microcontroller. Figs.: 2. Refs.: 8 titles.

Keywords: food products, NMR-spectrometer, self-diffusion, microcontroller, control system.

УДК 514.8

А.О. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
К.В. АНІСІМОВ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ"

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ

Розглянуто моделювання процесу освітлення з використанням алгоритму "radiosity". Наведено основні підходи до розв'язання задачі моделювання освітлення в комп'ютерній графіці. Розглянуто основні етапи розрахунків форм-фактору поверхні та долі енергії, що надходить від випромінювача до елементарної частки поверхні. Лл. 6. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: radiosity, форм-фактор, освітлення, геометричне моделювання.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Під час аналізу процесів, пов'язаних зі штучним або природнім освітленням виникає проблема комп'ютерного моделювання таких процесів. Швидкість та ефективність процесу суттєво залежить від обраного алгоритму обчислення освітлення.

За останні роки відбувається інтенсивний розвиток комп'ютерних алгоритмів освітлення, з яких можна виділити такі:

1. Моделі локального освітлення (не враховують передачу світла між поверхнями та вторинне освітлення), які були історично першими: до них належать алгоритми Гуро [1] та Фонга [2].

2. Моделі глобального освітлення: алгоритм трасування променів [3], алгоритм "radiosity" [4, 5, 7] та гібридні алгоритми на їх основі [6].

Серед вказаних моделей алгоритми локального освітлення є найбільш простими в реалізації, але вони не надають необхідної точності результату [6, 8, 9]. З іншого боку, алгоритми трасування променів та "radiosity" є більш точними, але швидкість розрахунку їх суттєво менша в порівнянні з моделями Гуро та Фонга [10, 11]. Алгоритм трасування більш придатний для розрахунків дзеркальних відображень, а алгоритм "radiosity" – для дифузного освітлення [12, 13].

Вказані алгоритми не враховують самозатінення ділянок поверхні випромінювача світла, тому при дослідженнях реальних процесів освітлення та оцінки коефіцієнту корисної дії компактних люмінесцентних ламп виникає необхідність внесення змін до алгоритмів освітлення, які б враховували такі недоліки.

Ціль статті. Удосконалення алгоритму "radiosity" з метою оцінювання освітлення від випромінювача складної геометричної форми, що має ділянки з самозатіненням та його комп'ютерна реалізація.

© А.О. Дашкевич, К.В. Анісімов, 2013

Основна частина. Алгоритм "radiosity" полягає в тому, що усі поверхні, які використовуються в розрахунках (в тому числі і поверхня випромінювача світла), необхідно поділити на елементарні одиниці площі – так звані "патчі" (рис. 1). Далі оцінюється освітлення для всіх патчів (рис. 2):

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cos \theta_i}{d_i}, \quad (1)$$

де I_i — інтенсивність випромінюваного освітлення точкового джерела світла S_i ; d_i — відстань від джерела світла до поверхні-приймача.

Наступним етапом розраховується форм-фактор випромінювання – частка енергії, яка передається від деякої елементарної одиниці поверхні-джерела (Φ_{ij} – світловий потік) до поверхні-приймача. При цьому враховується взаємна орієнтація цих двох поверхонь (рис. 2).

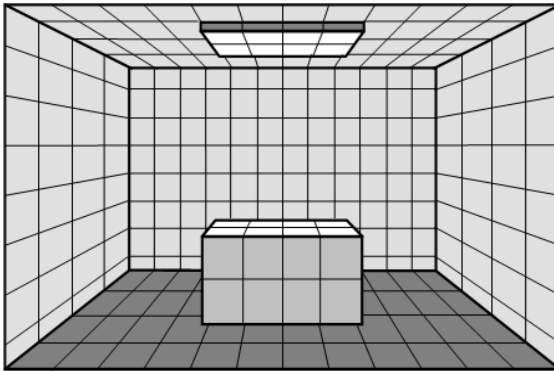


Рис. 1. Розбиття поверхні приміщення та джерела світла на елементарні одиниці площі

Розрахунок форм-фактору dF_{ij} від елементарного патчу dE_i до елементарного патчу dE_j матиме вигляд:

$$dF_{ij} = \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j dA_j}{\pi r^2}, \quad (2)$$

де θ_i та θ_j – кути між прямою, що поєднує dE_i та dE_j , та їх відповідними нормальми n_i та n_j ; r – відстань між елементарними патчами dE_i та dE_j ; dA_j – диференційна площа патчу dE_j ; A_i , A_j – повна площа поверхні джерела і приймача.

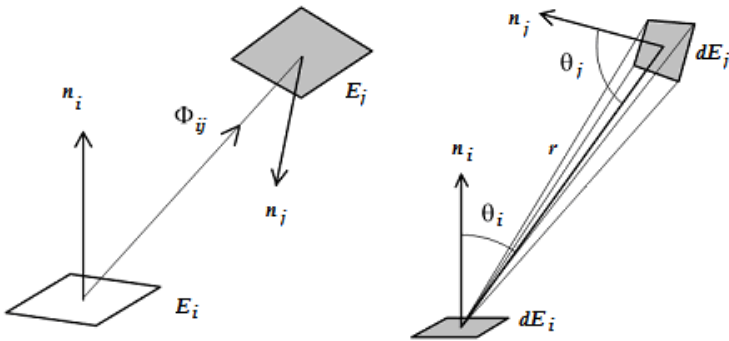


Рис. 2. До розрахунку форм-фактору

Також відома формула для форм-фактору від скінченної поверхні E_i до елементарного патчу dE_j :

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i, \quad (3)$$

але це рівняння в загальному випадку не має аналітичного рішення і мусить бути розв'язано чисельними методами. Серед таких методів можна виділити методи одиничної напівсфери, одиничного напівкубу (рис. 3) та кубічного тетраедру.

Всі ці методи призначені для спрощення розв'язку рівняння (3). Для розробленої програми було обрано метод напівкубу як більш простий у реалізації і внаслідок – меншої обчислювальної складності. В алгоритмі напівкубу значення форм-фактору дорівнює відношенню проекції поверхні, що випромінює на поверхню напівкущу, до площі поверхні самого напівкубу, яка складається з суми площин п'яти його граней (див. рис. 4). Для цього засобами бібліотеки комп'ютерної графіки OpenGL було реалізовано вказаний алгоритм. В якості поверхні-випромінювача було обрано поверхню стандартної компактної люмінесцентної лампи (КПЛ) (рис. 3), яку було створено в програмі Autodesk 3ds Max. На рис. 5 наведено приклад проекції поверхні КЛЛ на поверхню напівкубу.

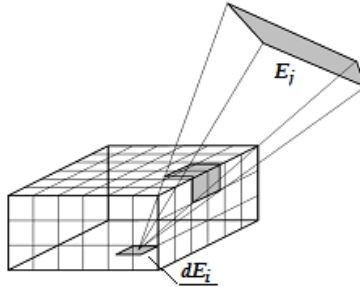


Рис. 3. Метод напівкубу

Таким чином розраховується значення форм-фактору між усіма патчами поверхні-приймача та усіма патчами поверхні-джерела. Після цього розраховується загальна кількість енергії, яку отримує поверхня-приймач:

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m dF_{ij}, \quad (4)$$

де n – кількість патчів в поверхні-джерела, m – кількість патчів поверхні-приймача.

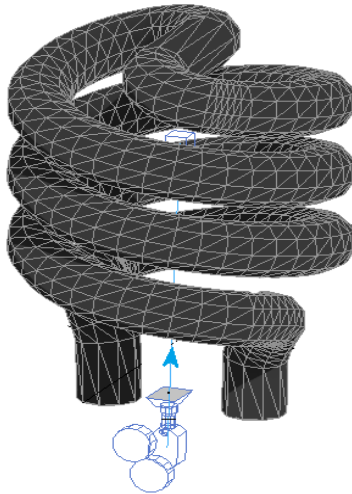


Рис. 4. Модель КЛЛ та ділянка поверхні напівкубу (в вигляді камери)

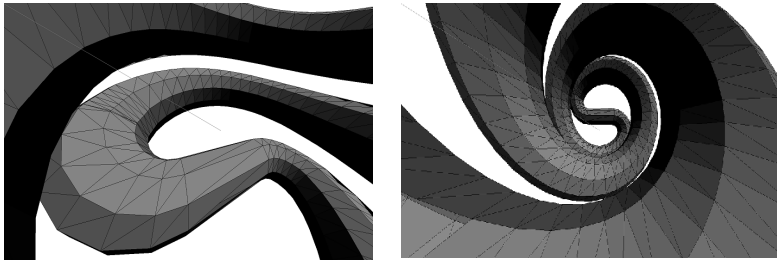


Рис. 5. Приклади проекцій поверхні лампи на поверхню напівкубу

Розглянемо роботу запропонованого алгоритму: на рис. 4 наведено деяке положення точки огляду (елементарний патч), в якій розміщено напівкуб (зображено в вигляді камери), який зорієнтовано уздовж нормалі до поверхні-приймача. Далі, засобами графічної бібліотеки OpenGL отримуємо проекцію поверхні лампи на напівкуб, яку наведено на рис. 5. Така проекція може бути використана для розрахунку форм-фактору замість розрахунку інтегралу складної поверхні лампи. В такому випадку запропоновано рахувати кількість пікселів отриманої проекції поверхні та обчислювати їх співвідношення до загальної кількості пікселів зображення.

Для реалізації алгоритму було обрано мову програмування C++ та графічну бібліотеку OpenGL. Було створено функції завантаження моделі лампи у віртуальне середовище бібліотеки lib3ds, візуалізації отриманої моделі та розрахунку площі проекції поверхні на поверхню напівкубу в кожній точці поверхні-приймача світла.

Висновки. 1. В роботі наведено модель, що дозволяє використовувати складні поверхні, які задані полігональною сіткою, що надає змогу відмовитися від обчислення інтегралу освітлення для аналітично заданих поверхонь.

2. Результати роботи дозволяють провести комп'ютерні експерименти, результати яких можуть бути використані для розрахунків ККД компактних люмінесцентних ламп.

3. Створено комп'ютерну реалізацію вдосконаленого алгоритму "radiosity", яка дозволяє провести розрахунок для будь-якої геометричної форми як поверхні-випромінювача, так і поверхні-приймача.

Список літератури: 1. *Gouraud H.* Continuous shading of curved surfaces / *H. Gouraud* // IEEE Transactions on Computers. – 1971. – 20. – №. 6. – P. 623-629. 2. *Phong B.* Illumination for computer generated pictures / *B. Phong* // Communications of ACM. – 1975. – 18. – № 6. –

P. 311-317. **3. Whitted T.** An improved illumination model for shaded display / T. Whitted // Communications of the ACM. – 1980. – 23. – № 6. – P. 343-349. **4. Gijsenij Van De.** Computational color constancy: Survey and experiments // A. Gijsenij, T. Gevers and J. Weijer // Image Processing, IEEE Transactions on. – 2011. – Vol. 20. – №. 9. – P. 2475-2489. **5. Gijsenij A.** Color constancy for multiple light sources / A. Gijsenij, R. Lu, T. Gevers // Image Processing, IEEE Transactions on. – 2012. – Vol. 21. – №. 2. – P. 697-707. **6. Goral C.** Modeling the interaction of light between diffuse surfaces / C. Goral, K. Torrance, D. Greenberg, B. Battaile // Computer Graphics. – 1984. – 18. – №. 3. – P. 213-222. **7. Hamilton A.C.** Metamaterials for light rays: ray optics without wave-optical analog in the ray-optics limit / A.C. Hamilton, J. Courtial // New J. Phys. – 2009. – 11. – P. 11. **8. Sava M.** A Novel Colour-Constancy Algorithm: A Mixture of Existing Algorithms / M. Sava, D. Zazula, B. Potocnik // Journal of the Laser and Health Academy. – 2012. – №. 1. – P. 5-36. **9. Анісімов К.В.** Особливості прогнозування контуру вигорання при лісових пожежах / К.В. Анісімов // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. – Харків: ХДУХТ, 2009. – Вип. 23. – С. 203-208. **10. Кукуруза Д.В.** Геометричне модулювання розподілу значень локальних кутових коефіцієнтів випромінювання на множенні точок площини: Дисс. канд. техн. наук: 05.01.01 – Київ: КГТУСА (КИСИ), 2007. – 185 с. **11. Хауэл Дж.** Теплообмен излучением / Дж.Хауэл. – М.: Мир, 1975. – 934 с. **12. Попов В.М.** Метод оцінки теплового потоку, що випромінюється еліпсоїдом як факелом полум'я / В.М. Попов, Л.М. Куценко, В.В. Семенова-Кулиш. – Харків: ХПІБ МВС України, 2000. – 144 с. **13. Шоман О.В.** Геометричне моделювання променевого енергообміну між аналітично заданими поверхнями: Дисс. канд. техн. наук: 05.01.01. – К.: КГТУСА, 1998. – 165 с.

Надійшла до редакції 20.09.2013

Статтю представив д-р техн. наук., проф. каф. геометричного моделювання та комп'ютерної графіки НТУ "ХПІ" Ніцин О.Ю.

УДК 514.8

Геометрическое моделирование процесса освещения / Дашкевич А.А., Анисимов К.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 24 – 29.

Рассмотрено моделирование процесса освещения с использованием алгоритма "radiosity". Приведены основные подходы к решению задачи моделирования освещения в компьютерной графике. Рассмотрены основные этапы расчетов форм-фактора и доли энергии, поступающей от излучателя к приемнику. Ил.: 5. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: radiosity, форм-фактор, освещение, геометрическое моделирование.

UDC 514.8

Geometrical modeling of illumination process / Dashkevich A.A., Anisimov K.V. / Herald of the National Technical University "KhPI" Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 24 – 29.

The illumination process with the algorithm "radiosity" is considered. The main approaches to solve the illumination problem in computer graphics is given. The main stages of form-factor and part of energy from source of light to the receiver site calculating is shown. Figs.: 6. Refs.: 13 titles.

Keywords: radiosity, form-factor, illumination, geometrical modeling.

УДК 519.71:004.89

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
А.Ю. ЗАКОВОРОТНЫЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
В.А. БРЕЧКО, аспирант, НТУ "ХПИ"

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ХЕММИНГА И ХЕББА, СПОСОБНЫЕ ДООБУЧАТЬСЯ

Впервые на основе нейронных сетей Хемминга и Хебба предложены архитектуры и алгоритмы функционирования дискретных стабильно-пластичных нейронных сетей, которые не только могут дообучаться, но и распознавать новую информацию. Новые сети могут стать альтернативой дискретным нейронным сетям адаптивной резонансной теории. Ил.: 5. Табл.: 4. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: нейронные сети Хемминга и Хебба, стабильно-пластичные нейронные сети, нейронные сети адаптивной резонансной теории.

Постановка проблемы и анализ литературы. Системы распознавания, классификации и управления на основе искусственных нейронных сетей широко применяются для решения самых различных задач. Успешное применение нейронных сетей при решении разнообразных задач обусловлено их универсальностью, возможностью замены различных традиционных проблем, возникающих при решении конкретных прикладных задач, обучением нейронных сетей на примерах, возможностью самообучения и разработки нейронных сетей под решаемую задачу, и т.д. [1 – 6].

При наличии достаточно полной информации об объекте исследования, возможно использование целого ряда различных видов нейронных сетей, подходящих для создания распознающих, классифицирующих и управляющих систем. Однако при разработке систем для реальных объектов зачастую возникают ситуации, когда информация об объекте далеко не полная или будет уточняться в процессе функционирования объекта. Это обстоятельство резко сокращает круг нейронных сетей, которые целесообразно использовать в таких ситуациях, поскольку обучение новому образцу в общем случае приведет к полному переобучению нейронной сети. Также ограничение на применяемые сети накладывает и чувствительность сетей к новым данным при поступлении входной информации. Все вышеперечисленное привело к разработке принципиально новых конфигураций нейронных сетей использующих в своей основе адаптивную резонансную теорию [7 – 10] и решающих проблему стабильности – пластичности, то есть

© В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. В.А. Бречко, 2013

проблему восприятия и запоминания новой информации при сохранении уже имеющейся.

Нейронные сети адаптивно резонансной теории относят входное изображение к одному из известных классов изображений, если оно в достаточной степени похоже на прототип этого класса. Степень сходства с прототипом класса при этом определяется по заданному параметру сходства. Если найденный прототип соответствует входному изображению с заданной точностью, то он модифицируется, чтобы стать более похожим на предъявленное изображение. Если входное изображение сети адаптивной резонансной теории (АРТ) не похоже в достаточной степени ни на одно из изображений, хранящихся в памяти нейронной сети (в весах связей), то на его основе создается новый класс. Это возможно благодаря наличию в сети избыточных нейронов, которые не используются до тех пор, пока в этом нет необходимости (если избыточных нейронов уже нет и входное изображение не относится ни к одному из известных классов, то оно не вызывает реакции сети). Таким образом, нейронные сети АРТ могут запоминать новую информацию без искажения запомненной ранее информации или переобучения сети.

Указанное достоинство сетей АРТ достигается за счет введения в архитектуру нейронных сетей избыточных нейронов, которые используются только для дообучения сети. Введение избыточных нейронов может позволить решить проблему дообучения или проблему стабильности – пластичности и других нейронных сетей.

Целью данной работы является разработка стабильно-пластичных нейронных сетей Хемминга и Хебба.

Стабильность дискретных нейронных сетей АРТ-1 [9] обеспечивается наличием дополнительных нейронов, на которые и записывается новая информация. При этом каждый распознающий нейрон хранит или будет хранить информацию в весах своих связей только об одном изображении. Подобный слой нейронов имеет и сеть Хемминга (рис. 1), где каждый Z-нейрон в весах своих связей хранит одно изображение, являющееся представителем своего класса.

Сеть Хемминга имеет n входных нейронов $S_1, \dots, S_n$, воспринимающих бинарные компоненты входных изображений $S^q = (S_1^q, \dots, S_n^q)$, $q = 1, \dots, L$. Выходные сигналы S -элементов при входном изображении S^q определяются соотношениями: $U_{\text{вх } S_i} = S_i^q$, $U_{\text{вых } S_i} = U_{\text{вх } S_i}$, $i = 1, \dots, n$.

При предъявлении входного изображения S^q каждый Z -нейрон рассчитывает свой входной сигнал в соответствии с выражением вида (1)

$$U_{\text{вх } Z_p} = \frac{n}{2} + \sum_{i=1}^n W_{ip} S_i^q, \quad p = 1, \dots, m, \quad (1)$$

где W_{ip} ($i = 1, \dots, n$) – веса связей от нейронов входного слоя к нейрону Z_p , хранящему информацию о p -м эталонном изображении $V^p = (v_1^p, \dots, v_n^p)$.

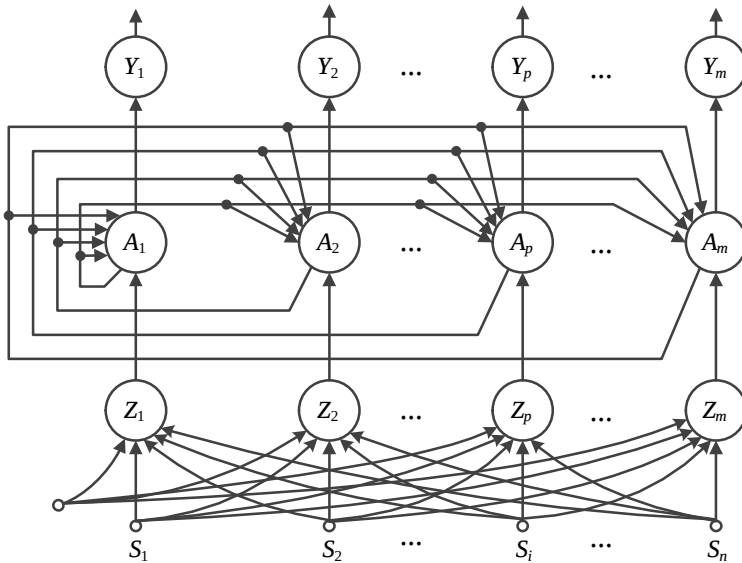


Рис. 1. Нейронная сеть Хемминга.

Функция активации Z -нейронов описывается соотношением

$$g_Z(U_{\text{вх}}) = \begin{cases} 0, & \text{если } U_{\text{вх}} \leq 0, \\ k_1 U_{\text{вх}}, & \text{если } 0 < U_{\text{вх}} \leq U_{\text{max}}, \\ U_{\text{max}}, & \text{если } U_{\text{вх}} > U_{\text{max}}, \end{cases} \quad (2)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входной сигнал Z -нейрона; k_1, U_{max} – константы.

С помощью функции активации (2) определяются выходные сигналы нейронов Z -слоя: $U_{\text{вых } Z_1}, \dots, U_{\text{вых } Z_m}$, которые являются

входными сигналами нейронов A_p ($p = 1, \dots, m$). Функция активации нейронов A_p ($p = 1, \dots, m$) и веса их связей задаются соотношениями:

$$g_A(U_{\text{вх}}) = \begin{cases} U_{\text{вх}}, & \text{если } U_{\text{вх}} > 0, \\ 0, & \text{если } U_{\text{вх}} \leq 0, \end{cases} \quad W_{ij}^A = \begin{cases} 1, & \text{если } i = j, \\ -\varepsilon, & \text{если } i \neq j, \quad i, j = 1, \dots, m, \end{cases}$$

где ε – константа, удовлетворяющая неравенствам $0 < \varepsilon \leq 1/m$.

Слой A -нейронов функционирует циклически, динамика элементов описывается итерационным выражением

$$U_{\text{вх } A_p}(t+1) = q_A(U_{\text{вых } A_p}(t) - \varepsilon \sum_{j=1, j \neq p}^m U_{\text{вых } A_j}(t)), \\ p = 1, \dots, m, \quad t = 0, 1, 2, \dots,$$

при начальных условиях $U_{\text{вх } A_p}(0) = U_{\text{вых } Z_p}$, $p = 1, \dots, m$.

Если среди входных сигналов нейронов $A_1, \dots, A_m$ окажется один наибольший сигнал $U_{\text{вх } A_p}$, то в результате итерационного процесса в подсети Махнет только один A -нейрон останется с выходным сигналом, большим нуля. Поскольку выходные сигналы A -элементов поступают на входы Y -нейронов, которые имеют функцию активации вида

$$g_Y(U_{\text{вх}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } U_{\text{вх}} > 0, \\ 0, & \text{если } U_{\text{вх}} \leq 0, \end{cases}$$

то в результате на выходе сети Хемминга только один нейрон Y_p окажется с единичным выходным сигналом. Единичный выход этого нейрона и нулевые всех остальных и будут указывать на то, что предъявленное изображение S^q наиболее близко, в смысле расстояния Хемминга, к эталонному изображению, хранящемуся в весах связей нейрона Z_p . Если в слой Z -нейронов сети Хемминга ввести дополнительные Z -нейроны (и соответствующие им A - и Y -нейроны), способные запоминать новую информацию (эталонные изображения новых классов), то такая сеть также сможет дообучаться и будет обладать свойствами стабильности и пластичности, то есть свойствами дискретной нейронной сети АРТ-1.

Еще одно достоинство нейронных сетей АРТ – возможность выделять новую информацию. Это достигается тем, что входное изображение сравнивается по величине параметра сходства с эталонными

изображениями, хранящимися в весах связей распознающих нейронов. Если входное изображение относится к новому классу, то при сравнении с любым эталонным изображением, хранящемся в весах связей распределенных распознающих нейронов, получается параметр сходства меньше минимально допустимого. Поэтому в результате такого сравнения все распределенные распознающие Y-нейроны будут заторможены, что и является признаком того, что входное изображение несет новую информацию, которой нет в памяти нейронной сети АРТ.

В нейронной сети Хемминга сравнение изображений (или биполярных векторов) выполняется по числу компонент, в которых входное и эталонное изображения совпадают: $a = n - R_x$, где n – число компонент изображения; R_x – расстояние Хемминга между изображениями. Поэтому по аналогии с нейронными сетями АРТ можно задать минимально допустимое значение числа совпадающих компонент $a_{\min}$, при которых могут сравниваться входное и эталонное изображения, а при $a < a_{\min}$ входное изображение и эталонное несравнимы или, другими словами, входное изображение несет новую информацию по сравнению с изображением, хранящемся в весах связей нейронной сети. Учесть значение $a_{\min}$ в архитектуре нейронной сети несложно – достаточно ввести дополнительное смещение на нейроны Z-слоя (точнее – изменить величину смещения $n/2$). При этом входные сигналы Z-нейронов будут описываться модифицированным соотношением (1):

$$U_{\text{вх}Z_p} = \frac{n}{2} - a_{\min} + 1 + \sum_{i=1}^n W_{ip} U_{\text{вых}S_i} = a - a_{\min} + 1, \quad p = 1, \dots, q, \quad (3)$$

где q – число Z-нейронов, хранящих эталонные изображения.

Из (3) следует:

$$U_{\text{вых}Z_p} = \begin{cases} 0, & \text{если } a < a_{\min}, \\ 1, & \text{если } a = a_{\min}, \\ U_{\text{вых}Z_p} > 1, & \text{если } a > a_{\min}. \end{cases}$$

Таким образом, если на выходе всех распределенных Z-нейронов выходные сигналы равны нулю ($U_{\text{вых}Z_p} = 0, p = 1, \dots, q$), то входное изображение по принятому критерию близости изображений не является похожим ни на одно из известных эталонных изображений и несет новую информацию. Для аппаратного определения новизны входного

изображения в архитектуру нейронной сети Хемминга достаточно ввести один нейрон Σ , суммирующий выходные сигналы всех нейронов Z -слоя. Если после предъявления входного изображения на выходе нейрона Σ нулевой выходной сигнал, то это означает, что входное изображение по расстоянию Хемминга находится далеко от эталонных изображений, хранящихся в весах связей нейронов Z -слоя, и является представителем нового класса изображений. Если после предъявления входного изображения выходной сигнал нейрона Σ положителен, то это означает, что входное изображение является представителем известного класса изображений, хранящегося в памяти нейронной сети.

Обобщение результатов по сети Хемминга на нейронную сеть Хебба. Результаты, полученные по сети Хемминга, могут быть обобщены и на другие нейронные сети. Проиллюстрируем это на примере нейронной сети Хебба. Архитектура этой сети приведена на рис. 2 [9]. Основу архитектуры составляет группа из m бинарных или биполярных нейронов $Y_1, \dots, Y_m$. Сеть может запоминать до 2^m черно-белых изображений. Однако, применение этой сети для запоминания и распознавания 2^m (или близких к 2^m чисел) различных изображений во многих случаях приводит к неразрешимым проблемам адаптации весов связей нейросети. Поэтому часто рекомендуют использовать данную сеть для запоминания только m различных классов изображений, задавая каждое из них, единственным выходным сигналом на выходе только одного нейрона Y -слоя (выходные сигналы остальных $(m - 1)$ элементов должны принимать значение "-1" для биполярных нейронов или "0" для бинарных).

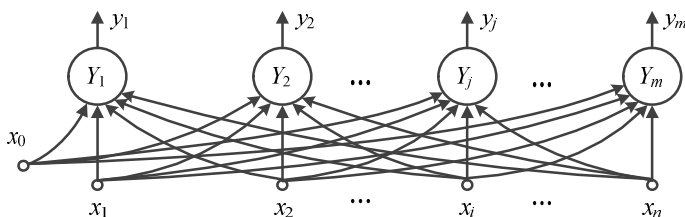


Рис. 2. Нейронная сеть Хебба

Нейронная сеть обучается с помощью алгоритма на основе правила Хебба. Для биполярных нейронов алгоритм обучения имеет следующие основные шаги:

Шаг 1. Задается множество $M = \{(S^1, t^1), \dots, (S^m, t^m)\}$, состоящее из m пар (входное изображение $S^k = (S_1^k, \dots, S_n^k)$, необходимый вектор

выходных сигналов $t^k = (t_1^k, \dots, t_m^k)$, $k = 1, \dots, m$, задаются нулевые выходные сигналы нейронов Y -слоя: $U_{\text{вых}Y_j} = 0$, $j = 1, \dots, m$. Задаются предельное число эпох $N_{\text{пр}}$ обучения сети. Иницируются веса связей нейронов: $W_{ij} = 0$, $i = 0, 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$.

Шаг 2. Начинается обучение нейронной сети правильной реакции на каждое входное изображение. Последовательно каждая пара (S^k, t^k) , $k = 1, \dots, m$, проверяется на правильность реакции нейронной сети на входное изображение. Если полученный выходной вектор сети $(y_1^k, \dots, y_m^k)$ отличается от заданного $t^k = (t_1^k, \dots, t_m^k)$, то выполняются шаги 3–5 алгоритма. Если выходной вектор сети совпадает с требуемым, то осуществляется переход к следующей паре. Если выходной вектор совпадает с заданным и проверяемая пара является последней, то переход на шаг 7 алгоритма.

Шаг 3. Иницируется множество входных нейронов:

$$x_0 = 1, \quad x_i = S_i^k, \quad i = 1, \dots, n.$$

Шаг 4. Иницируется множество выходных нейронов сети:

$$U_{\text{вых}Y_j} = t_j^k, \quad j = 1, \dots, m.$$

Шаг 5. Корректируются веса связей нейронов сети по правилу Хебба:

$$W_{ij}(\text{new}) = W_{ij}(\text{old}) + x_i t_j^k, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m.$$

Шаг 6. Если скорректированы веса связей для последней пары (S^m, t^m) , то переход на шаг 7 алгоритма. В противном случае – на шаг 2 алгоритма.

Шаг 7. Проверяется условие останова, то есть правильность функционирования сети при предъявлении каждого входного изображения. Если сеть функционирует правильно, то переход на шаг 8 алгоритма. Если сеть функционирует неправильно, то проверяется достижение предельного числа эпох обучения сети $N_{\text{пр}}$. Если $N_{\text{пр}}$ не достигнуто, то переход на шаг 2 алгоритма, в противном случае – переход на следующий шаг алгоритма.

Шаг 8. Останов.

Для обеспечения стабильности в нейронных сетях АРТ при запоминании новой информации используются дополнительные

нейроны, введение которых и позволяет запоминать новую информацию и не разрушать уже имеющуюся. Покажем, что этот же эффект может быть достигнут и в нейронной сети Хебба при введении дополнительных распознающих нейронов. Продемонстрируем это на конкретном примере.

Пример 1. Пусть задана нейронная сеть Хебба, приведенная на рис. 3. Требуется запомнить изображения (S^1, S^2, S^3) приведенные на рис. 4 с помощью трех нейронов Y_1, Y_2, Y_3 . Нумерация элементов изображений отображена на изображении S^0 (рис. 4).

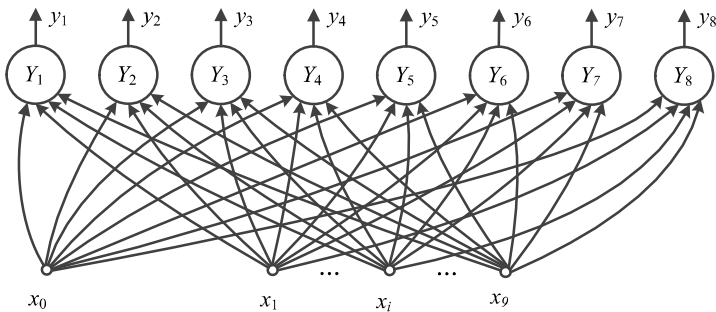


Рис. 3. Нейронная сеть Хебба с дополнительными запоминающими нейронами

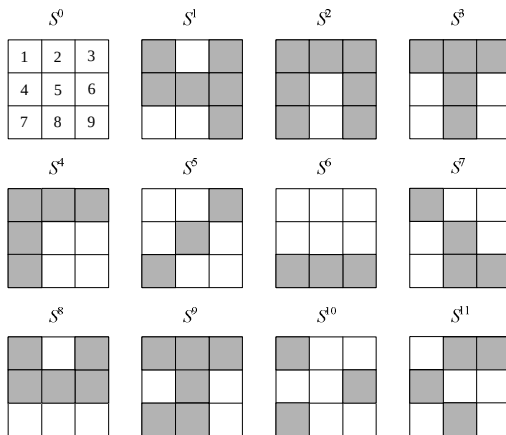


Рис. 4. Изображения, запоминаемые нейронной сетью Хебба

Для обучения нейронной сети изображениями S^1, S^2, S^3 необходимо выполнить следующие шаги:

Шаг 1. Задается множество $M = \{(S^1, t^1), (S^2, t^2), (S^3, t^3)\} = \{((1, -1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1), (1, -1, -1)), ((1, 1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, 1), (-1, 1, -1)), ((1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, 1, -1), (-1, -1, 1))\}$. Задаются нулевые выходные сигналы всех Y -нейронов и нулевые значения весов всех связей, задается начальный момент времени: $U_{\text{вых } Y_j} = 0$; $W_{ij} = 0$, $i = 0, 1, \dots, 9$, $j = 1, \dots, 8$; $t = t_0$.

Шаг 2. Начинается обучение нейронной сети парой (S^1, t^1) .

Шаг 3. Иницируется множество входов нейронной сети изображением S^1 : $x_0 = 1$, $x_1 = 1$, $x_2 = -1$, $x_3 = 1$, $x_4 = 1$, $x_5 = 1$, $x_6 = 1$, $x_7 = -1$, $x_8 = -1$, $x_9 = 1$.

Шаг 4. Иницируется множество выходных нейронов сети вектором требуемых выходных сигналов t^1 пары (S^1, t^1) : $U_{\text{вых } Y_1} = y_1 = t_1^1 = 1$; $U_{\text{вых } Y_2} = y_2 = t_2^1 = -1$; $U_{\text{вых } Y_3} = y_3 = t_3^1 = -1$.

Шаг 5. Определяются веса связей нейронов Y_1, Y_2, Y_3 сети по правилу Хебба.

Затем должны выполняться шаги алгоритма, связанные с предъявлением изображений S^2 и S^3 . В табл. 1 приведены результаты этих расчетов.

Таблица 1
Результаты расчетов весов связей сети Хебба после предъявления изображений S^1, S^2, S^3

Вес связи	W_{01}	W_{11}	W_{21}	W_{31}	W_{41}	W_{51}	W_{61}	W_{71}	W_{81}	W_{91}	W_{02}	W_{12}	W_{22}	W_{32}	W_{42}
Значение	-1	-1	-3	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
Вес связи	W_{52}	W_{62}	W_{72}	W_{82}	W_{92}	W_{03}	W_{13}	W_{23}	W_{33}	W_{43}	W_{53}	W_{63}	W_{73}	W_{83}	W_{93}
Значение	-3	1	3	-1	-1	-1	-1	1	-1	-3	1	-3	-1	3	-3

В табл. 2 представлены результаты предъявления обученной нейронной сети изображений $S^1, \dots, S^9$. Результаты получены для случая, когда Y -нейроны имеют следующую функцию активации:

$$U_{\text{вых } Y_j} = \begin{cases} 1, & \text{если } U_{\text{вх } Y_j} \geq 0, \\ -1, & \text{если } U_{\text{вх } Y_j} < 0, \end{cases}$$

где $U_{\text{вых } Y_j}$ и $U_{\text{вх } Y_j}$ – соответственно выходные и входные сигналы нейронов Y_j , $j = 1, 2, 3$.

Из анализа таблицы следует, что входные изображения $S^1, S^2, S^3, S^4, S^8, S^9$ вызывают реакцию сети, при которой при предъявлении любого из этих изображений на выходе нейронной сети наблюдается один положительный единичный сигнал и два отрицательных единичных сигнала, то есть сеть относит входное изображение к одному из трех известных классов. Анализ данных табл. 2 и изображений показывает, что произошло правильное распознавание шести изображений, несмотря на то, что три из них имеют дефекты (S^4, S^8, S^9).

Таблица 2
Результаты распознавания изображений $S^1, \dots, S^9$

Нейроны	Выходные сигналы нейронов при предъявлении изображений								
	S^1	S^2	S^3	S^4	S^5	S^6	S^7	S^8	S^9
Y_1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1
Y_2	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1
Y_3	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1
Результат распознавания	+	+	+	+	-	-	-	+	+

Нетрудно увидеть, что при отнесении входного изображения к одному из трех классов, представители которых хранятся в весах связей нейронов Y_1, Y_2, Y_3 , суммарный выходной сигнал этих нейронов равен

минус единице: $\sum_{j=1}^3 U_{\text{вых}Y_j} = -1$.

Если входное изображение не относится к классам изображений хранящихся в весах связей нейронов Y_1, Y_2, Y_3 , то имеем $\sum_{j=1}^3 U_{\text{вых}Y_j} \neq -1$,

что может служить признаком новой информации (нового изображения) на входном слое нейронов и необходимости обучения следующей группы Y -нейронов распознавать эту входную информацию. При этом обученные распознающие нейроны должны быть заблокированы в режиме распознавания и заблокированы или игнорироваться в режиме обучения следующей группы нейронов.

Нейроны Y_4, Y_5, Y_6 несложно обучить распознаванию изображений S^5, S^6, S^7 алгоритмом Хебба. Результат обучения приведен в табл. 3. При этом множество M_1 из обучающих пар задавалось следующим

образом: $M = \{(S^5, t^5), (S^6, t^6), (S^7, t^7)\} = \{((-1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1), (1, -1, -1)), ((-1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1), (-1, 1, -1)), ((1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, 1, 1), (-1, -1, 1))\}$.

В табл. 4 приведены результаты распознавания изображений S^5 , S^6 , S^7 , S^{10} и S^{11} .

Из анализа табл. 4 следует, что нейроны Y_4 , Y_5 , Y_6 относят изображения S^5 , S^6 , S^7 к известным классам, эталоны которых хранятся в весах связей этих нейронов. Изображения S^{10} и S^{11} нейронами Y_4 , Y_5 , Y_6 распознаются как не принадлежащие к этим классам, это же наблюдается и при предъявлении изображений S^{10} , S^{11} и первой группе нейронов Y_1 , Y_2 , Y_3 . Таким образом, для распознавания изображений S^{10} , S^{11} необходимо обучить еще два Y -нейрона: Y_7 , Y_8 .

Таблица 3

Результаты расчетов весов связей нейронов Y_4 , Y_5 , Y_6 после предъявления изображений S^5 , S^6 , S^7

Вес связи	W_{04}	W_{14}	W_{24}	W_{34}	W_{44}	W_{54}	W_{64}	W_{74}	W_{84}	W_{94}	W_{05}	W_{15}	W_{25}	W_{35}	W_{45}
Значение	-1	-1	1	3	1	1	1	1	-3	-3	-1	-1	1	-1	1
Вес связи	W_{55}	W_{65}	W_{75}	W_{85}	W_{95}	W_{06}	W_{16}	W_{26}	W_{36}	W_{46}	W_{56}	W_{66}	W_{76}	W_{86}	W_{96}
Значение	-3	1	1	1	1	-1	3	1	-1	1	1	1	-3	1	1

Таблица 4

Результаты распознавания изображений S^5 , S^6 , S^7 , S^{10} и S^{11}

Нейроны	Выходные сигналы нейронов при предъявлении изображений				
	S^5	S^6	S^7	S^{10}	S^{11}
Y_4	1	-1	-1	1	1
Y_5	-1	1	-1	1	1
Y_6	-1	-1	1	-1	-1
Результат распознавания	+	+	+	-	-

Нейроны Y_7, Y_8 будут распознавать указанные изображения после того, как при попытке их распознавания будут заблокированы сначала нейроны Y_1, Y_2, Y_3 , а затем нейроны Y_4, Y_5, Y_6 .

Обобщим результаты примера 1 на случай, когда вначале нейронная сеть Хебба обучается распознаванию множества из n_0 ($n_0 \geq 3$) изображений $M_0 = \{S^1, \dots, S^{n_0}\}$, каждое из которых кодируется на выходах Y -нейронов ($Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$) одним единичным сигналом и $(n_0 - 1)$ сигналами "–1". Суммарный выходной сигнал нейронов $Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$, правильно распознающих одно из изображений, относящихся к множеству M_0 , в этом случае равен

$$\sum_{i=1}^{n_0} U_{\text{вых} Y_i^0} = -(n_0 - 2). \quad (4)$$

Если при предъявлении нейронной сети изображения S^* соотношение (4) не выполняется, то это является признаком появления на входе нейронной сети новой информации (представителя нового класса изображений). При накоплении некоторого множества таких изображений $M_1 = \{S^{n_0+1}, S^{n_0+2}, \dots, S^{n_0+n_1}\}$, где $n_1 \geq 3$, могут быть обучены с помощью алгоритма Хебба следующие n_1 нейронов сети. Признаком того, что некоторое входное изображение S^* относится к множеству M_1 являются соотношения:

$$\sum_{i=1}^{n_0} U_{\text{вых} Y_i^0}(S^*) \neq -(n_0 - 2); \quad \sum_{i=1}^{n_1} U_{\text{вых} Y_i^1}(S^*) = -(n_1 - 2). \quad (5)$$

Появление изображений, для которых не выполняются соотношения (4) и (5), указывает на необходимость следующего дообучения нейронной сети. Число N шагов дообучения практически не ограничено.

На рис. 5 приведена архитектура нейронной сети Хебба, которая может дообучаться N раз. Сеть состоит из слоя входных нейронов $x_1, \dots, x_n$ и Y -слоя распознающих нейронов. Нейроны Y -слоя разбиты на $(N + 1)$ группу, каждая из которых может содержать разное число нейронов (но не меньше трех) и формироваться в процессе функционирования сети.

Первая группа нейронов $Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$ используется для запоминания исходной информации в виде множества изображений M_0 . Вторая и последующие группы нейронов $(Y_1^1, \dots, Y_{n_1}^1), \dots, (Y_1^N, \dots, Y_{n_N}^N)$ используются для обучения нейронной сети по мере накопления новой информации и последовательного запоминания множеств изображений $M_1, M_2, \dots, M_N$. В каждой группе нейронов выходные сигналы Y -нейронов поступают на входы управляющего нейрона, имеющего функцию активации вида

$$U_{\text{вых } \Sigma_d} = \begin{cases} 0, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_d} = \sum_{k=1}^{n_d} U_{\text{вых } Y_k^d} = -(n_d - 2), \\ 1, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_d} \neq -(n_d - 2), \quad d = 0, 1, \dots, N, \end{cases} \quad (6)$$

где $U_{\text{вых } \Sigma_d}$, $U_{\text{вх } \Sigma_d}$ – соответственно выходной и входной сигнал нейрона Σ_d ($d = 0, 1, \dots, N$); $U_{\text{вых } Y_k^d}$ – выходной сигнал нейрона Y_k^d ($d = 0, 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, n_d$); n_d – число нейронов в группе $Y_1^d, \dots, Y_{n_d}^d$.

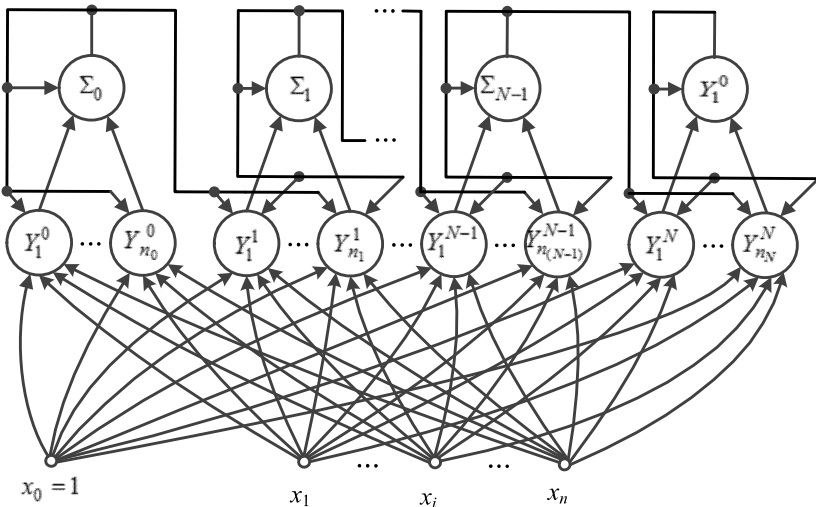


Рис. 5. Архитектура нейронной сети Хебба, которая может дообучаться N раз

Вначале режима распознавания обнуляются выходные сигналы Σ -нейронов и блокируется работа нейронов $Y_1^1, Y_2^1, \dots, Y_{n_N}^N$.

При подаче на вход нейронной сети, которая дообучалась L раз ($1 < L < N$), некоторого изображения S^* вначале активируются нейроны первой группы $Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$, выходные сигналы которых поступают на входы управляющего нейрона Σ_0 . Если выполняется соотношение

$$U_{\text{вх } \Sigma_0} = \sum_{k=1}^{n_0} U_{\text{вых } Y_k^0} = -(n_0 - 2), \quad (7)$$

то $U_{\text{вых } \Sigma_0} = 0$ и входное изображение S^* относится к множеству изображений M_0 , а конкретный класс изображений определяют выходные сигналы нейронов $Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$.

Если соотношение (7) не выполняется, то $U_{\text{вых } \Sigma_0} = 1$, что указывает на то, что входное изображение S^* не принадлежит множеству M_0 . Единичный выходной сигнал нейрона Σ_0 по цепи обратной связи фиксирует единичный выходной сигнал нейрона Σ_0 и поступает на входы нейронов первой группы, блокируя их. Одновременно этот же единичный сигнал управляющего нейрона поступает на входы распознающих нейронов $Y_1^1, \dots, Y_{n_1}^1$ второй группы и переводит их в активное состояние. Выходные сигналы нейронов $Y_1^1, \dots, Y_{n_1}^1$ поступают на входы управляющего нейрона Σ_1 , с помощью которого определяется принадлежность изображения S^* к множеству M_1 . Если выполняется соотношение

$$U_{\text{вх } \Sigma_1} = \sum_{k=1}^{n_1} U_{\text{вых } Y_k^1} = -(n_1 - 2), \quad (8)$$

то изображение S^* принадлежит множеству M_1 , а конкретный класс изображений определяют выходные сигналы нейронов $Y_1^1, \dots, Y_{n_1}^1$. Если равенство (8) не выполняется, то изображение S^* не принадлежит множеству M_1 и $U_{\text{вых } \Sigma_1} = 1$. Сигнал $U_{\text{вых } \Sigma_1}$ блокирует нейроны

$Y_1^1, \dots, Y_{n_1}^1$ и подключает к распознаванию нейроны третьей группы и т.д. В результате этого процесса входное изображение либо будет отнесено к одному из известных множеств изображений $M_0, M_1, M_2, \dots, M_L$, либо будет воспринято как новое изображение, которое необходимо запомнить сетью на $(L+1)$ -м дообучении нейронной сети.

Разработанный подход для дообучения нейронной сети Хебба может быть обобщен и на другие нейронные сети, в частности, на перцептроны с нейронами, имеющими непрерывные функции активации.

Выводы. Таким образом, впервые на основе нейронных сетей Хемминга и Хебба предложены архитектуры и алгоритмы функционирования дискретных стабильно-пластичных нейронных сетей, которые не только могут дообучаться, но и распознавать новую информацию. Новые сети могут стать альтернативой дискретным нейронным сетям адаптивной резонансной теории. Разработанный подход для дообучения нейронных сетей Хемминга и Хебба может быть обобщен и на другие нейронные сети, в частности, на перцептроны.

Список литературы: 1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2006. – 1104 с. 2. Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применение / О.Г. Руденко, Е.В. Бодянский. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2004. – 372 с. 3. Дмитриенко В.Д. Определение оптимальных режимов ведения дизель-поезда с использованием нейронных сетей АРТ / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, М.В. Литчанский, А.Ю. Заковоротный // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. – № 46. – С. 90 – 96. 4. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с. 5. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с. 6. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры и их применение на рубеже тысячелетий в Китае / А.И. Галушкин. – В 2-х томах. Том 2. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 464 с. 7. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance / S. Grossberg // Cognitive Science. – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63. 8. Carpenter G.A. A massively parallel architecture for selforganizing neural pattern recognition machine / G.A. Carpenter, S. Grossberg // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54 – 115. – С. 42–51. 9. Fausett L. Fundamentals of Neural Networks. Architectures, Algorithms and Applications / L. Fausett. – New Jersey: Prentice Hall Int., Inc., 1994. – 461 p. 10. Дмитриенко В.Д. Вычислительная сеть для решения задач с несколькими решениями / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // Вестник НТУ "ХПИ", 2007. – № 19. – С. 58 – 63.

Поступила в редакцию 7.11.2013

УДК 517.9:629.42

Нейронні мережі Хеммінга й Хебба, здатні донавчатися / Дмитрієнко В.Д., Заковоротний О.Ю., Бречко В.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 30 – 45.

Вперше на основі нейронних мереж Хеммінга й Хебба запропоновані архітектури та алгоритми функціонування дискретних стабільно-пластичних нейронних мереж, які не

тільки можуть донавчатися, але й розпізнавати нову інформацію. Нові мережі можуть стати альтернативою дискретним нейронним мережам адаптивної резонансної теорії. Іл.: 5. Табл.: 4. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: нейронні мережі Хемінга й Хебба, стабільно-пластичні нейронні мережі, нейронні мережі адаптивної резонансної теорії.

UDC 517.9:629.42

Neural networks of Hamming and Hebb are capable to learn / Dmitrienko V.D., Zakovorotnyi A.Y., Brechko V.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 30 – 45.

For the first time architectures and algorithms of the discrete stable and plastic neural networks based on neural networks Hemming and Hebb are proposed. And these algorithms and architectures can not only to learn, but also to recognize new information. New networks can be an alternative to discrete neural network adaptive resonance theory. Figs.: 5. Tabl.: 4. Refs.: 10 titles.

Keywords: neural networks of Hemming and Hebb, stable and plastic neural networks, neural network adaptive resonance theory.

УДК 651.326

Д.Ю. ЗАДОРЖНИЙ, магистр, НТУ "ХПИ",
Т.С. РЕЗНИЧЕНКО, магистр, НТУ "ХПИ",
С.Г. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ "КВАЗИЦИКЛОВ" НАБЛЮДАЕМЫХ СТРУКТУРНО- ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОРТРЕТОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

Проведен анализ известных процедур формирования "квазициклов". Выявлен их основной недостаток – наличие встроенных структурных единиц и пересечений. Разработана процедура формирования "квазициклов" наблюдаемых структурно-информационных портретов компьютерных систем, позволяющая устранить указанный недостаток. Проведены сравнительные исследования разработанной процедуры и выявлены ее достоинства и недостатки. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: "квазицикл", наблюдаемый структурно-информационный портрет, компьютерная система.

Постановка проблемы и анализ литературы. При математическом моделировании и исследовании компьютерных систем (КС) методами нелинейной динамики одним из основных этапов является выявление структурных особенностей системы (структурная идентификация).

В настоящее время для структурной идентификации компьютерных систем используются параметрические и графические методы. Однако в последнее время благодаря ряду работ [1 – 7] появились возможности их комплексного использования. В то же время, как показали исследования, объединение параметрических и графических подходов структурной идентификации в ряде практических случаев приводит к усложнению разрабатываемых процедур и, как следствие, ухудшению временных показателей структурной идентификации. Это, в свою очередь, снижает уровень практической значимости разработок в связи с невозможностью использования в системах реального времени. Анализ литературы [1, 2] показал, что устранение указанного недостатка предполагает упрощение графической составляющей методов структурной идентификации путем формирования "квазициклов" фазовых и наблюдаемых структурно-информационных портретов. При этом точность структурной идентификации во многом зависит от выбора соответствующих алгоритмов и процедур формирования "квазициклов".

Поэтому **целью статьи** является усовершенствование процедур формирования "квазициклов" наблюдаемых структурно-информационных портретов (НСИП) компьютерных систем.

Основная часть. Из [3, 5, 8] известно, что в настоящее время для выявления структурных закономерностей фазовых портретов используется ряд алгоритмов и процедур, основанных на корреляционном анализе. Структурная схема одной из наиболее известных процедур – выявления структурных закономерностей на основе кратчайшего расстояния между концами векторов представлена на рис. 1а. В соответствии с рассматриваемой процедурой процесс формирования "квазициклов" осуществляется на основе расчета расстояния между координатами конца векторов.

Входными данными процедуры является множество точек фазового портрета P , расстояние от начальной точки s , минимальное количество точек в "квазицикле" $\min P$.

Выходными данными является множество "квазициклов" C .

На первом шаге приведенной процедуры необходимо определить значение $p \leftarrow P[0], k \leftarrow 0$.

Далее для всех $i = 0, \dots, N$ выполнять следующие шаги:

Шаг 2. Если выполнено условие $p - P[i] < s$ и $i + 1 - k > \min P$, определить $p \leftarrow P[i]$;

Шаг 3. Для всех $j = k, \dots, i+1$ выполнять $T \leftarrow P[j]$.

Шаг 4. Добавить множество T в множество C .

Шаг 5. Определить $k \leftarrow i, i \leftarrow i+1$,

где p – значение текущей рассматриваемой точки фазового портрета;

k – позиция первой точки "квазицикла" в фазовом портрете;

T – массив, который содержит "квазицикл";

C – множество всех "квазициклов".

Оценим эффективность данной процедуры. В табл. 1 приведены результаты формирования "квазициклов" наблюдаемых структурно-информационных портретов информационного трафика (количество точек НСИП – 30000).

Как видно из результатов исследования, число "квазициклов" уменьшается с увеличением максимального количества точек в "квазициклах", и в рассматриваемых примерах достигает нижней границы, равной 209, это говорит о возможности существенного уменьшения времени структурной идентификации компьютерной системы. Однако использование приведенной процедуры приводит к возникновению вложенных "квазициклов" и "квазициклов" с пересечениями векторов. На практике это

не допустимо, поскольку существенно ухудшает точность структурной идентификации.

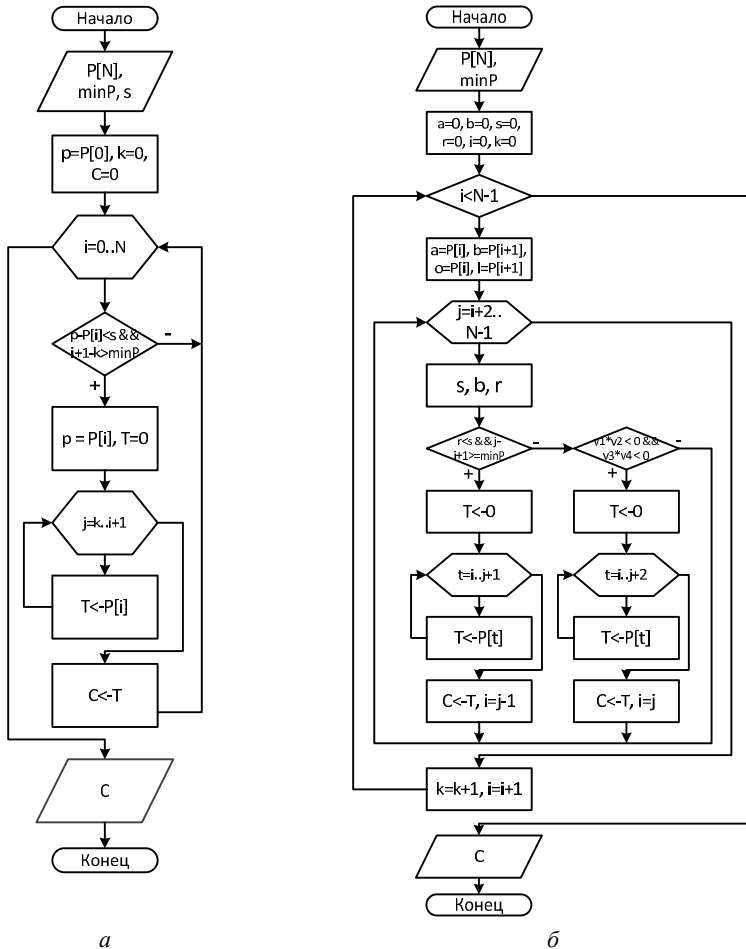


Рис. 1. Структурные схемы процедур формирования "квазициклов" в НСИП

Таблица 1

Результаты исследования процедуры выявления структурных закономерностей НСИП на основе кратчайшего расстояния между концами векторов

Мин. кол-во точек "квазициклов"	Макс. кол-во точек "квазициклов"	Кол-во "квазициклов"	Кол-во вложенных "квазициклов"
3	5	279	74
3	6	961	369
4	6	209	69
4	7	721	241

Для устранения указанного недостатка разработаем процедуру формирования "квазициклов", структурная схема которой представлена на рис. 1, б. Входными данными процедуры являются: координаты исследуемых характеристик на НСИП, представленные в виде массива $P[N]$, где N – количество точек изменения траектории НСИП; $minP$ – значение минимального количества точек в "квазицикле", необходимое для определения минимальной длины "квазицикла"; s – расстояние (в единицах измерения характеристик) от начальной точки.

На выходе алгоритма мы должны получить множество "квазициклов" и координат точек изменения траектории НСИП "квазицикла".

Введем условие, что "квазицикл" считается найденным, если расстояние от начальной точки предполагаемого "квазицикла" p до текущей точки фазового портрета $P[i]$ меньше, чем расстояние s . Таким образом, расстояние s – это величина, которая задает область вокруг начальной точки.

На первом шаге определяем значение начальной точки p ($p = P[0]$), при этом запоминаем позицию первой точки предполагаемого "квазицикла" в НСИП k ($k = 0$).

На втором шаге в цикле от $i = 0$ до N проверяем следующее условие: расстояние от начальной точки предполагаемого "квазицикла" p до текущей точки НСИП $P[i]$ меньше, чем расстояние s :

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} < s, \quad (1)$$

где x_1 и y_1 – координаты точки p ; x_2 и y_2 – координаты точки $P[i]$, и количество точек в "квазицикле" больше $minP$:

$$i + 1 - k > minP. \quad (2)$$

В случае удовлетворения данного условия, "квазицикл" считается найденным, и алгоритм прекращает выполнение.

В этом случае начальной точкой нового "квазицикла" становится текущая ($p = P[i]$).

На третьем шаге формируется новый список, в который добавляется точки найденного "квазицикла" от $j=k$ до $i+1$.

На четвертом шаге происходит добавление заполненного списка в множество "квазициклов" S .

На пятом шаге запоминаем первую точку нового "квазицикла" k ($k = i$).

Далее инкрементируем i , чтобы текущей стала вторая точка в предполагаемом "квазицикле", и проверяем условия (1), (2). Если условия не выполнены – в цикле выполняются новые итерации.

Оценим эффективность разработанной процедуры. В табл. 2 приведены результаты формирования "квазициклов" наблюдаемых структурно-информационных портретов информационного трафика в условиях, аналогичных предыдущему рассматриваемому примеру.

Таблица 2

Результаты исследования процедуры выявления структурных закономерностей НСИП на основе разработанной процедуры

Мин. кол-во точек "квазициклов"	Макс. кол-во точек "квазициклов"	Кол-во "квазициклов"	Кол-во вложенных "квазициклов"
3	5(6)	9594	0
4	6(7)	7897	0

Как видно из результатов исследования, число "квазициклов" уменьшается с увеличением максимального количества точек в "квазициклах" и достигает порядка 7000-8000. Это позволяет до 4 раз уменьшить время структурной идентификации. Кроме этого, как видно из табл. 2, с помощью разработанной процедуры полностью устранена проблема наличия встроенных "квазициклов" и пересечений, что позволяет ее использовать на практике в процессе структурной идентификации.

Выводы. Таким образом, разработана процедура формирования "квазициклов" НСИП компьютерных систем. Использование данной процедуры в процессе структурной идентификации компьютерных систем позволит до 4 раз уменьшить время выполнения основных операций идентификации. Основным достоинством разработанной процедуры является устранение проблемы встроенных "квазициклов" и пересечений, что повысит точность структурной идентификации компьютерных систем.

Список литературы: 1. *Карабутов Н.Н.* Адаптивная идентификация систем: Информационный синтез / *Н.Н. Карабутов*. – М.: КомКнига, 2006. – 384 с. 2. *Кузнецов А.А.* Метод структурной идентификации информационных потоков в телекоммуникационных сетях на основе BDS-тестирования / *А.А. Кузнецов, С.Г. Семенов, С.Н. Симоненко, Е.В. Мелешко* // Научно-технічний журнал "Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України". – Вип. 2 (4). – Х.: ХУПС. – 2010. – С. 131–137. 3. *Семенов А.Д.* Идентификация объектов управления: Учебн. пособие / *А.Д. Семенов, Д.В. Артамонов, А.В. Брюхачев*. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с. 4. *Семенов С.Г.* Сравнительные исследования методов идентификации трафика в телекоммуникационной сети для повышения оперативности передачи данных / *С.Г. Семенов, Е.В. Мелешко* // Научно-технічний журнал "Прикладная радиоэлектроника". – 2010. – Том 9. – № 3. – Х.: ХНУРЕ. – С. 444–448. 5. *Карабутов Н.Н.* Структурная идентификация систем: анализ динамических структур / *Н.Н. Карабутов*. – М.: МГИУ, 2008. – 160 с. 6. *Семенов С.Г.* Усовершенствованный метод структурной идентификации компьютерных систем критического применения / *С.Г. Семенов, Т.С. Резниченко, Д.Ю. Задорожний* // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2012. – Вип. 9 (107). – С. 207–211. 7. *Semenov S.* The method of processing and identification of telecommunication traffic based on BDS-tests / *S. Semenov, A. Smirnov, E. Meleshko* // The book of materials International Conference "Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)". – Kiev, Ukraine, National Aviation University "NAU-Druk" Publishing House, 2010. – С. 166–168. 8. *Ljung L.* System Identification – Theory for the User. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. 2nd edition, 1999. – 499 p. 9. *Narendra K.S.* Stable adaptive schemes for system: identification and control / *K.S. Narendra, B. Kudva* // IEEE Trans. on Syst., Man and Cybern. – 1974. – Vol. SMC–4. – № 6. – P. 542–560.

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Кучук Г.А.

Поступила в редакцию 10.09.13

УДК 651.326

Розробка процедури формування "квазіциклів" спостережуваних структурно-інформаційних портретів комп'ютерних систем / Задорожній Д.Ю., Резниченко Т.С., Семенов С.Г. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 46 – 52.

Проведений аналіз відомих процедур формування "квазіциклів". Виявлений їх основний недолік в наявності вбудованих структурних одиниць і перетинів. Розроблена процедура формування "квазіциклів" спостережуваних структурно-інформаційних портретів комп'ютерних систем, що дозволяє усунути вказаний недолік. Проведені порівняльні дослідження розробленої процедури і виявлені її достоїнства і недоліки. Іл.: 1. Табл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: "квазіцикл", спостережуваний структурно-інформаційний портрет, комп'ютерна система.

UDC 651.326

The designing of the "quasicycles" formation procedure in the observed structural-informative portraits of computer systems / Zadorozhnyi D.Y., Reznichenko T.S., Semenov S.G. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 46 – 52.

The conducted analysis of the famous procedures of the "quasicycles" formation. Their main drawback is revealed in a presence of the inbuilt structural units and crossings. The procedure of the "quasicycles" formation in the observed structural-informative portraits of computer systems was developed, which allows to eliminate the mentioned drawback.

Comparative studies of the developed procedures were held and disadvantages were revealed.
Figs.: 1. Tabl.: 2. Refs.: 9 titles.

Keywords: "quasicycle", observed structural-informative portrait, computer system.

УДК 519.854.33: 331.435

Ю.Е. КРЮК, канд. биол. наук, доц., вед. науч. сотр., ОИЭЯИ-
"Сосны", Минск

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ РАДИАЦИОННЫМ РИСКОМ

Рассмотрена возможность использования метода многокритериальной оптимизации с булевыми переменными при организации радиационной защиты персонала. Показано, что применение известного математического аппарата позволяет поставить и решить задачу минимизации облучения работников без дополнительных финансовых затрат. Табл.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: метод многокритериальной оптимизации, радиационная защита персонала, минимизация облучения.

Постановка проблемы. Профессиональное облучение может произойти на целом ряде предприятий, использующих источники ионизирующего излучения. Для безопасного и приемлемого использования ионизирующего излучения в процессе работы необходима организация адекватной радиационной защиты персонала, в основе которой лежат три принципа: нормирование, обоснование и оптимизация [1].

Согласно современным подходам принцип оптимизации должен определять такой уровень безопасности использования источников, при котором индивидуальные дозы облучения и число облучаемых лиц настолько малы, насколько это достижимо с учетом существующих экономических и социальных факторов. Требование к проведению оптимизации является одной из наиболее важных составляющих системы ограничения вредного воздействия радиации, вне зависимости от того, каков тип источника, какова ситуация облучения или характеристики облученного индивидуума [2]. Однако непосредственное применение данного принципа на практике вызывает затруднение, в виду сложности установления зависимости величины облучения от экономических и социальных факторов.

Анализ литературы. В период становления радиационной защиты основные требования к ограничению облучения гласили, что если индивидуальная доза не превысит определенного порогового уровня, то вреда здоровью человека не будет [3]. В дальнейшем исследования в области воздействия источников привели к признанию факта, что никакое облучение не может быть абсолютно безопасным [1]. Начиная с

© Ю.Е. Крюк, 2013

этого момента принцип оптимизации, устанавливающий определенные ограничения на величину индивидуальной дозы или риска, является центральным принципом системы защиты и должен применяться для всех ситуаций облучения [2]. Тем не менее, реализация данного подхода на практике продолжает вызывать затруднения [4 – 6]. Главный вопрос, на который согласно международным рекомендациям необходимо дать ответ в процессе проведения оптимизации – "сделано ли все разумное в данных обстоятельствах для уменьшения дозы облучения?". При этом необходимо учесть как технические, так и социальные факторы и экономические возможности, и требуется вынесение как качественных, так и количественных суждений. Несмотря на существующие методики проведения оптимизации радиационной защиты, окончательное решение по ее результатам носит субъективный характер. Основным инструментом, предлагаемым в помощь лицу, принимающему решения, является анализ "затраты – польза" [5, 6]. Данный метод призван соотнести экономические затраты на организацию защиты и экономический ущерб от возможного вреда, наносимого облучением. На практике в силу необходимости учета большого количества параметров такой подход находит применение далеко не всегда. Его используют чаще всего для обоснования крупных первоначальных вложений в организацию защиты, когда реализация требований к безопасности определяет будущие дозы облучения. В условиях уже установившейся практики дополнительные существенные экономические затраты на снижение существующего облучения, не превышающего установленные пределы доз, не признаются "разумными" и процесс оптимизации начинает носить формальный характер. Следовательно, в этих условиях необходим поиск других методов, позволяющих проводить оптимизацию доз облучения без существенных экономических вложений. При этом ключевым параметром оптимизации должна оставаться коллективная доза [2].

Цель статьи – исследование возможности использования математических методов моделирования в решении проблемы проведения оптимизации радиационной защиты персонала без существенных экономических затрат.

Построение математической модели задачи. В реальных рабочих условиях нормальной практики использования источников n -ое число работников находится в m -м количестве радиационных полей четко определенное время. Оценка эффективной дозы, получаемой работниками в конкретных неизменных условиях облучения, описывается следующей формулой:

$$D_i = \sum_{j=1}^J R_j \times k \times t_{ij}, \quad (1)$$

где D_i – величина эффективной дозы i -го работника; J – число радиационных зон работ; R_j – радиационный параметр в j -й зоне работ (мощность дозы, мощность воздушной кермы и т.д.); k – коэффициент перехода от радиационного параметра к эффективной дозе; t_{ij} – время, которое i -й работник находится j -ой зоне.

Коллективная доза D_n определяется как сумма индивидуальных доз работников:

$$D_n = \sum_{i=1}^n D_i, \quad (2)$$

В соответствии с формулой (1) влиять на величину получаемой работниками дозы можно улучшая параметры радиационной обстановки или за счет уменьшения времени пребывания в радиационных полях. При этом нужно понимать, что снижение параметров облучения для всех рабочих зон – дорогая и часто невыполнимая задача, а сокращение рабочего времени не должно негативно отражаться на качестве. Следовательно, в ходе оптимизации должна ставиться задача минимизации суммарной дозы и времени выполнения работ без лишних затрат.

В качестве решения поставленной задачи можно рассматривать решение известной в математике задачи двухкритериальной булевой оптимизации – задачи о назначениях, в которой требуется распределить n -ое количество кандидатов по m типам работ с соблюдением условий минимизации или максимизации двух критериев [7]. В случае, когда число работников равно количеству мест ($n = m$), задача является симметричной. Формулировка такой задачи включает две целевые функции, а переменные принимают булевы значения. Если обозначить c_{ij} и d_{ij} – как критерии эффективности распределения работников и ввести булевы переменные $x_{ij} = 1$, если i -го работника назначают на j -ое рабочее место, и $x_{ij} = 0$, если не назначают, то математическая постановка задачи будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min (\max)_{x \in \Delta_\beta}, \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min (\max)_{x \in \Delta_\beta}, \quad (3)$$

где множество допустимых альтернатив Δ_β формируется следующей системой ограничений типа неравенств (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}); \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, (\forall j \in \{1, 2, \dots, n\}); \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, (\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}). \end{array} \right. \quad (4)$$

Первое ограничение в системе соответствует требованию назначения каждого кандидата на выполнение только одной работы, а второе – выполнение работы в любой момент только одним работником.

Применение модели в оптимизации радиационной защиты. Рассмотрим ситуацию облучения группы из пяти работников (1-й, 2-й и т.д.) лаборатории радиоизотопной техники и радиационной безопасности, обеспечивающих техническое обслуживание источника одного из промышленных предприятий. Все пять сотрудников имеют одинаковое образование и могут выполнять одинаковые задания, но имеют разный стаж работы и разную интенсивность труда. В качестве мест выполнения заданий рассмотрим пять рабочих зон вокруг источников А, В, С, D, Е, отличающиеся по радиационным параметрам. При этом в качестве первого критерия c_{ij} будем понимать усредненные дозы облучения, формируемые у работников в различных зонах (табл. 1) при выполнении одинаковых заданий, в качестве d_{ij} – средние временные затраты работников на работы в различных зонах (табл. 2).

Таблица 1

Дозы облучения работников при выполнении заданий в разных зонах, мкЗв

	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
А	1,07	0,75	1,39	1,81	0,85
В	0,53	0,57	0,41	0,37	0,78
С	1,6	1,3	1,8	2,2	1,6
D	1,2	1,3	1,4	1,2	1,4
Е	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8

Таблица 2

Время выполнения заданий в разных зонах работниками, мин

	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
A	100	70	130	170	80
B	130	140	100	90	190
C	80	100	80	50	40
D	90	110	90	70	70
E	120	90	100	80	90

Временные и дозовые различия могут объясняться как разным опытом работы и, следовательно, навыками выполнения заданий, так расположенностью сотрудников выполнять определенный вид работ. Можем предположить, что одна из проблем обеспечения радиационной безопасности на рабочем месте связана непосредственно с компетентностью и психологической предрасположенностью работников к выполнению заданий в особо опасных условиях.

Согласно поставленной цели оптимизации радиационной защиты минимизации подлежат как суммарная доза облучения работников, так и общее время выполнения заданий. Следовательно, целевые функции (3) для рассматриваемого случая можно записать в виде:

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{x \in \Delta_{\beta}}, \quad \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{x \in \Delta_{\beta}}. \quad (5)$$

Для решения такого класса задач разработаны различные методы [7, 8]. В данном исследовании был применен базовый метод для решения задач многокритериальной оптимизации с булевыми переменными – метод уступок. С его использованием был выполнен анализ оптимального распределения заданий между работниками в разных зонах с целью минимизации дозовых и временных затрат. Для сравнения был также выполнен анализ распределения сотрудников, дающий максимальный вклад в суммарную дозу. Результаты представлены в табл. 3.

Таким образом, только использование оптимизации распределения сотрудников по заданиям может обеспечить снижение коллективной дозы облучения до 30%. Однако нужно отметить, что предложенное решение является эффективным методом минимизации суммарного

облучения работников, но только в краткосрочном периоде. С учетом проблемы старения персонала в отрасли без проведения систематического обучения и формирования профессиональной компетенции у молодых сотрудников по безопасным способам выполнения работы добиться необходимого снижения доз облучения будет затруднительно.

Таблица 3

Результаты оптимального и наихудшего распределения заданий между работниками

	Минимум	Максимум	% экономии
Коллективная доза, мкЗв	4,36	6,29	31
Суммарное время, мин	450	650	

Выводы. В ходе научной работы решалась задача использования метода многокритериальной оптимизации с булевыми переменными при организации радиационной защиты персонала. Показано, что применение известного математического аппарата позволяет решать задачу минимизации облучения работников и снижать коллективную дозу и время выполнения работ до 30% без дополнительных финансовых затрат. Вместе с тем, сделан вывод о необходимости специальных программ по подготовке и обучению молодых сотрудников для сохранения потенциала проведения такого рода оптимизаций.

Список литературы: 1. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication 60; ed. J. Valentin. – Oxford: Elsevier, 1991. – № 60. – 201 p. 2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication; ed. J. Valentin. – Oxford: Elsevier, 2007. – № 103. – 332 p. 3. The 1971 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication 26; ed. J. Valentin. – Oxford: Pergamon Press, 1971. – № 26. – 53 p. 4. Optimization and Decision Making in Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication 55; ed. J. Valentin. – Oxford: Pergamon Press, 1980. – № 55. – 60 p. 5. The optimization of radiological protection: Broadening the process / Annals of the ICRP Publication 101, part 2; ed. J. Valentin – Oxford: Elsevier. – 2005. – № 101. – P. 64 – 104. 6. Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала / Серия докладов по безопасности МАГАТЭ. – Вена: МАГАТЭ, 2003. – № 21. – P. 81. 7. Лотов В.А. Многокритериальные задачи принятия решений / В.А. Лотов, И.И. Поспелова. – М.: МАКСПресс, 2008. – 197 с. 8. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация / М.М. Ковалев. – Едиториал УРСС, 1977. – 191 с.

Поступила в редакцию 11.06.2013

Статью представил д-р техн. наук, доц. ОИЭЯИ-"Сосны" Трифонов А.Г.

УДК 519.854.33: 331.435

Інформаційні системи в управлінні радіаційним ризиком / Крюк Ю.Е. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 53 – 59.

Розглянуто можливість використання методу багатокритеріальної оптимізації при організації радіаційного захисту персоналу. Показано, що застосування відомого математичного апарату дозволяє поставити і вирішити задачу мінімізації опромінення працівників без додаткових фінансових витрат. Табл.: 3. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: метод багатокритеріальної оптимізації, радіаційний захист персоналу, мінімізація опромінення.

UDC 519.854.33: 331.435

Informative systems are in management radiation risk / Kruk Y.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI"– 2013. – № 19 (992). – P. 53 – 59.

The possibility of using the multi-objective optimization of Boolean variables in the organization of radiation protection is considered. It is shown that the use of well-known mathematical tool allows solving the problem of minimizing the exposure of workers without any additional financial costs. Tabl.: 3. Refs.: 8 titles.

Keywords: multi-objective optimization method, radiation protection of personnel, to minimize exposure.

УДК 629.783:531.5

Т.В. ЛАБУТКИНА, канд. техн. наук, доц., ДНУ, Днепропетровск,
А.Н. ПЕТРЕНКО, д-р техн. наук, проф., декан ФТФ ДНУ,
Днепропетровск

НОВЫЙ АСПЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОРБИТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Разработан упрощенный метод моделирования многоэлементной системы орбитальных объектов для задач, связанных с прогнозом механических конфликтов (столкновений) между ее элементами. Метод основан на моделировании введенных в рассмотрение виртуальных элементов системы – узлов механических конфликтов (участков траекторий, находящихся друг от друга на расстоянии, опасном с точки зрения столкновений орбитальных тел при их возможных отклонениях от этих траекторий). Ил.: 3. Библиогр.: 16 назв.

Ключевые слова: многоэлементная система орбитальных объектов, моделирование, прогноз, механический конфликт (столкновение), узел механических конфликтов.

Постановка проблемы и анализ литературы. Задачи проектирования и эксплуатации спутниковых систем требуют моделирования движения центров масс орбитальных объектов. При этом в большинстве случаев во множество орбитальных объектов, движение которых моделируется, входит от несколько единиц орбитальных тел до нескольких десятков. Однако все чаще возникает необходимость рассмотрения многоэлементного множества орбитальных тел, в составе которого – тысячи элементов. В частности это необходимо при решении задач, связанных с анализом засоренности околоземного космического пространства орбитальными объектами.

Число орбитальных тел (космических аппаратов и объектов космического мусора) в околоземном космосе возрастает высокими темпами. По данным НАСА в настоящее время на орбитах вокруг Земли уже находится более 21 000 орбитальных объектов размером более 10 сантиметров и примерно 500 000 – с размерами от 1 до 10 сантиметров. Поэтому риск столкновений орбитальных тел (механических конфликтов) все более возрастает. И все более актуальными становятся задачи, связанные с анализом конфликтности многоэлементного множества орбитальных объектов [1 – 9].

Задачи, связанные с анализом конфликтности орбитальных тел можно подразделить на два класса. К первому относятся те, в которых можно ограничиться анализом риска столкновений орбитальных тел и не

© Т.В. Лабуткина, А.Н. Петренко, 2013

прогнозировать конкретные орбитальные конфликты. Их решение базируется на учете высотно-широтной плотности распределения орбитальных объектов в заданный момент времени [3 – 7].

Ко второму классу можно отнести задачи, которые требуют прогноза орбитальных столкновений. Такой прогноз сводится к прогнозу сближений пар орбитальных объектов на расстояние, опасное с точки зрения их соударения при возможных отклонениях объектов от расчетных траекторий (назовем эти сближения опасными или конфликтными). При этом во многих случаях достаточно ограничиться прогнозом опасных сближений орбитальных тел, а от моделирования последствий конфликтов, которые приводят к изменению траекторий сталкивающихся объектов и образованию новых орбитальных тел, можно отказаться. Такие задачи решаются, когда необходим прогноз опасных орбитальных коллизий для космического аппарата, который может сделать маневр с целью уклонения от столкновений [8]. Задачи прогноза опасных сближений могут быть положены в основу построения моделей засоренности околоземного космоса орбитальными объектами. Например, Хуторовским З.Н. предложен прямой детерминированный метод, основанный на формировании на суточном интервале времени архива опасных сближений всех возможных пар орбитальных тел, входящих во множество рассматриваемых орбитальных объектов (для каждого опасного сближения определяется интервал времени, в течение которого оно происходит, а также геометрические характеристики сближения и вероятность столкновения) [6, 7].

Традиционный подход к прогнозу опасных сближений основан на моделировании движения объектов и анализе текущего расстояния между ними. Сложность применения такого подхода в следующем. Скорость движения орбитальных объектов друг относительно друга может быть больше десятка километров в секунду. При этом сближение на опасное расстояние в несколько километров длится доли секунды. Поэтому прогноз опасных сближений требует моделирования с соответственно малым шагом по времени. При многочисленности множества орбитальных объектов это приводит к существенным затратам времени. Эта проблема сформулирована, например, в работе [8] для задачи в узкой постановке – прогноза опасных сближений для одного орбитального тела (управляемого космического аппарата). При решении задач в более общей постановке, когда конфликтные сближения прогнозируются для всех пар орбитальных тел, входящих в рассматриваемое множество орбитальных объектов, затраты времени еще более возрастают, увеличиваясь в тысячи раз.

Эффективным подходом к решению проблемы является реализация прогноза опасных сближений в несколько этапов. При этом каждый этап представляет собой проверку возможности опасного сближения на основе некоторого правила или упрощенного метода прогнозирования. Скорость расчетов возрастает за счет того, что большинство орбитальных объектов исключается из рассмотрения на первых этапах прогноза (в работе [8] такой подход назван фильтрацией множества орбитальных объектов).

В работах [10 – 13] представлен метод поэтапного прогнозирования опасных сближений, основанный на детерминистическом подходе и не требующий моделирования текущего расстояния между орбитальными объектами. Рассматриваются пары орбитальных объектов, входящие во множество N орбитальных тел. Например, объекты k и l (рис. 1, a). Орбиту объекта k определяют текущие значения параметров e_k (эксцентриситет), h_{pk} (высота перигея), i_k (наклонение орбиты), Ω_k (долгота восходящего узла), ω_k (аргумент перигея), τ_k (время прохождения перигея), а орбиту объекта l – значения параметров e_l , h_{pl} , i_l , Ω_l , ω_l , τ_l соответственно. На момент начала прогноза известны начальные значения этих параметров.

Для рассматриваемой пары орбитальных объектов реализуется три этапа проверки возможности опасного сближения. На первом этапе проверяется, перекрываются ли области высот над поверхностью Земли, в которых проходят их траектории. Второй этап основан на том, что конфликт между орбитальными объектами возможен только в том случае, когда их траектории пересекаются. Полагается, что орбитальный объект не может отклониться от положения на расчетной траектории более чем на некоторое расстояние R_{cr} . Таким образом, в каждый момент времени орбитальный объект может находиться в пределах сферы, центр которой – на расчетной траектории, а радиус – равен R_{cr} . Для орбитальных тел k и l радиусы этих сфер – R_{crk} , R_{crl} соответственно (рис. 1, b). Пару участков траекторий, которые находятся друг от друга на расстоянии $L < L_{cr}$, будем называть узлом механических конфликтов (рис. 1, a), а сами участки – опасными участками траектории. Если для пары траекторий орбитальных объектов определен узел конфликтов, условие второго этапа отбора полагается выполненным. Третий этап основан на том, что конфликтное сближение возможно при одновременном движении орбитальных тел по участкам траекторий, которые образуют узел конфликтов. На третьем этапе определяются

интервалы времени движения орбитальных тел через узел конфликтов. Если эти интервалы времени перекрываются (например, интервалы $[t_{kb}, t_{ke}]$ и $[t_{lb}, t_{le}]$ орбитальных тел k и l соответственно на рис. 1 в), то полагается возможным конфликтное сближение. Четвертый, уточняющий этап фильтрации описан в работе [14]. На этом этапе, не прибегая к моделированию движения орбитальных объектов, на основе результатов, полученных на предыдущих этапах прогноза, определяется наименьшее значение расстояния, на которое подходят друг к другу орбитальные тела во время опасного сближения и длительность опасного сближения.

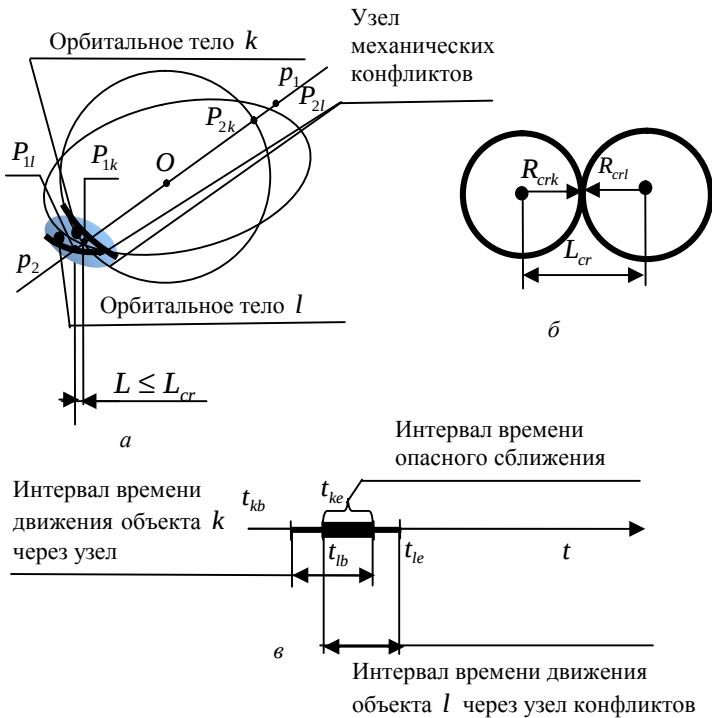


Рис. 1. К определению движения орбитальных тел через узел механических конфликтов: a – пара опасных участков траекторий; $\bar{b}$ – критическое расстояние; $\bar{в}$ – интервал времени опасного сближения

После выполнения этапов фильтрации множества орбитальных объектов для отобранного подмножества орбитальных тел можно реализовывать прогноз опасных сближений на основе традиционного подхода – моделировать их движение и анализировать текущие расстояния между ними.

Применение поэтапного прогноза позволяет снизить затраты времени на прогноз опасных сближений на несколько порядков. Этапы прогноза, подобные первым двум этапам описанного выше четырехэтапного прогноза, предложены в работе [8]. Результаты, представленные авторами, показывают высокую эффективность предложенных решений.

Обобщение результатов в области поэтапного прогнозирования опасных сближений в задачах анализа механической конфликтности множества орбитальных объектов и создание основ для дальнейшего развития этого направления требуют разработки соответствующей концепции моделирования множества орбитальных тел. При этом целесообразен системный подход к анализу механической конфликтности многоэлементного множества орбитальных объектов. Пудовкиным О.Л. было введено понятие техногенной космической обстановки [9]. В нем рассмотрено множество орбитальных тел как целостное образование (система, состояние которой определяется взаимодействием ее элементов и влиянием среды, в которую погружена система).

В данной работе используется упрощенная трактовка системы орбитальных объектов (предложенная в работе [10]). Множество каталогизированных орбитальных тел рассматривается как многоэлементная механическая система, в движении элементов которой есть составляющие квазирегулярного характера. При этом взаимодействия элементов системы не учитываются. Задача моделирования такой системы – определение опасных сближений орбитальных объектов без учета изменения состояния системы в результате их возможных соударений при сближении на опасное расстояние.

Цель исследования и постановка задачи. Традиционный подход к моделированию системы орбитальных тел в околоземном космосе основан на следующем ее представлении. Система определена на множестве орбитальных тел (космических аппаратов и объектов космического мусора). В частности – на множестве каталогизированных орбитальных тел. Состояние системы в текущий момент времени моделирования определяется либо значениями орбитальных параметров

входящих в нее объектов, либо вероятностными характеристиками распределения орбитальных объектов в околоземном пространстве.

Результаты и перспективы применения описанного выше поэтапного прогноза опасных сближений орбитальных объектов приводят к выводу о целесообразности использовать и другое представление системы орбитальных тел. Может быть полезна модель, которая основана на быстрых методах прогнозирования опасных сближений, используемых на этапах фильтрации орбитальных объектов при прогнозе механических конфликтов. Цель данного исследования – разработка концепции соответствующего представления системы орбитальных тел и метода ее моделирования.

Материалы исследований. Описание подхода к решению задачи.

В движении каждого элемента системы можно выделить две составляющие. Во-первых, орбитальный объект движется по траектории, которую в текущий момент времени в общем случае можно представить в виде эллиптической, определенным образом ориентированной в пространстве (называемой оскулирующей орбитой). Во-вторых, траектория движения орбитального тела изменяется во времени (в общем случае меняются как ее форма, так и ориентация в пространстве). При этом траектории движения орбитальных объектов меняются в сотни раз медленнее, чем меняется положение орбитальных тел на этих траекториях. Поэтому предлагается моделировать изменения траекторий и для текущего момента времени определять участки траекторий, которые находятся друг от друга на расстоянии, опасном с точки зрения возможности столкновений орбитальных тел (узлы механических конфликтов). Иными словами – моделировать узлы механических конфликтов, скорость изменения которых соответствует скорости изменения траекторий. Для орбитальных объектов, траектории которых образуют узел конфликтов, необходимо без существенных затрат времени определять интервалы времени их движения через узел конфликтов (по опасному участку траектории). Таким образом, в основе метода моделирования системы орбитальных объектов – метод моделирования узла механических конфликтов и метод определения интервалов времени движения орбитального тела через узел конфликтов.

Метод моделирования узла механических конфликтов. Как отмечалось выше, узлы механических конфликтов могут быть образованы только парами траекторий орбитальных тел, у которых перекрываются области высот движения над поверхностью Земли. Ниже описана проверка этого условия для орбитальных объектов k и l .

Область высот, в которой осуществляет движение орбитальное тело k , определяется следующим образом: $h \in [H_{\min k}, H_{\max k}]$, где $H_{\min k} = h_{pk} - R_{crk}$, $H_{\max k} = h_{ak} + R_{crk}$, а h_{pk} , h_{ak} – высоты перигея и апогея, R_{crk} – радиус его критической сферы. Аналогично определяется область высот орбитального объекта l : $[H_{\min l}, H_{\max l}]$. Таким образом, условие потенциальной возможности возникновения конфликтов – $[H_{\min k}, H_{\max k}] \cap [H_{\min l}, H_{\max l}] \neq \emptyset$.

Если угол между орбитальными плоскостями объектов k и l не мал (т.е. если нельзя полагать, что вследствие возмущающих воздействий возможно совмещение орбитальных плоскостей и орбитальные тела будут двигаться в одной плоскости), то наиболее близкие точки траекторий следует искать на линии пересечения орбитальных плоскостей, а опасные участки траекторий проходят через эти точки.

Для пары орбитальных тел k и l линию пересечения их орбитальных плоскостей (прямую $p_1 p_2$ на рис. 1, а, рис. 2, а, б) задает система уравнений

$$\begin{cases} A_k x + B_k y + C_k z = 0, \\ A_l x + B_l y + C_l z = 0, \end{cases}$$

где $A_k = \sin(i_k) \sin(\Omega_k)$, $B_k = -\sin(i_k) \cos(\Omega_k)$, $C_k = \cos(i_k)$, $A_l = \sin(i_l) \sin(\Omega_l)$, $B_l = \sin(i_l) \cos(\Omega_l)$, $C_l = \cos(i_l)$, а x , y , z – координаты геоцентрической экваториальной системы. Угол α_{kl} между орбитальными плоскостями объектов k и l определяется выражением

$$\alpha_{kl} = \arccos(|A_k A_l + B_k B_l + C_k C_l|).$$

Пару точек пересечения траекторий с прямой $p_1 p_2$, находящихся по одну сторону от центра Земли, (на рис. 1, а это пары точек P_{1k}, P_{1l} и P_{2k}, P_{2l}) будем называть *узловыми точками* или *узловой парой*. Если расстояние между ними менее допустимого с точки зрения возможности опасного сближения – *опасной узловой парой*, а сами точки – *опасными узловыми точками*. Опасные участки траекторий, образующие узел конфликтов, – это участки в окрестности узловых точек (отсюда название – узел конфликтов). Как отмечалось выше, узловые точки являются наиболее близкими друг другу точками опасных участков траекторий, образующих узел конфликтов. Для всех пар орбитальных объектов, у

которых перекрываются области высот, в которых проходят их траектории, моделируется изменение положения узловых точек на траектории и в пространстве.

Положение линии пересечения орбитальных плоскостей (прямой $p_1 p_2$) в плоскости орбиты (рис. 2, а) будем задавать углом между направлением на перигей и направлением на одну из узловых точек. Например, для орбитального объекта k на ту из них, которая на момент начала прогноза находится в верхней полуплоскости геоцентрической орбитальной системы координат (на рис. 2, а – точка P_{1k}). Обозначим этот угол – $\vartheta_{P_{1k}}$ (рис. 2, а). Определять значение угла $\vartheta_{P_{1k}}$ предложено следующим образом:

$$\vartheta_{P_{1k}} = \arctg\left(-\frac{A_l m_{k1,1} + B_l m_{k2,1} + C_l m_{k3,1}}{A_l m_{k1,2} + B_l m_{k2,2} + C_l m_{k3,2}}\right), \quad (1)$$

где $m_{k1,1} = \cos(\Omega_k) \cdot \cos(\omega_k) - \sin(\Omega_k) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \cos(i_k)$;

$m_{k1,2} = -\cos(\Omega_k) \cdot \sin(\omega_k) - \sin(\Omega_k) \cdot \cos(\omega_k) \cdot \cos(i_k)$;

$m_{k2,1} = \sin(\Omega_k) \cdot \cos(\omega_k) + \cos(\Omega_k) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \cos(i_k)$;

$m_{k2,2} = \cos(\Omega_k) \cdot \cos(\omega_k) \cdot \cos(i_k) - \sin(\Omega_k) \cdot \sin(\omega_k)$;

$m_{k3,1} = \sin(\omega_k) \cdot \sin(i_k)$; $m_{k3,2} = \cos(\omega_k) \cdot \sin(i_k)$ – элементы матрицы перехода из геоцентрической орбитальной системы в геоцентрическую экваториальную систему.

Изменение угла $\vartheta_{P_{1k}}$ во времени описывается путем подстановки в выражение (1) значений соответствующих орбитальных параметров как функций времени, которые рассчитываются на основе упрощенных выражений, предложенных, например, в [15]. Расчет $\vartheta_{P_{1k}}$ как функции времени реализован по такому алгоритму, который обеспечивает ее непрерывность на интервале от 0 до 360 градусов (то есть отсутствие "скачков", которые возможны из-за тангенса в выражении (1)).

Очевидно, что угол $\vartheta_{P_{1k}}$ – это значение истинной аномалии, соответствующее положению, которое занимало бы орбитальное тело, если бы находилось в этой точке на витке, первом после последнего прохождения перигея. Аналогично определяемое значение истинной аномалии во второй точке пересечения прямой $p_1 p_2$ с траекторией орбитального тела (в точке P_{2k} для рассматриваемого примера) отличается от значения $\vartheta_{P_{1k}}$ на π : $\vartheta_{P_{2k}} = \vartheta_{P_{1k}} + \pi$. С использованием

значений истинных аномалий ϑ_{P1k} , ϑ_{P2k} , определяются координаты узловых точек P_{1k} , P_{2k} , в орбитальной геоцентрической системе координат $Ox_{go}y_{go}z_{go}$, и далее – в геоцентрической экваториальной системе $Oxyz$. По такому же алгоритму рассчитываются значения истинных аномалий ϑ_{P1l} , ϑ_{P2l} и координаты для узловых точек P_{1l} , P_{2l} на траектории орбитального тела l .

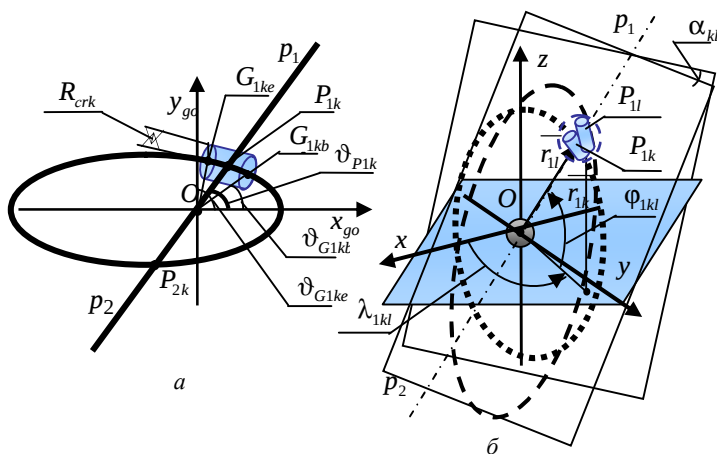


Рис. 2. К определению узла механических конфликтов: a – опасный участок траектории орбитального тела k ; b – узел конфликтов орбитальных тел k и l

В общем случае, как точка P_{1k} , так и точка P_{2k} , могут составить узловую пару либо с точкой P_{1l} , либо с точкой P_{2l} . Поэтому с использованием координат геоцентрической экваториальной системы рассчитываются расстояния для четырех возможных комбинаций пар точек, в которой одна принадлежит траектории орбитального тела k , а другая – траектории орбитального тела l . На основе полученных результатов определяются пары узловых точек, в которые входят точки, находящиеся на прямой p_1p_2 по одну сторону от центра Земли. Пусть, например (как показано на рис. 1 а), узловые пары составляют точки P_{1k} , P_{1l} и P_{2k} , P_{2l} .

Каждая узловая пара определяет потенциально возможный узел конфликтов. Если расстояние L между точками узловой пары меньше критического L_{cr} , то полагается, что узел конфликтов существует. Пусть, например, опасной узловой парой являются точки P_{1k} , P_{1l} и узел конфликтов существует в окрестности этих узловых точек (рис. 1, а, рис. 2, б). Опасный участок траектории орбитального тела k , который входит в узел конфликтов, образованный траекториями объектов k и l , может быть определен с учетом линейных размеров траектории орбитального тела k , положения узловой точки P_{1k} на этой траектории и значения угла α_{kl} между орбитальными плоскостями объектов k и l . На рис. 2 этот участок ограничен точками G_{1kb} и G_{1ke} . Им соответствуют значения истинных аномалий ϑ_{G1kb} и ϑ_{G1ke} . Подходы к расчету опасного участка траектории представлены, например, в работах [10 – 12].

Таким образом, в текущий момент времени узел конфликтов, образованный опасными участками траекторий орбитальных объектов k и l , определяют значения истинных аномалий для узловой точки и точек, ограничивающих опасный участок на траектории каждого из этих орбитальных объектов.

Для указания положения узла конфликтов в пространстве в текущий момент времени можно использовать значения координат пары опасных узловых точек в геоцентрической экваториальной системе координат.

В ряде задач, связанных с анализом конфликтности множества орбитальных объектов, положение пары узловых точек удобно задавать в абсолютной геоцентрической сферической системе координат. Положение каждой из точек определяет ее радиус-вектор, направление которого задают углы λ и φ . Угол λ отсчитывается в плоскости экватора от направления на точку весеннего равноденствия до направления на проекцию узловой точки на плоскость экватора. Положительное направление отсчета угла λ совпадает с направлением отсчета долготы восходящего узла. Угол φ отсчитывается от направления на точку проекции узловой точки на плоскость экватора до направления на узловую точку. Положительное направление отсчета угла φ – к северному полюсу. Радиус-векторы, проведенные из центра Земли в узловые точки ($\bar{r}_{1k}$ и $\bar{r}_{1l}$ для точек P_{1k} и P_{1l} на рис. 2, б), – сонаправлены. Будем говорить, что значения углов λ и φ , задающие направления радиус-векторов пары узловых точек, задают направление

на узел конфликтов (например углы λ_{1kl} и ϕ_{1kl} на рис. 2, б задают направление на узел конфликтов в окрестности узловых точек P_{1k} и P_{1l}).

Длины радиус-векторов узловых точек, входящих в узел конфликтов, в общем случае различаются. Разность этих значений есть наименьшее расстояние, на которое возможно опасное сближение при прохождении через этот узел конфликтов. Такое расстояние было бы между орбитальными телами, если бы они при прохождении узла конфликтов одновременно оказались каждое в своей узловой точке.

Введем понятие опасной зоны узла конфликтов. Под опасной зоной понимается объединение областей пространства, каждая из которых представляет собой трубку, границы которой равномерно отстоят от траектории в каждой точке на расстояние R_{cr} . Упрощенно зону конфликтов можно также представить как сферу, центр которой расположен на середине отрезка, соединяющего опасные узловые точки, а радиус выбран таким, чтобы сфера охватывала оба опасных участка траектории (рис. 2, б).

В изменениях узлов конфликтов можно выделить периодические составляющие. Подход к классификации узлов конфликтов в зависимости от стабильности периодических процессов их изменения представлен в работе [16].

Метод определения интервалов времени движения орбитального тела через узел конфликтов. Введем в рассмотрение длительность интервала времени T_{t_p} , которое орбитальное тело затратило бы на движение от принятого за ноль момента времени прохождения перигея, до текущего положения узловой точки. Так как положение узловой точки вследствие воздействия возмущающих сил меняется во времени (рис. 3, а), длительность интервала времени $T_{t_p}(t)$ также есть функция времени. Для каждого j -го периода обращения орбитального тела будем рассматривать интервал времени $T_{t_p,j}$, которое орбитальное тело затратит на движение от перигея до узловой точки на этом периоде обращения (рис. 3, б). Таким образом, $T_{t_p,j}$ – значение функции $T_{t_p}(t)$ на j -ом периоде обращения. Предлагается определять $T_{t_p,j}$ на основе принятого упрощающего положения о линейности функции $T_{t_p}(t)$ на периоде обращения и использовании функции зависимости времени от времени ($t(t) = t$) (рис. 3, б):

$$T_{t_{pj}} = \frac{T_{t_p}(t_b)}{1 - \left(\frac{T_{t_p}(t_e) - T_{t_p}(t_b)}{T} \right)}.$$

Момент времени t_{pj} прохождения орбитальным телом узловой точки на j -ом периоде обращения определяет выражение: $t_{pj} = t_b + T_{t_{pj}}$.

Описанным выше способом определяются моменты времени прохождения опасной узловой точки k -ым и l -ым орбитальными телами (t_{pjk} и t_{pjl} соответственно).

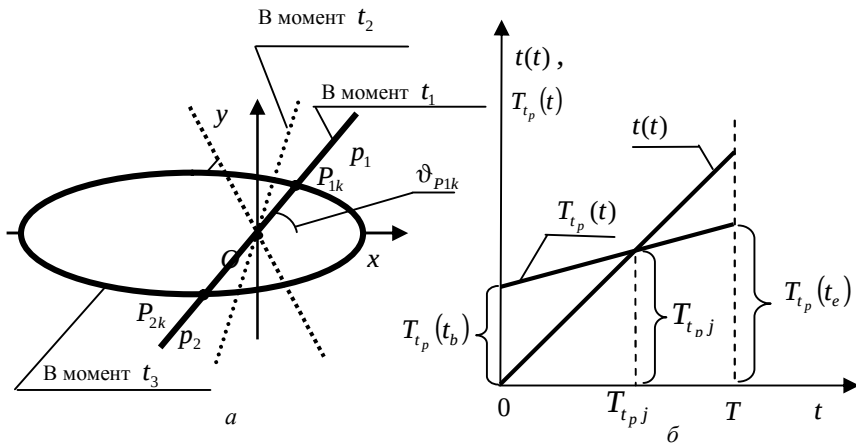


Рис. 3. К определению момента движения орбитального тела через узловую точку: a – изменение положения линии пересечения орбитальных плоскостей; b – графическое представление поиска решения

После определения моментов времени прохождения узловых точек на периодах обращения орбитальных тел находятся отрезки времени движения по опасным участкам траекторий (опасные отрезки времени). Принято упрощающее положение, что длительность опасного отрезка времени неизменна от периода к периоду (она определяется с "запасом", на основе подхода, предложенного в работах [10, 13]), и что момент времени прохождения узловой точки делит этот отрезок пополам. Таким образом, если половина длительности опасного отрезка времени – Δ_p , то

опасный отрезок времени в окрестности точки $t_{pj} - [t_{pj} - \Delta_{tp}, t_{pj} + \Delta_{tj}]$, где $T_p(t_b)$ и $T_p(t_e)$ значения $T_p(t)$ в моменты времени t_b и t_e начала и конца периода обращения орбитального тела, T – период его обращения.

Если для пары орбитальных тел, траектории которых образуют узел конфликтов, интервалы времени движения по этим участкам траекторий перекрываются, то полагается возможной конфликтная ситуация.

Анализ точности описанных методов моделирования представлен в работе [11].

Результаты исследований. Разработана следующая концепция системы орбитальных тел. В рассмотрение введен виртуальный элемент системы – узел механических конфликтов. Моделируемая сложная система определена на множестве узлов механических конфликтов. В моделировании можно выделить два этапа. На первом этапе на заданном отрезке времени моделируются узлы механических конфликтов. При этом для всех пар орбитальных тел, у которых области высот, в которых проходят их траектории, перекрываются, моделируются узловые пары (потенциальные узлы механических конфликтов). В каждый текущий момент времени на основе анализа расстояния между парой узловых точек проверяется существования узла конфликта, и если это расстояние является опасным, то есть узел конфликтов существует, то рассчитываются описанные выше характеристики этого узла. Так как узел конфликтов меняется достаточно медленно, моделирование может быть реализовано с достаточно крупным шагом (сравнимым с длительностями периодов обращения орбитальных объектов). Результаты этого этапа характеризуют потенциальную опасность конфликтных ситуаций и могут быть использованы для анализа уровня конфликтности множества орбитальных объектов. В том числе, об уровне потенциальных угроз орбитальных коллизий свидетельствует такой показатель как "насыщение" рассматриваемой области высот узлами конфликтов, наличие областей пространства, где наблюдается "скудность" узлов конфликтов.

На втором этапе моделирования для каждого узла конфликтов на интервале времени его существования на основе описанного выше метода определяются интервалы времени движения орбитальных объектов по опасным участкам траекторий, образующим узел конфликтов. Согласно предложенному методу для определения интервалов времени движения орбитального объекта по опасному участку траектории рассчитывается значение функции $T_p(t)$ с шагом, равным периоду обращения орбитального тела. Таким образом, расчет

этих интервалов времени реализуется в тысячи раз быстрее, чем на основе моделирования движения орбитальных объектов. По числу спрогнозированных конфликтных ситуаций можно анализировать опасность узла конфликтов.

Выводы. Предложенный подход к моделированию многоэлементной системы орбитальных объектов может быть полезным дополнением к традиционным подходам при решении задач анализа конфликтности множества орбитальных объектов. В частности, как описано выше, его можно использовать в задачах прогноза опасных сближений космических аппаратов с объектами космического мусора для планирования маневров с целью избежать столкновения. Этот подход может быть применен при построении моделей засоренности околоземного космического пространства, анализе различных глобальных сценариев заполнения орбитальными объектами околоземного пространства или в задачах быстрого анализа возможных последствий крупных орбитальных коллизий.

Список литературы: 1. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства / А.К. Муртазов. – М.: Физмат, 2004. – 304 с. 2. Рыхлова Л.В. Проблема заселенности космоса объектами искусственного происхождения / Л.В. Рыхлова // Проблема загрязнения космоса (космический мусор). – М.: Космосинформ, 1993. – С. 7-21. 3. Beltrami P. Comparison of Debris Flux Models / P. Beltrami, M. Matney, A. I Nazarenko, P. Wegener // Report on the Action Item 19.2, raised by 19th IADC meeting, held in Cologne, Germany. Etamax space document IADC-2001-AI19.2, Rev. 1.0, 2002-09-23. 4. Назаренко А.И. Моделирование эволюции распределения техногенных частиц и объектов / А.И. Назаренко // Проблема загрязнения космоса (космический мусор). – М.: Косминформ, 1995. – С. 104-129. 5. Назаренко А.И. Моделирование техногенного загрязнения околоземного космического пространства / А.И. Назаренко // Околоземная астрономия XXI века. – М.: ГЕОС, 2001. – С. 80-91. 6. Хутровский З.Н. Перспективные методы исследования антропогенного загрязнения ближнего космоса / З.Н. Хутровский // Проблема загрязнения космоса (космический мусор). – М.: Косминформ, 1993. – С. 32-44. 7. Хутровский З.Н. Риск столкновения космических объектов на низких высотах / З.Н. Хутровский, С.Ю. Каменский, В.Ф. Бойков, В.Л. Селов // Столкновения в космическом пространстве. – М.: Косминформ, 1995. – С. 19-90. 8. Кондрашин М.А. Разработка алгоритма выявления объектов, потенциально опасных для управляемых космических аппаратов / М.А. Кондрашин // Космонавтика и ракетостроение. – 2009. – № 1 (58). – С. 153-157. 9. Пудовкин О.Л. Методологические основы системного анализа техногенной космической обстановки / О.Л. Пудовкин // Космонавтика и ракетостроение, 2000. – № 18. – С. 20-39. 10. Лабутина Т.В. Концепция анализа "конфликтности" элементов системы орбитальных тел / Т.В. Лабутина, В.А. Ларин // System research & information technologies. – 2005. – № 4. – С. 32-43. 11. Лабутина Т.В. Методика прогноза механических конфликтов между элементами квазистабильного множества орбитальных тел / Т.В. Лабутина // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2009. – Т. IX. – С. 41-52. 12. Labutkina T.V. "Quick" Evaluation of Degrees of Danger for Satellites by Catalogued Objects of Space Debris / T.V. Labutkina, V.O. Larin, V.V. Belikov // 54th International Astronautical Congress – Bremen (Germany). – 5 p. (Article IAC-03-IAA.5.P.10). 13. Labutkina T.V. Modeling of "Zone of Mechanical Conflicts" in a System of Orbital Object / T.V. Labutkina, V.O. Larin, V.V. Belikov

// 57th International Astronautical Congress. – Valencia (Spain). – 2006. – 5 p. (Article IAC-06-B6.P.2.).
14. Лабуткина Т.В. Быстрый метод прогноза опасных сближений орбитальных объектов и оценка расстояния сближения / *Т.В. Лабуткина, А.Н. Петренко* // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2012. – Т. XIV. – С. 28-40. **15.** Основы теории полета и элементы проектирования искусственных спутников Земли / *М.К. Тихонравов, И.К. Бажанов, О.В. Гурко*. – М.: Машиностроение, 1974. – 332 с. **16. Labutkina T.V.** Classification of zones of conflicts of orbital bodies/ *T.V. Labutkina, V.O. Larin, V.V. Belikov* // 58th International Astronautical Congress. – Hyderabad (India). – 2007. – 4 p. (Article IAC-07-A6.2.06.).

Поступила в редакцию 15.07.2013

После доработки 11.11.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф., начальник сектора Государственного предприятия "КБ "Южное" Хорошилов В.С.

УДК 629.783:531.5

Новий аспект моделювання багатоеlementної системи орбітальних об'єктів / Т.В. Лабуткіна, О.М. Петренко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 60 – 74.

Розроблений спрощений метод моделювання багатоеlementної системи орбітальних об'єктів для задач пов'язаних з прогнозом механічних конфліктів (зіткнень) між її елементами. Метод заснований на моделюванні введених до розгляду віртуальних елементів системи – вузлів механічних конфліктів (часток траєкторій, які знаходяться одна від одної на відстані, небезпечній з точки зору зіткнень орбітальних тіл при їх можливих відхиленнях від цих траєкторій). Іл.: 3. Бібліогр.: 16 назв.

Ключові слова: багатоеlementна система орбітальних об'єктів, моделювання, прогноз, механічний конфлікт (зіткнення), вузол механічних конфліктів.

UDC 629.783:531.5

New aspect of design of multiple-unit system of orbit objects / Labutkina T.V., Petrenko O.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 60 – 74.

The simplified method of simulation of multiple-unit system of orbit objects is worked out for problems deals with the forecasting of mechanical conflicts (collisions) between its elements. The method is based on simulation of the virtual elements of system injected into viewing – nodes of mechanical conflicts (parts of the trajectoris, being from each other on distance, dangerous to collisions of orbit objects at their possible diflaction from these trajectoris). Figs.: 3. Refs.: 16 titles.

Keywords: multiple-unit system of orbit objects, simulation, forecasting, the mechanical conflict (collision), node of mechanical conflicts.

УДК 658.51:005.5

О.С. ЛОГУНОВА, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова", Магнитогорск,

В.В. ПАВЛОВ, ведущий инженер, ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат", Магнитогорск,

И.А. ПОСОХОВ, аспирант, ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова", Магнитогорск,

И.И. МАЦКО, инженер, ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова", Магнитогорск,

О.С. МАЦКО, магистр, ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова", Магнитогорск

СТРУКТУРА КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Определена необходимость в разработке универсальной технологии построения системы интеллектуальной поддержки управления многостадийными процессами, способной выполнить согласование значений технологических параметров между локальными контурами на каждой стадии производства. Предложены структура комплексной системы интеллектуальной поддержки управления многостадийными металлургическими процессами и модели этапов производства. Ил.: 3. Библиограф.: 9 назв.

Ключевые слова: системы управления, интеллектуальная поддержка, многостадийные металлургические процессы.

Постановка проблемы и анализ литературы. Современное промышленное производство выдвигает новые требования к системам управления многостадийными производствами. Эти требования обусловлены внедрением новых приоритетных направлений, определенных государственной политикой в России. Одно из таких направлений – развитие информационно-телекоммуникационных технологий, которые являются неотъемлемой частью автоматизированных систем управления (АСУ) производством крупных промышленных предприятий. Использование новых модулей АСУ для многостадийных производственных процессов способствует повышению эффективности функционирования агрегатов и обеспечивает снижение доли продукции пониженного качества.

Многостадийная технология получения металлургической продукции, с точки зрения управления, является сложным объектом. Для таких технологий необходимы системы, позволяющие в режиме

реального времени выполнять мониторинг качества получаемой продукции и обеспечивать интеллектуальную поддержку принятия решений при управлении производством.

В области теории и практики использования графической информации и принятия решений в условиях АСУ производств накоплен значительный положительный опыт. Вопросы получения, обработки и сегментации изображений отражены в трудах зарубежных и российских исследователей [1 – 3].

Однако, несмотря на проведенные исследования и значительное число публикаций в области АСУ металлургического производства [4 – 7], остаются актуальными следующие проблемы:

- отсутствие автоматизированных систем, позволяющих обеспечить контроль за технологическими процессами, входящими в технологическую цепочку, на основе информации о качестве выпускаемой продукции;

- отсутствие методик сбора и обработки графической информации о качестве металлургической продукции по низкоконтрастным изображениям с элементами нерегулярной формы;

- отсутствие пакетов прикладных программ для интеллектуальной поддержки принятия решений в АСУ многостадийным производством, построенных на основе адаптивных нечетких деревьев с динамической структурой, учитывающих значения атрибутивных признаков качества получаемой продукции.

В сложившихся условиях возникает необходимость в разработке универсальной технологии построения системы интеллектуальной поддержки управления многостадийными процессами, способной выполнить согласование значений технологических параметров между локальными контурами на каждой стадии производства. Это и является **целью данной статьи.**

Структура объекта исследования. Рассмотрим процесс, состоящий из N стадий, общая схема которого приведена на рис. 1.

На рис. 1 введены обозначения: $\{Z_i\}$ – вектор заданий на значения технологических параметров i -го процесса; $\{R_i\}$ – вектор решений об изменении значений параметров i -го процесса; $\{M_i\}$ – вектор оценок (показателей) качества продукции или полупродукта, получаемого при переделе на N выбранных стадиях; Z – значение результирующих показателей по заданной позиции продукции.

В качестве примера рассмотрим производство непрерывно-литой заготовки, для которого выбраны три основные стадии: выплавка стали в дуговых сталеплавильных печах переменного тока (ДСП), обработка

стали на установке печь-ковш (УПК) и непрерывная разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Для выбранной технологии, при $N = 3$, получим схему многостадийного производства, приведенную на рис. 2.

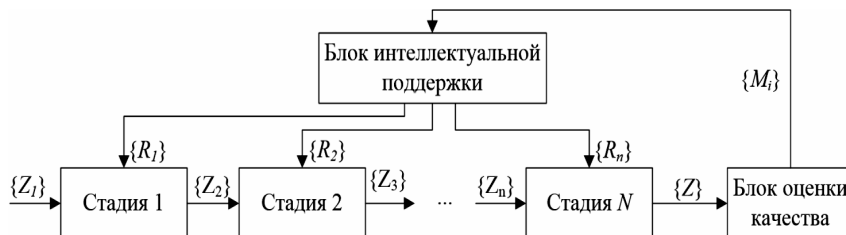


Рис. 1. Схема многостадийного производства с комплексной системой интеллектуальной поддержки управления



Рис. 2. Схема многостадийного производства непрерывно-литой заготовки

Структурная модель i -го этапа производства. Блок каждой стадии (рис. 1) имеет сложную структуру, которая включает в себя: математические модели процессов, модуль визуализации предполагаемого результата, модуль мониторинга текущего процесса, блок принятия решения, системы локальных контуров управления технологическими параметрами, объект управления (технологический агрегат или его зоны). Структурная схема каждой стадии может быть унифицирована согласно схеме, приведенной на рис. 3.

На рис. 3 введены обозначения: $\{R_{3м}\}$ – вектор решений об изменении значений параметров i -го процесса, полученный по результатам моделирования; $\{DZ_3\}$ – вектор поправок на значение задания по управлению процессом; $\{Z_{3вх}\}$ – вектор задания для системы локальных контуров объекта управления; $\{Z_{3вых}\}$ – вектор значений технологических параметров, передаваемых на объекта управления;

$\{Z_{\text{вых}}\}$ – вектор значений технологических параметров, полученных после завершения i -ой стадии производства и передаваемых в качестве задания на $i+1$ стадию.

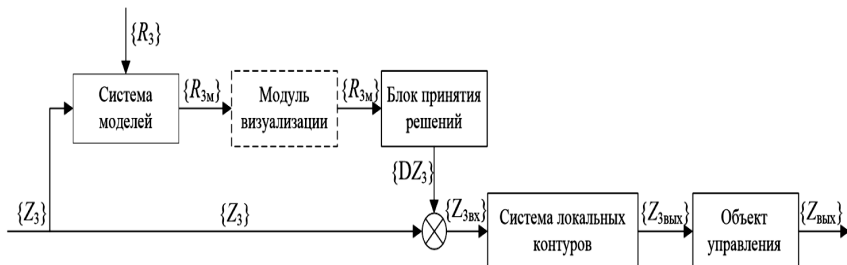


Рис. 3. Структурная схема i -й стадии производства

На рис. 1 и рис. 3 представлены блоки принятия решения, которые могут быть реализованы с помощью различных технологий, как в автоматизированном, так и автоматическом режимах. В настоящее время наиболее распространенными являются технологии принятия решения, построенные на основе классификации с помощью нейронных сетей, нечеткой логики и древовидных структур [4, 8, 9]. Одним из вариантов, учитывающим нечеткость информации и классификационные признаки качества продукции, является сочетание множества древовидных структур и нечетких функций принадлежности об уровне полученных показателей качества. Учитывая множество показателей качества и динамичность производственных процессов, формируется адаптивный лес нечетких деревьев с динамической структурой. Адаптивность каждого дерева позволяет переобучить дерево решений при изменении условий протекания технологического процесса и реагировать на неопределенные в дереве решений ситуации. Динамичность позволяет изменять степень важности технологических параметров управления процессом после серии адаптаций дерева с целью предоставления более коротких ветвей решения, тем самым уменьшая число требующих коррекции параметров.

Модуль визуализации (рис. 3) предназначен для демонстрации результатов моделирования, и его построение является самостоятельной научной проблемой в области обработки информации. Модуль является необязательным и во многие системы управления технологическими процессами не включается из-за сложности реализации при отображении результатов в реальном времени.

Блок "Система локальных контуров" также имеет сложную структуру и может сочетать в себе M подсистем, которые отвечают за выбор и стабилизацию значений технологических параметров. Особенностью предлагаемого решения является рассмотрение комплексного результата при изменении значений множества технологических параметров не только на выбранной i -ой стадии, но и между стадиями. Поэтому между блоками схем, показанных на рис. 1 и рис. 3, показано векторное представление входных и выходных параметров.

Разработана структурная схема стадии непрерывной разливки стали для условий электросталеплавильного цеха ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат". На вход схемы от блока интеллектуальной поддержки поступает сигнал о рекомендуемом качестве заготовки $\{R_3\}$. Связующие координаты вектора $\{Z_i\}$ поступают в блок моделирования процесса непрерывной разливки стали. В этом блоке представлена система подмоделей, включающая модель идентификации коэффициента теплоотдачи с поверхности заготовки, модель теплового состояния заготовки, модель формирования дефектов заготовки, модель прогнозирования качества заготовки и т.д. Результаты моделирования последовательно поступают в модуль визуализации, реализованной на платформе Scada технологий, и блок принятия решений. Одним из способов построения блока принятия решений о корректировке значений технологических параметров является использование адаптивных нечетких деревьев с динамической структурой. В качестве лингвистических переменных для дерева принятия решений о возможных причинах возникновения дефектов определены: масса плавки; температура металла после выпуска из ДСП; температура металла после внепечной обработки; температура металла в промежуточном ковше; окисленность металла; скорость разливки стали; содержание основных химических элементов в стали.

Заключение. Таким образом, при наличии современных методов принятия решений возможно развитие существующих систем управления производством в направлении их интеллектуализации. Использование комплексной системы интеллектуальной поддержки управления многостадийными металлургическими процессами позволяет вести многофакторный анализ процесса.

Список литературы: 1. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с. 4. Рябчиков М.Ю. Достижение максимальной производительности оптимизируемого

процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления / *М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев* // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – № 2. – С. 5-9.

5. *Tutarova V.D.* Analysis of the surface temperature of continuously cast ingot beyond the zones of air cooling / *V.D. Tutarova, O.S. Logunova* // *Steel in Translation*. – 1998 – № 8. – P. 21-23.

6. *Логунова О.С.* Моделирование теплового состояния бесконечно протяженного тела с учетом динамически изменяющихся граничных условий третьего рода / *О.С. Логунова, И.И. Мацько, Д.С. Сафонов* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2012. – № 27. – С. 74-85.

7. *Logunova O.S.* Internal-defect formation and the thermal state of continuous-cast billet / *O.S. Logunova* // *Steel in Translation*. – 2008. – Vol. 38. – № 10. – P. 849-852.

8. *Головко Н.А.* Адаптивная система автоматического управления стохастическими нелинейными процессами / *Н.А. Головко, О.С. Логунова, Б.Н. Парсункин* // Научное обозрение. – 2013. – № 1. – С. 166-170.

9. *Matsko I.I.* Adaptive fuzzy decision tree with dynamic structure for automatic process control system of continuous-cast billet production / *I.I. Matsko, O.S. Logunova, V.V. Pavlov* // *IOSR Journal of Engineering*. – 2012. – Vol. 2. – № 8. – P. 53-55.

Поступила в редакцию 26.06.2013

УДК 658.51: 005.5

Структура каскадної системи управління багатостадійними технологічними процесами / Логунова О.С., Павлов В.В., Посохов І.А., Мацько І.І., Мацько О.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 75 – 80.

Визначено необхідність у розробці універсальної технології побудови системи інтелектуальної підтримки управління багатостадійними процесами, здатної виконати узгодження значень технологічних параметрів між локальними контурами на кожній стадії виробництва. Запропоновано структуру комплексної системи інтелектуальної підтримки управління багатостадійними металургійними процесами і моделі етапів виробництва. Лл.: 3. Бібліограф.: 9 назв.

Ключові слова: системи управління, інтелектуальна підтримка, багатостадійні металургійні процеси.

UDC 658.51: 005.5

Structure of the multistage cascade control system technology processes / Logunova O.S., Pavlov V.V., Posohov I.A., Matsko I.I., Matsko O.S. // *Herald of the National Technical University "KhPI"*. Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 75 – 80.

Identified the need to develop a universal technology for building the intellectual management support multistage processes that can perform negotiation process values between local loops at each stage of production. Suggest a structure of an integrated system of intelligent management support multistage metallurgical processes and models stages of production. Figs.: 3. Refs.: 9 titles.

Keywords: control systems, intellectual management support, multistage metallurgical processes.

УДК 517.946

Н.К. МАМАДАЛИЕВ, канд. физ.-мат. наук, доц. НУУз, Ташкент,
А.А. АБДУЛЛАЕВ, аспирант, НУУз, Ташкент

О РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ ПУАНКАРЕ-ТРИКОМИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ СМЕШАННОГО ТИПА ВТОРОГО РОДА

В данной работе впервые доказано однозначная разрешимость нелокальной краевой задачи с условием Пуанкаре для уравнения эллиптико-гиперболического типа второго рода, т.е. для уравнения, где линия вырождения является огибающей семейства характеристик и сама также является характеристикой. Единственность решения задачи доказывается методом интегралов энергии, а существование – методом интегральных уравнений. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: нелокальная краевая задача, условия Пуанкаре, уравнения эллиптико-гиперболического типа, уравнения смешанного типа второго рода.

Постановка проблемы. Уравнение смешанного типа благодаря приложениям при решении многих важных вопросов прикладного характера: теории газовой динамики, электронного рассеивания, бесконечно малых изгибаний поверхностей, прогнозирования уровня грунтовых вод, также задача сопла Ловаля – является одним из основных направлений теории дифференциальных уравнений в частных производных, которая интенсивно развивается с пятидесятих годов прошлого века.

Работ, посвященных исследованию краевых задач для уравнений смешанного типа второго рода, сравнительно мало. До сих пор остается неисследованной задача Пуанкаре-Трикоми для эллиптико-гиперболического уравнения второго рода, которой посвящена настоящая работа.

Анализ литературы. В конце прошлого века бурно развивались исследования по теории уравнений смешанного типа. Изучены краевые задачи Геллерстедта, Трикоми и много краевые задачи с различными нелокальными условиями для уравнений как парабола-гиперболического так и эллиптико-гиперболического типов. При доказательстве существования решения этих задач использованы, в основном, теория интегральных уравнений [1, 2]. В работе [3] исследована задача Трикоми для уравнения эллиптико-гиперболического типа второго рода в обобщенном классе R_2 . После появления этой работы для уравнений эллиптико-гиперболического типа изучены такие задачи как задача

Франкля, Бицадзе-Самарского и т.д. Во всех вышеперечисленных работах использовано непрерывное решение видоизменённой задачи Коши для уравнения гиперболического типа, полученное С.А. Терсеновым [4]. Однако в исследованных задачах, в основном, использовано представление решения Терсенова, с помощью которого не всегда удается доказать однозначную разрешимость многих краевых задач. Это способствовало рождению интереса у многих ученых этого направления к нахождению более удобного представления решения задачи Коши для гиперболического уравнение. В работе [5] опубликовано новое представление обобщенного решения видоизменённой задачи Коши для гиперболического уравнения второго рода, которое позволило решить вышеперечисленных задач для уравнения смешанного типа второго рода [6, 7, 8]. В последнее время, благодаря полученному представлению обобщенного решения видоизменённой задачи Коши для гиперболического уравнения второго рода, снимаются некоторые жёсткие условия в ранее проведенных исследованиях. В работе [9] изучена задача Пуанкаре-Трикоми для уравнения смешанного типа с разрывными коэффициентами. Новизна данной работы – в постановке задачи с условием Пуанкаре для уравнения эллиптико-гиперболического типа второго рода, в котором существование решения исследуется впервые с помощью представления обобщенного решения видоизменённой задачи Коши для гиперболического уравнения второго рода.

Цель статьи – исследовать однозначную разрешимость нелокальной краевой задачи с условием Пуанкаре для уравнения эллиптико-гиперболического типа второго рода.

Рассмотрим уравнение

$$\operatorname{sign} y |y|^m u_{xx} + u_{yy} = 0, \quad -1 < m < 0, \quad (1)$$

в области $D = D_1 \cup D_2$, где D_1 – ограничена кривой σ при $y > 0$ с концами в точках $A(0,0)$, $B(1,0)$ и отрезком AB ($y = 0$), а D_2 – при $y < 0$ ограничена тем же отрезком AB и характеристиками уравнения (1).

Задача. Требуется найти функцию $u(x, y)$, обладающую следующими свойствами:

- 1) $u(x, y) \in C(\overline{D})$ – является регулярным решением уравнения (1) в области D_1 , а в области D_2 – обобщенным решением из класса R_2 [6];
- 2) выполняется условие склеивание

$$-u_y(x, -0) = u_y(x, +0); \quad (2)$$

3) удовлетворяет следующим граничным условиям

$$\{a(s)A_s[u] + b(s)u\}|_{\sigma} = \varphi(s), \quad 0 < s < l; \quad (3)$$

$$D_{0x}^{1-\beta} u[\theta_0(x)] = c(x)u(x, 0) + f(x), \quad 0 < x < 1, \quad (4)$$

где s – длина дуги σ , отсчитываемой от точки $B(1, 0)$, $\theta_0(x)$ – точка пересечения характеристики уравнения (1), а $a(s), b(s), \varphi(s), c(x), f(x)$ – заданные функции, причём

$$a(s)b(s) \geq 0, \quad 0 \leq s \leq 1, \quad a(s), b(s), \varphi(s) \in C[0, l],$$

а $f(x)$ – может иметь особенность порядка меньше чем -2β , где

$$\beta = \frac{m}{2(m+2)}.$$

Единственность решения задачи доказывается методом интегралов энергии. Переходим к исследованию поставленной задачи.

Решение задачи в области D_1 , удовлетворяющее условию (3) и $u|_{y=0} = t(x)$, ($0 \leq x \leq 1$), имеет вид [3]:

$$u(x, y) = \int_0^1 \tau(\xi) \frac{\partial}{\partial \eta} G_2(\xi, 0, x, y) d\xi + \int_0^l \frac{\varphi(s)}{a(s)} G_2(\xi, \eta, x, y) ds, \quad (5)$$

где $G_2(\xi, \eta, x, y)$ – функция Грина данной задачи в области D_1 , а в области D_2 , решая видоизмененную задачу Коши для гиперболического уравнения, получим обобщенное решение из класса R_2 [1]:

$$u(\xi, \eta) = \int_0^{\xi} (\eta - \zeta)^{-\beta} (\xi - \zeta)^{-\beta} T(\zeta) d\zeta + \int_{\xi}^{\eta} (\eta - \zeta)^{-\beta} (\zeta - \xi)^{-\beta} N(\zeta) d\zeta, \quad (6)$$

где

$$N(\zeta) = \frac{1}{2\pi \cos \pi \beta} T(\zeta) - \gamma_2 v(\zeta), \quad (7)$$

$$\gamma_2 = [2(1 - 2\beta)]^{2\beta-1} \frac{\Gamma(2 - 2\beta)}{\Gamma^2(1 - \beta)},$$

а $T(\zeta)$ определяется из следующего определения:

Определение. Функция $u(\xi, \eta)$, определённая формулой (6), называется обобщенным решением задачи Коши для уравнения (1) в области D_2 из класса R_2 [6], в котором $\tau(x)$ имеет вид:

$$\tau(x) = \int_0^x (x-t)^{-2\beta} T(t) dt,$$

где $v(x)$ и $T(x)$ – непрерывные и интегрируемые функции в интервале $(0;1)$ и $T(x)$ – интегрируема на $[0;1]$.

Из равенств (5) и (6) получаем следующие функциональные соотношения между $\tau(x)$ и $v(x)$:

$$\begin{aligned} v(x) = & \frac{k_2}{2\beta(2\beta-1)} \left[\frac{d}{dx} \int_0^x \frac{\tau'(t)}{(x-t)^{-2\beta}} dt + \frac{d}{dx} \int_x^1 \frac{\tau'(t)}{(t-x)^{-2\beta}} dt \right] - \\ & - k_2 \int_0^1 \frac{\tau(t) dt}{(t+x-2xt)^{2-2\beta}} + \int_0^1 \tau(t) \frac{\partial^2 H_2(t, 0; x, 0)}{\partial \eta \partial y} dt + \\ & + \int_0^l \chi(s) \frac{\partial q_2(\xi, \eta; x, 0)}{\partial y} ds + \frac{k_2}{\beta(2\beta-1)} x^{2\beta} \tau'(0) \end{aligned} \quad (8)$$

и

$$\begin{aligned} \tau'(x) = & -2\beta\gamma_3 \int_0^x (x-t)^{-2\beta-1} v(t) dt - \\ & - 2\beta\gamma_3 \int_0^x (x-t)^{-2\beta-1} dt \int_0^t R(t, z) v(z) dz + F_0'(x), \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$F_0(x) = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_0^x (x-t)^{-2\beta} t^\beta f(t) dt + \frac{\lambda}{\Gamma(1-\beta)} \int_0^x (x-t)^{-2\beta} dt \int_0^t R(t, z) t^\beta f(z) dz,$$

а $R(t, z)$ – есть резольвента следующего интегрального уравнения

$$T(x) = \lambda_1 \int_0^x K(x, t) T(t) dt + F(x),$$

$$\text{где } K(x, t) = (x - t)^{-2\beta} x^\beta c(x), \quad F(x) = \frac{x^\beta f(x)}{\Gamma(1-\beta)} + \gamma_3 v(x), \quad \lambda_1 = \frac{2 \cos \pi \beta}{\Gamma(1-\beta)},$$

$$\gamma_3 = 2\pi\gamma_2 \cos \pi \beta.$$

Существование решения задачи для уравнения (1) в силу (5) и (6) эквивалентно разрешимости системы (8) и (9). Подставляя (8) в (9) после некоторых вычислений, с учётом условия склеивания (2) и $x^{2\beta} \tau'(x) = \rho(x)$, получим следующее сингулярное интегральное уравнение с ядром типа Коши:

$$\rho(x) - \lambda \int_0^1 \frac{\rho(t)}{t-x} dt = F(x),$$

$$\text{где } \lambda = \frac{\cos \pi \beta}{\pi(1 + \sin \pi \beta)}.$$

Далее, применяя известный метод регуляризации Карлемана-Векуа [2], получим интегральное уравнение Фредгольма второго рода, эквивалентное поставленной задаче:

$$\begin{aligned} \tau'(x) = & \frac{1}{2} \Phi_1(x) + \\ & + \frac{\cos \pi \beta}{2\pi(1 + \sin \pi \beta)} (1-x)^{-\frac{1}{4}(1-2\beta)} x^{\frac{1}{4}-\frac{5}{2}\beta} \int_0^1 \frac{(1-t)^{-\frac{1}{4}(1-2\beta)} t^{\left(\frac{1}{4}+\frac{3}{2}\beta\right)}}{t-x} \Phi_1(t) dt. \end{aligned} \quad (10)$$

Уравнение (10) является уравнением Фредгольма второго рода, разрешимость которого следует из единственности решения сформулированной задачи. Определив из уравнения (10) функцию $\tau'(x)$, находим функцию $v(x)$ из равенства (8). Далее, определяя функции $\tau(x)$ и $v(x)$, имея ввиду (4) и (7), по формулам (6) и (5) получим решение задачи соответственно в областях $D_2(y < 0)$ и $D_1(y > 0)$.

Выводы. Таким образом, согласно вышеприведенных ограничений на заданные функции, доказано существование решения рассматриваемой задачи.

Список литературы: 1. Смирнов М.М. Уравнения смешанного типа / М.М. Смирнов. – М.: Наука, 1970. – 270 с. 2. Салахитдинов М.С. Нелокальные задачи для уравнений смешанного типа с сингулярными коэффициентами / М.С. Салахитдинов, М. Мирсабуров. – Ташкент: "Университет", 2005. – 224 с. 3. Кароль И.Л. К теории уравнений смешанного типа

/ И.Л. Кароль // Докл. АН СССР. – 1953. – Т. 88. – № 3. – С. 397-400. 4. Терсенов С.А. К теории гиперболических уравнений с данными на линии вырождения / С.А. Терсенов // Сиб. мат. журнал РАН. – 1961. – Т. 2. – № 6. – С. 931-935. 5. Мамадалиев Н.К. О представлении, решения видоизмененной задачи Коши / Н.К. Мамадалиев // Сиб. мат. журнал РАН. – 2000. – Т. 41. – № 5. – С. 1087-1097. 6. Mamadaliev N.K. Tricomi problem for strongly Degenarate Equations of Parabolic-Hyperbolic type / N.K. Mamadaliev // Mathematical Notss. – Curler Academic / Plenum-publishers. – 1999/2000. – Vol. 66. – № 3.– P. 310-315. 7. Mamadaliev N.K. The Gellerstred Problem for a parabolic-hyperbolic equation of the second kind / N.K. Mamadaliev // Int. J. Dynamical Systems and Differential Equations. – 2007. – Vol. 1. – № 2. – P. 102-108. 8. Salahitdinov M.S. Tricomi problem for the elliptic-hyperbolic equation of the second kind / M.S. Salahitdinov, N.K. Mamadaliev // The Journal of the Korean Mathematical Society (JKMS). – 2011. – Vol. 19. – №. 2. – P. 111-127. 9. Салахитдинов М.С. Задача Пуанкаре-Трикоми для уравнения смешанного типа с разрывными коэффициентами / М.С. Салахитдинов, Д. Аманов // В сб. "Уравнения смешанного типа и задачи со свободной границей". – Ташкент: Фан, 1987. – С. 3-38. 10. Салахитдинов М.С. Уравнения смешанного типа с двумя линиями вырождения / М.С. Салахитдинов., Б.И. Исломов. – Ташкент: "Мумтоз суз", 2010. – 264 с.

Поступила в редакцию 07.08.2013

После доработки 11.12.13

УДК 517.946

Про вирішення задачі Пуанкаре-Трікомі для рівняння змішаного типу другого роду / Мамадалієв Н.К., Абдулаєв А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 81 – 86.

У даній роботі вперше доведено однозначне розв'язання нелокальної краєвої задачі з умовою Пуанкаре для рівняння еліптико-гіперболічного типу другого роду, тобто для рівняння, де лінія звиродіння є такою, що огинає сімейства характеристик і сама також є характеристикою. Єдиність рішення задачі доводиться методом інтегралів енергії, а існування – методом інтегральних рівнянь. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: нелокальна краєва задача, умови Пуанкаре, рівняння еліптико-гіперболічного типу, рівняння змішаного типу другого роду.

UDC 517.946

About solubility of solution of the Poincare – Tricomi problem for the mixed type equation of the second kind / Mamadaliev N.K., Abdullayev A.A. / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 81 – 86.

In the work is for the first time proved unambiguous solubility nonlocal boundary problem with Poincare condition for the elliptic-hyperbolic equation of the second kind for equation, where line of the degeneration is bending around family of the characteristic and itself also is a characteristic. Unique solution of the problem is proved by method integral to energy, and existence by method of the integral equations. Refs.: 10 titles.

Keywords: nonlocal boundary problem, condition Poincare, elliptic-hyperbolic equation of the second kind.

УДК 004.932.2:519.652

В.В. МОРОЗ, канд. техн. наук, доц., ОНУ, Одеса

НАБЛИЖЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ: МЕТОДИ АПРОКСИМАЦІЇ ТА СТИСК

Розглянуті лінійні та нелінійні, адаптивні, геометричні методи гладких апроксимацій зображень для їх компактного представлення з метою покращення характеристик для подальшої обробки, збереження та передачі. Це дає змогу підвищити ефективність методів видалення шуму, сегментації, знаходження границь, розпізнавання образів. Порівняльний аналіз методів апроксимації для задачі стиску зображень проведений на основі кількісної і якісної візуальної оцінки. Приведені висновки стосовно динамічної адаптації методів наближення до структури зображення. Бібліогр.: 22 назви.

Ключові слова: методи апроксимації, стиск, структура зображень.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Теорія, моделі та методи аналізу, обробки і розуміння зображень є основою для побудови систем комп'ютеризованої медичної діагностики, систем військового застосування для виявлення живої сили і транспортних засобів противника, систем наведення ракет, систем управління автономними транспортними засобами, у тому числі підводними, наземними транспортними засобами (невеликі роботи на колесах, автомобілі або вантажівки), пілотними та безпілотними літальними апаратами в режимі реального часу [1, 2].

Ефективність роботи таких систем великою мірою залежить від ефективності підсистем збереження та передачі інформації, тобто від компактного представлення зображень. Це означає, що зображення має описуватися якомога меншим числом базисних функцій. Такі базиси існують лише для глобально гладкого зображення, а більшість реальних двовірних сигналів не є такими. Для побудови гладких апроксимацій зображень розроблено багато різних ефективних методів на основі методів наближення двовірних даних [3, 4, 5]. Але більшість з них є не адаптивними, має високу надмірність в структурі зображення та сильну анізотропію у виборі напрямів. Побудова гладких апроксимацій зображень разом з можливістю ефективною просторовою та часовою передискретизації дозволяє значно зменшити об'єм даних при кодуванні статичних та динамічних зображень, підвищити ефективність методів видалення шуму, сегментації, знаходження границь, розпізнавання образів.

В зв'язку з цим, аналіз і модифікація існуючих та розробка нових моделей і методів цифрової обробки зображень на основі гладких

апроксимацій є актуальною задачею.

Метою роботи є порівняльний аналіз методів наближення зображень стосовно щільності інформації та якості і ступеня стиску.

Апроксимація зображень. Розглянемо зображення як функцію $f \in R^N$, де $N = n_1 \times n_2$, а n_1 і n_2 – розміри зображення. Апроксимація зображень в базисі ортогональних функцій вимагає урахування таких критеріїв:

- мінімізація кількості апроксимуючих складових;
- мінімізація похибки апроксимації.

За умови існування ортонормального базису $\{g_n\}$ в просторі сигналів і сигналу $f = \sum_n \langle f, g_n \rangle g_n$, визначимо найкращу апроксимацію

f як її проєкцію на підпростір меншого розміру M : $\tilde{f}_M = \sum_{n \in I_M} \langle f, g_n \rangle g_n$, де: $I_M = \{n: 0 \leq n < M\}$ – у випадку лінійної

апроксимації, $I_M = \{(n, m): |\langle f, g_n \rangle|_{n \in I_M} \geq |\langle f, g_m \rangle|_{m \notin I_M}\}$ – у випадку

нелінійної апроксимації. Похибка апроксимації визначається за допомогою обчислення середньо-квадратичного відхилення (СКВ):

$\varepsilon_M = \|f - \tilde{f}_M\|^2 = \sum_{n \in I_M} |\langle f, g_n \rangle|^2$, але на практиці для зображень, розміри

яких варіюються, застосовується логарифмічна шкала СКВ, яка відображає відношення сигналу f до шуму ε_M :

$SNR = -20 \log_{10} \frac{\|f\|}{\|f - \tilde{f}_M\|}$, або $PSNR = -20 \log_{10} \frac{\max f}{\|f - \tilde{f}_M\|}$. Інша метрика

ґрунтується на коефіцієнті структурної подібності [6] і відповідає сприйняттю подібності зображень в інтервалі від 0 до 1:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x \mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)},$$

де: μ_x, μ_y – середнє значення x та y відповідно; σ_x^2, σ_y^2 – дисперсія x та y відповідно; σ_{xy} – коваріація x і y ; $c_1 = (k_1 L)^2$ і $c_2 = (k_2 L)^2$ – стабілізуючі коефіцієнти; L – динамічний діапазон значень пікселів; $k_1 = 0.01$, $k_2 = 0.03$ за умовчуванням.

Фур'є апроксимації. Визначимо ортонормований базис Фур'є як

$$\phi_m(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} e^{i \frac{2\pi}{N_0} \langle k, m \rangle}, \quad (1)$$

де: $0 \leq k_1, k_2 < N_0$ – просторові індекси; $0 \leq m_1, m_2 < N_0$ – частотні індекси; $N_0 = \sqrt{N}$ – нормуючий множник.

Перетворення Фур'є обчислюється як проекція функції зображення на базис Фур'є

$$\hat{f}(m) = \langle f, \phi_m \rangle. \quad (2)$$

Лінійна Фур'є апроксимація не залежить від функції зображення і досягається за рахунок збереження лише певного діапазону частотного спектру в області перетворення. Низькочастотні складові, які відповідають старшим гармонікам спектру розкладання, як правило, несуть більше інформації про інтегральні перепади яскравості, а високочастотні складові спектру відображають надмірну інформацію.

На практиці Фур'є апроксимація реалізується шляхом збереження фіксованої множини частотних індексів I_M і наступним зворотнім Фур'є перетворенням

$$f_M = \sum_{m \in I_M} \langle f, \phi_m \rangle \phi_m, \quad (3)$$

де $I_M = \left\{ m = (m_1, m_2) : -\frac{s}{2} \leq m_1, m_2 < \frac{s}{2} \right\}$ – квадрат розміром $\frac{s}{2}$, $s = \sqrt{M}$.

По суті це низькочастотна фільтрація в області перетворення. Але погана просторово-частотна локалізація перетворення Фур'є вносить при такому наближенні зображень сильні високочастотні коливання, що буде показано нижче.

Для урахування структури зображення необхідно застосовувати нелінійні (адаптивні) апроксимації. Нелінійна Фур'є апроксимація визначається аналогічно (3), але множина частотних індексів залежить від значення порогу T : $I_M = \{m : |\langle f, \phi_m \rangle| > T\}$.

Вейвлетні апроксимації. Вейвлетні апроксимації [7, 8] ґрунтуються на сепарабельних ортонормальних або одномірних біртогональних вейвлетах, які мають властивість до концентрації енергії в області низьких частот. Сепарабельність вейвлетних перетворень накладає певні обмеження на інформацію про напрями. Тому, маючи хорошу

просторову локалізацію і чутливість до зміни масштабу, вони не чутливі до змін орієнтації.

Базисні вейвлетні функції $\psi_{a,b} \in L^2(R)$ є дійсними двох параметричними функціями, які коливаються навколо осі абсцис, мають одиничну норму, добре локалізовані як в просторовій, так і в частотній області, мають компактний носій і нульове середнє. Вони можуть розглядатися як масштабовані (стиснуті/розтягнуті) з коефіцієнтом a і зсунуті на b версії функції-прототипу, або материнського вейвлету $\psi_0(x)$:

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi_0\left(\frac{x-b}{a}\right). \quad (4)$$

Материнський вейвлет $\psi_0(x)$ може бути вибраним досить довільно, але його образ Фур'є $\hat{\psi}_0(\omega)$ повинен задовольняти умові допустимості

$$C_\psi = 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}_0(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty, \quad (5)$$

що є умовою існування оберненого вейвлетного перетворення, а на практиці вимагає [9]

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_0(x) dx = 0. \quad (6)$$

Шляхом зсувів/переносів вейвлета покривається вся дійсна вісь $R(-\infty, +\infty)$. Якщо такі зсуви $k \in Z$, а масштабні перетворення виконуються з коефіцієнтом $(1/2^m)$, то породжувані базисні функції $\{\psi_{mk}\}$ будуть визначатися як

$$\psi_{mk}(v) = 2^{\frac{m}{2}} \psi_0(2^m v - k), \quad (7)$$

де v – аналог частоти.

Лінійна вейвлетна апроксимація досягається шляхом обчислення усіх скалярних добутків функції зображення з базисними вейвлетними функціями і збереження низькочастотних складових на відповідному рівні перетворення. Найбільш популярним алгоритмом вейвлетного перетворення є пірамідальний алгоритм С. Малла [9].

Практична реалізація лінійної вейвлетної апроксимації досягається збереженням $M = 2^{m_0}$ вейвлетних коефіцієнтів нижче заданого рівня

масштабування m_0 : $I_M = \{m = (m_1, m_2, m_3) : m > m_0\}$, що відповідає встановленню в нуль коефіцієнтів вище максимального рівня масштабування. Нульовому рівню масштабування відповідає оригінальне зображення.

Нелінійні вейвлетні апроксимації визначаються як проєкції функції зображення f на M векторів, індекси яких знаходяться в I_M :

$$f_M = \sum_{(m,k) \in I_M} \langle f, \psi_{mk} \rangle \psi_{mk}, \quad (8)$$

що забезпечує урахування структури зображення шляхом попадання в M векторів, які мають максимальні амплітуди скалярних добутоків $|\langle f, \psi_{mk} \rangle|$. Мінімізація числа базисних векторів M та мінімізація похибки апроксимації досягається шляхом вибору базису, який забезпечує якомога більше число нехтовно малих вейвлетних коефіцієнтів. Практично побудова такого базису еквівалентна зануленню коефіцієнтів, які по абсолютному значенню менші заданого порогу.

Геометричні апроксимації. Геометричні апроксимації дають можливість відчувати зміни орієнтації. Вони розділяються на неадаптивні та адаптивні. Перші застосовують фрейми типу брушлетів [10], ріджелетів [11], кевелетів [12], контурлетів [13] та шьерлетів [14]. Інші, більш ефективні адаптивні методи, вимагають апіорі наявності словників, розробка яких є нетривіальною задачею.

Словник складається з векторів довжини N , які називають атомами. Скінчений словник з K атомів можна представити у вигляді матриці D розміру $N \times K$. При розрідженому поданні вектор x може бути представлений у вигляді лінійної комбінації декількох атомів зі словника. Тоді апроксимація xa записується у вигляді $xa = Dw$, де w – вектор коефіцієнтів, більшість із яких є нульовими. Навчання за словником є задачею знаходження такого словника, для якого апроксимація більшості векторів навчальної вибірки, наскільки це можливо, досягає заданого критерію розрідженості на коефіцієнти. Тобто, допускається лише певна кількість ненульових коефіцієнтів для кожного наближення.

До адаптивних методів відносяться веджлети [15], бімлети [16], плейтлети [17], серфлети [18] та нові бендлети [19], груплети [20], тетролети [21] і смузлети [22]. Останні дослідження показали, що адаптивні словникові методи можуть застосовуватися навіть в режимі реального часу, але відкритим питанням залишається наявність словників.

Також перспективними є кусково-лінійні та поліноміальні апроксимації вищих порядків і багаторівнева триангуляція. Ці напрямки досліджень дозволяють уникнути обмежень, які вимагають розглянути вище методи.

Ортогональний базис власних функцій. Для компактного подання зображення необхідно виділити в ньому лише інформативні елементи і виключити надмірну інформацію. Це вимагає побудови такого опису зображення, в якому елементи опису слабо залежні. Одним з найбільш перспективних методів побудови такого опису є ортогональний базис, який забезпечує концентрацію інформації про зображення в мінімальному числі коефіцієнтів розкладання. Такий формальний метод побудови базису, який є адекватним відповідній задачі обробки зображення, ґрунтується на перетворенні Карунена-Лоєва (ПКЛ).

ПКЛ, в рамках імовірнісної моделі зображення, визначається на основі обчислення коваріації між двома вибірками випадкових змінних X_i і X_j як змішаного моменту другого порядку:

$$\sigma_{ij} = M[(X_i - m_i)(X_j - m_j)], \quad (9)$$

де m_i і m_j – середні значення вибірок X_i та X_j відповідно. Якщо виходити з того, що всі випадкові змінні мають нульове середнє, то для вектора X автоковаріаційна матриця визначається як $K_X = M[XX^T]$. Вона є симетричною та позитивно визначеною. Припустимо, що результуючий вектор перетворення $Y = TX$, де T – унітарна матриця $N \times N$, яка задовольняє умові $T^T T = T T^T = I$. Тоді автоковаріаційна матриця Y буде визначатися як

$$K_Y = M[YY^T] = M[TXX^T T^T] = TM[XX^T]T^T = TK_X T^T. \quad (10)$$

Для отримання декорелюючого перетворення двох випадкових величин необхідною умовою є рівність нулю їхньої коваріації. Нехай v_i – власні вектори (з одиничною нормою) матриці K_X , а λ_i – відповідні їм власні значення такі, що

$$K_X v_i = \lambda_i v_i, \quad (11)$$

причому λ_i упорядковані наступним чином $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N \geq 0$. Всі власні значення невід'ємні в силу того, що K_X – позитивно визначена. Більше того, так як K_X є симетричною, то існує кінцева множина

власних векторів. Ці вектори є рядками матриці перетворення Карунена-Лоєва:

$$T = [v_1 \ v_2 \ \mathbf{K} \ v_N]^T.$$

Тоді $K_Y = TK_X T^T = TT^T \Lambda = \Lambda$, де Λ – діагональна матриця з елементами $\lambda_{ii} = \lambda_i = M[Y_i^2]$.

Якщо залишити лише k з N перетворених векторів, то $Y_1, Y_2, \mathbf{K}, Y_k$ будуть мінімізувати середньоквадратичну похибку між X та його апроксимацією $\hat{X}$. Для стаціонарних, в широкому сенсі, випадкових полів зображень оптимальна апроксимація ПКЛ в неперервному випадку асимптотично наближається до перетворення Фур'є, а в дискретному – до косинусного перетворення. Але ПКЛ може бути застосовано і для не обов'язково випадкових елементів зображень, а для тих, для яких існує поняття аналогу кореляційної функції яскравості. Головним недоліком ПКЛ є його обчислювальна складність порядку $O(N^4)$, де N – число відліків зображення.

Методи апроксимації та стиск зображень. Стиск є однією з задач обробки зображень. З позиції теорії інформації зображення, як будь-який сигнал, є випадковим процесом, а його кодування зводиться до побудови двійкових кодів, які можуть враховувати статистичні характеристики. При цьому не береться до уваги кореляція між пікселями зображення, яка є одним з показників надмірності інформації. На регулярних ділянках зображення щільність інформації на одиницю площини є значно меншою в порівнянні з нерегулярними. Тому для досягнення більш високих степенів стиску важливим є наближення зображень з динамічною адаптацією до їх внутрішньої структури.

Обчислювальні експерименти були проведені на трьох відомих тестових зображеннях з певними особливостями внутрішньої структури. При лінійній апроксимації шляхом збереження 5% коефіцієнтів спостерігається прийнятна візуальна якість, але присутні ледве помітні артефакти: втрачаються дрібні елементи текстури, значні втрати текстури і дрібних окремих деталей. При більш гладкій апроксимації візуальні артефакти зростають, а при збільшенні кількості спектральних коефіцієнтів значного відновлення втраченої інформації не спостерігається. Лише при збереженні кількості коефіцієнтів до 45% починається відновлення текстури і дрібних деталей. Нелінійна Фур'є апроксимація дає подібний результат навіть при 2.7, 5.3 і 3.8 процентах коефіцієнтів відповідно для цих же зображень. Найкращий результат дають нелінійні вейвлетні апроксимації.

При стисканні кодеком JPEG апроксимованих зображень зі збереженням однієї кількості коефіцієнтів отримуємо степінь стиску у два рази більший для лінійної апроксимації. Але при однаковій візуальній якості, яка досягається збереженням у чотири рази більшої кількості Фур'є коефіцієнтів при лінійній апроксимації проти нелінійної, для рівня якості 90 коефіцієнт стиску відрізняється лише на 2–3 кілобайти.

У випадку застосування ПКЛ зображення, які представлене лише 25% базисних векторів, майже не відрізняються від оригінальних: PSNR складає 49, 44 і 46 dB відповідно. При цьому дуже добре зберігається дрібна структура, але спостерігається ледь помітний шум на регулярних областях зображень.

Висновки. Проведені наближення тестових зображень з різною внутрішньою структурою методами лінійної та нелінійної Фур'є і вейвлетної апроксимації, на основі ПКЛ. Результати показали, що в задачах стиску зображень, де дозволяється незначна втрата візуальної інформації (елементи регулярної текстури, дрібні елементи) без втрати важливих деталей зображення, лінійна апроксимація дозволяє покращити степінь стиску не менше, ніж у два рази в порівнянні з нелінійною. При стисканні зображень без візуальних втрат інформації нелінійна апроксимація не тільки дозволяє покращити степінь стиску, але і зберегти високу візуальну якість. Вона може бути також застосована в якості попередньої обробки зображень для широкого діапазону систем різної спрямованості: локалізації, детектуванні, ідентифікації об'єктів при відеоспостереженні, при розпізнаванні об'єктів. Найкраще наближення з динамічною адаптацією до внутрішньої структури зображення дає апроксимація на основі ПКЛ. На відміну від адаптивних геометричних методів вона не потребує апріорної інформації (словників), але її обчислювальна складність поступається методам, в основі яких лежить Фур'є та вейвлетне перетворення. Тому з практичної точки зору найбільш прийнятною є нелінійна вейвлетна апроксимація, яка хоч і незначно поступається геометричній стосовно зміни орієнтації, але є адаптивною і ґрунтується на перетворенні, яке має швидкі алгоритми реалізації.

Проте поєднання нелінійної вейвлетної апроксимації з корекцією границь для підвищення стійкості до зміни орієнтації дозволило отримати результати, які є по якості близькими до ПКЛ, а по обчислювальній складності не перевершують швидке ДВП. Корекція границь реалізується шляхом обчислення локальної енергії зображення. Локальна енергія обчислюється на основі введення комплексного

аналітичного сигналу, дійсну частину якого складає зображення, а уявну – його перетворення Гільберта. Аналітичний сигнал дозволяє однозначно визначити просторові параметри – миттєву амплітуду і миттєву частоту, а перетворення Гільберта дозволяє отримати подання зображення з більшою просторово-частотною енергетичною концентрацією в порівнянні з вейвлетним.

Список літератури: 1. *Szeliski R.* Computer Vision: Algorithms and Applications / *R. Szeliski.* – Springer, 2010. – 812 p. 2. *Dahlhaus R.* Mathematical Methods in Time Series Analysis and Digital Image Processing / *R. Dahlhaus, J. Kurths, P. Maass, J. Timmer (Ed.).* – Springer, 2008. – 294 p. 3. *Gu X.* Geometry images / *X. Gu, S. Gortler, H. Hoppe.* – ACM SIGGRAPH Conference Proceedings, 23-25 July 2002 San Antonio, Texas USA. – San Antonio, 2002. – P. 355–361. 4. *Demaret L.* Image Compression by Linear Splines over Adaptive Triangulations / *L. Demaret, N. Dyn, and A. Iske* // Signal Processing. – July 2006. – Vol. 86, Issue 7. – P. 1604–1616. 5. *Donoho D.* Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage / *D. Donoho, I. Johnstone* // Biometrika. – 1994. – Vol. 81. – P. 425–455. 6. *Wang Z.* The SSIM Index for Image Quality Assessment [Electronic resource] / *Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli* – Режим доступу: \www/ URL: <https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/research/ssim/> – 20.01.2012. 7. *Mallat S.* Multiresolution approximations and wavelet orthonormal bases of L_2 / *S. Mallat* // Trans. Am. Math. Soc. – 1989. – Vol. 315. – P. 69–87. 8. *Добешу І.* Десять лекцій по вейвлетам / *І. Добешу.* – Іжевск: ПХД, 2001. – 464 с. 9. *Candès E.* Curvelets: A surprisingly effective non-adaptive representation for objects with edges / *E. Candès, D.L. Donoho, A. Cohen, C. Rabut, L.L. Schumaker* // Curves and Surface Fitting. – 1999. – P. 105–120. 10. *Meyer F.G.* Brushlets: A tool for directional image analysis and image compression / *F.G. Meyer, R.R. Coifman* // Appl. Comput. Harmon. Anal. – 1997. – Vol. 4. – № 2. – P. 147–187. 11. *Candès E.* Ridgelets: Theory and applications: Ph.D. Thesis, Dept. Statistics, Stanford Univ / *E. Candès.* – Stanford, CA, 1998. – P. 194. 12. *Candès E.* Curvelets: A surprisingly effective non-adaptive representation for objects with edges / *E. Candès, D.L. Donoho, A. Cohen, C. Rabut, L.L. Schumaker* // Curves and Surface Fitting. – 1999. – P. 105–120. 13. *Do M.N.* Contourlets / *M.N. Do, M. Vetterli, J. Stoeckler, G. Welland* // Beyond Wavelets. – 2003. – P. 83–105. 14. *Labate D.* Sparse multidimensional representation using shearlets / *D. Labate, W. Lim, G. Kutyniok, G. Weiss* // Proc. SPIE. – 2005. – Vol. 5914. – P. 254–262. 15. *Donoho D.L.* Wedgelets: Nearly-minimax estimation of edges / *D.L. Donoho* // Ann. Statist. – 1999. – Vol. 27. – P. 859–897. 16. *Donoho D.L.* Beamlet pyramids: A new form of multiresolution analysis, suited for extracting lines, curves and objects from very noisy image data / *D.L. Donoho and X. Huo.* // Proc. SPIE. – 2000. – Vol. 4119. – P. 434–444. 17. *Willett R.M.* Platelets: A multiscale approach for recovering edges and surfaces in photon limited medical imaging / *R.M. Willett, R.D. Nowak* // IEEE Trans. Med. Image. – 2003. – Vol. 22. – № 3. – P. 332–350. 18. *Surflets: A sparse representation for multidimensional functions containing smooth discontinuities:* IEEE International Symposium on Information Theory – Proceedings / *V. Chandrasekaran, M.B. Wakin, D. Baron, R. Baraniuk.* – 2004, Chicago, IL. – 1 p. 19. *Pennec E.* Sparse geometric image representations with bandelets / *E. Pennec and S. Mallat* // IEEE Trans. Image Process. – 2005. – Vol. 14. – № 4. – P. 423–438. 20. *Mallat S.* Geometrical grouplets / *S. Mallat* // Appl. Comput. Harmon. Anal. – 2009. – Vol. 26. – № 2. – P. 161–180. 21. *Krommwe J.* Image approximations by adaptive tetrolet transform: 8th International conference on Sampling Theory and Applications Proceedings / *J. Krommwe.* – Marseille, France, 2009. – 4 p. 22. *Lisowska A.* Smoothlets – Multiscale Functions for Adaptive Representation of Images / *A. Lisowska* // IEEE Transactions on Image Processing. – 2011. – Vol. 20. – № 7. – P. 1777–1787.

Надійшла до редакції 03.07.2013

Після доробки 11.12.2013

Статтю представив д-р техн. наук, проф. ОНУ Малахов Є.В.

УДК 004.932.2:519.652

Приближение изображений: методы аппроксимации и сжатие / Мороз В.В.
// Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 87 – 96.

Рассмотрены линейные, нелинейные, адаптивные и геометрические методы гладких аппроксимаций изображений для их компактного представления с целью улучшения характеристик для последующей обработки, хранения и передачи. Это дает возможность повысить эффективность методов удаления шума, сегментации, нахождения границ объектов, распознавания образов. Сравнительный анализ методов аппроксимации для задачи сжатия изображений проведен на основе количественной и качественной визуальной оценок. Приведены выводы относительно динамической адаптации методов приближения к структуре изображения. Библиогр.: 22 назв.

Ключевые слова: методы аппроксимации, сжатие, структура изображений.

UDC 004.932.2:519.652

Image representation: methods of approximation and compression / Moroz V.V.
// Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 87 – 96.

The linear and non-linear, adaptive and geometric methods have been considered for smooth approximations for compact image representation to improve performance of subsequent processing, storage and transmission. This allows you to increase the effectiveness of methods for removing noise, segmentation, detection of the edges and pattern recognition. Comparative analysis of approximation methods for image compression tasks is performed on the basis of quantitative and qualitative visual assessment. The conclusion regards the methods of dynamic adaptation to the structure of images. Refs.: 22.

Keywords: methods of approximation, compression, structure of images.

УДК 65.014.1:61

А.П. МОТОРНИЙ, асистент, ВНТУ, Вінниця,
С.М. ЗЛЕПКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ВНТУ, Вінниця,
С.В. ПАВЛОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ВНТУ, Вінниця,
О.Ю. АЗАРХОВ, канд. техн. наук, гол. лікар санаторію "Металург",
Маріуполь,
О.В. БЕЛОУСОВА, аспірант, ВНТУ, Вінниця

МЕТОД ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САНАТОРНО-КУРОРТНОЇ УСТАНОВИ

У статті розглянуто проблему побудови інформаційного забезпечення для санаторно-курортної установи. Розглянуто поняття інформаційного забезпечення, його складових, а також базові етапи побудови. Запропоновано механізми вдосконалення існуючих підходів до створення та можливості розширення функціонування за рахунок розробки механізмів, які б надали можливість здійснювати перепроєктування в процесі функціонування готового програмного забезпечення. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: інформаційне забезпечення, програмне забезпечення, санаторно-курортна установа.

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток відновлювальної медицини, орієнтованої на реабілітацію і максимальне відновлення функціональних можливостей і резервів людини, вимагає нових підходів та принципів побудови сучасних інформаційних систем і технологій для управління санаторно-курортною діяльністю.

Серед проблем, що визначають її сучасний стан, на перше місце виходить створення комплексних або інтегрованих технологій, які представляють собою складний економіко-організаційний, медико-соціальний механізм, в якому питання оптимізації лікувально-діагностичного процесу розглядається і вирішується у сукупності із маркетинговими, господарськими та іншими невід'ємними складовими.

Незважаючи на отримані результати в даній галузі вітчизняних вчених (Кальниш В.В., 2000, Козявкін В.І., 2004, Гриценко В.І., 2007, Апанасенко Г.Л., 2009, Мінцер О.П., 2010, Злепко С.М., 2010, Файнзільберг Л.С., 2010, Коваленко О.С., 2011), досягти високої ефективності застосування інформаційного забезпечення в процесі реабілітації поки не вдається. Останнє можливе лише за умови реалізації глобальної мети лікування та реабілітації, органічно пов'язаних між собою моделей, методів, алгоритмів та інших апаратно-програмних засобів, які реєструють, аналізують і обробляють інформацію для

прийняття рішень щодо стратегії ведення хворих під час реабілітації.

Отже, вирішення проблеми інформатизації процесів реабілітаційно-відновного лікування можливе лише за допомогою сучасних інформаційних систем і технологій, а також включає дослідження наступних технологічних завдань: діагностики станів хворих, оцінки ризиків виникнення ускладнень, ідентифікації небезпеки ускладнень, моніторингу станів пацієнтів, вибору реабілітаційно-відновного лікування, оцінки якості реабілітації. Надання ж повної інформації для санаторно-курортної установи, її якості і адекватності забезпечать вирішення завдань, пов'язаних з життям і здоров'ям пацієнтів.

Аналіз літератури. Поняття "інформаційне забезпечення" (ІЗ) виникло у зв'язку з розвитком автоматизованих систем управління. Це динамічна система одержання, оцінки, зберігання та переробки даних, створена з метою вироблення управлінських рішень.

ІЗ можна розглядати і як процес забезпечення інформацією, і як сукупність форм документів, нормативної бази та реалізованих рішень щодо обсягів, розміщення та форм існування інформації, яка використовується в інформаційній системі (ІС) у процесі її функціонування.

Інформаційне забезпечення автоматизованої системи управління санаторно-курортним лікуванням доповнює профілактичний, реабілітаційний, лікувальний, діагностичний процеси сучасною інформаційною технологією, спрямованою на підвищення ефективності та якості лікувально-діагностичної допомоги шляхом [1]: ведення документопотока в електронній формі; процедури контролю ведення хворого і результатів лікування; використання експертних систем і систем на основі баз знань; інтеграції нових методів і засобів лікування; постійного поповнення знань про функціонування людського організму і про ефективність лікування різних захворювань; застосування перспективних лікарських засобів і т.д.

Цільову функцію застосування такої системи зазвичай можна представити у вигляді суперпозиції трьох цілей за аналогією з [2]:

- визначення та стабілізація стану об'єкта управління (пацієнта) в реабілітаційному періоді;
- переведення пацієнта у деякий кінцевий (заданий цільовою функцією) стан, в якому він набуває втрачених або порушених функцій;
- забезпечення стабільного стану пацієнта за рахунок підтримуючої терапії та стратегії розвитку в реабілітаційному періоді.

У стандартному варіанті система розглядається як інструментарій, що складається з двох основних підсистем: суб'єкта та об'єкта

управління, які взаємодіють в процесі реабілітації.

Стандартна конфігурація системи може бути описана за допомогою параметричної моделі, запропонованої в [3]. Інформаційне забезпечення реабілітаційного процесу разом з прогнозованим результатом реабілітації (сприятливим, відносно сприятливим, відносно несприятливим, несприятливим) пропонує лікарю-реабітологу заходи медичної реабілітації хворого, побудовані у формі протоколів реабілітації, в яких, у першу чергу, враховується давність захворювання, клас функціональних порушень і обмежень життєдіяльності, клініко-реабілітаційний прогноз [4].

Обов'язковим елементом ІЗ є диференційовані критерії оцінки ефективності реабілітації: за оптимально можливим відновленням порушених функцій; соціально-побутовою активністю, працездатністю хворого, які дозволяють після закінчення курсу реабілітаційних заходів об'єктивно оцінити досягнутий ефект [5].

ІЗ автоматизованої системи управління санаторно-курортним лікуванням забезпечує інформаційну підтримку своєчасного виявлення хворих, які потребують проведення індивідуальних лікувально-коригуючих заходів, додаткової психологічної та соціальної адаптації і т.д. При цьому здійснюється індивідуальний супровід історії хвороби, забезпечення необхідною інформацією про хворого вузьких фахівців і т.і.; формування комплексного плану лікування та реабілітації (з обов'язковим контролем виконання лікувально-реабілітаційних заходів); оперативний контроль за лікувально-діагностичним процесом з боку адміністрації; формування статистичних даних, наповнення і використання нормативно-довідкової інформації.

Створюючи ІЗ, як правило, дотримуються таких принципів: цілісність, вірогідність, контроль, захист від несанкціонованого доступу, єдність і гнучкість, стандартизація та уніфікація, адаптивність, мінімізація введення й виведення інформації [1 – 6].

Мета статті – на основі існуючих, створити новий, більш досконалий метод побудови інформаційного забезпечення для санаторно-курортної установи.

Побудова методу. Інформаційне забезпечення визначає технологію побудови медичної інформаційної системи, використовуючи при цьому модульний принцип і можливість її нарощування та модифікації; ієрархію можливостей і функцій з одночасним створенням складної мережевої топології; адаптацію в систему раніше створених математичних і програмних засобів; регулярне поповнення класифікаторів, що використовуються в ІЗ, в т.ч. нормативно-довідкової

інформації та діагнозів (синдромів) тільки адміністратором бази даних; автоматичне формування медичних документів за затвердженими формами; дублювання баз даних поточної інформації на зовнішньому сервері.

Ядром проектного ІЗ є індивідуальна електронна медична карта пацієнта, яка за визначенням Міжнародної організації зі стандартизації являє собою сховище інформації про стан здоров'я людини у формі, яка може бути оброблена комп'ютером, безпечно зберігатися і передаватися, бути доступною для багатьох авторизованих користувачів.

Пропонований метод побудови ІЗ процесу санаторно-курортного закладу передбачає створення деякого універсального адаптивного медичного простору, що володіє властивостями універсальності, гнучкості та адаптації під потреби (завдання) конкретного користувача, яке за своєю структурою не має жорсткої прив'язки до конкретного медичного устаткування та (або) параметрам, за якими класифікують хворих, відомості про яких заносяться в базу даних).

При занесенні інформації за вибіркою в базі даних має бути хоча б по одному полю, в якому буде описана та чи інша характеристика пацієнта в конкретний момент часу. Перелік таких характеристик може бути необмеженим, оскільки необмеженим є перелік симптомів різних захворювань.

Оскільки неможливо заздалегідь передбачити і визначити всі характеристики, які можуть знадобитися для опису стану пацієнта, ІЗ, що розробляється, повинне легко налаштовуватися користувачем з урахуванням його потреб.

Першим етапом досліджень з побудови інформаційного забезпечення є формалізація вихідної задачі. В етап формалізації входить створення проектної, математичної або інформаційної моделі, що компромісно узгоджує вимогу зручності, можливості використання розробленого математичного апарату та адекватності реальній системі.

Основу формалізації складають спрощувальні припущення і гіпотези поведінки. Серед широко розповсюджених спрощувальних припущень відзначимо відкидання складових математичних моделей, які вносять невеликий вклад в динаміку, лінеаризацію нелінійних складових, припущення про незмінність параметрів і т.д. [5, 6].

Гіпотези поведінки є засобом визначення вольовим порядком інформації про теперішню і майбутню обстановку в разі, якщо ця інформація не може бути отримана з підсистем спостереження та ідентифікації.

Серед гіпотез поведінки використовуються традиційні припущення про типові впливи (східчасті, гармонійні і т.д.), типові розподіли

ймовірностей і перспективні ігрові гіпотези. Ігрові гіпотези поведінки, усуваючи невизначеність завдання, можуть висуватися як в крайніх варіантах – припущеннях про найбільш несприятливий або найбільш сприятливий для об'єкта характер невизначених факторів, так і в будь-якому проміжному. В будь-якому випадку висування спрощуючих припущень і гіпотез поведінки є неформальним, чисто творчим актом, що ґрунтується на досвіді та інтуїції дослідника і надалі підлягає експериментальній перевірці [7].

При формалізації задачі зазвичай вводиться допоміжна (як правило, спрощена по відношенню до вихідної) мета і знімаються деякі обмеження на ресурси, стан об'єкту і т.д., властиві вихідні задачі.

За етапом формалізації слідує етап синтезу, суть якого полягає у використанні математичної теорії управління для вибору управляючих функцій при умові виконання обмежень, що накладаються динамікою об'єкта, можливостями виконуючих пристроїв і метою управління. Саме математичний характер синтезу управління підтверджує думку про доречність застосування таких змістовних понять, як зворотний зв'язок, адаптація і т.д. при формулюванні мети управління. Основні проблеми синтезу зводяться до вирішення граничних завдань, оскільки мета управління математично виражається в термінальних обмеженнях, що накладаються на кінцеву ситуацію.

Найважливішою особливістю синтезу є можливість введення в клас невизначених задач, які допускають кілька альтернативних варіантів досягнення заданої мети, деякої оцінки кожного варіанту з встановленим правилом переваги, тобто критерію оптимальності.

Синтез, як правило, є наближеним рішенням задачі управління і потребує додаткової перевірки, тому що в систему створення інформаційного забезпечення необхідно ввести етап математичного експерименту, задачею якого є аналіз спроектованої системи інформаційного забезпечення (рис.).

Призначення етапу аналізу полягає в отриманні оцінки того, наскільки в принципі наближений розв'язок задачі управління відповідає поставленій меті і умові екстремума критерію. На етапі аналізу за допомогою експерименту на математичній, інформаційній натуральній або комбінованій моделях проводиться перевірка ефективності висунутих на етапах формалізації і синтезу гіпотез, припущень, різних математичних та інженерних ідей.

Сутність математичного експерименту полягає в одночасному дослідженні динаміки вихідної, неспрощеної моделі організму людини при наявності зовнішніх впливів і процесу управління, тобто в моделюванні системи інформаційного забезпечення в цілому [8 – 10].

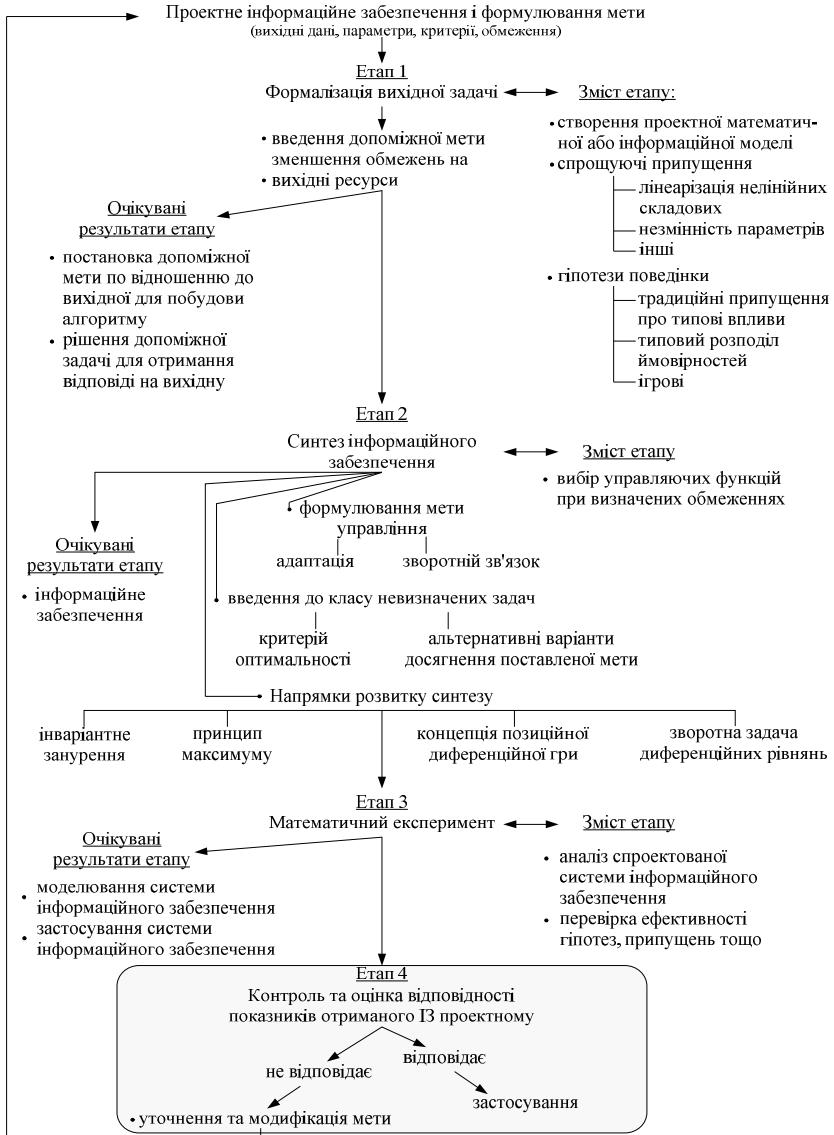


Рис. Предметно-структурная организация метода построения и адаптации информационной поддержки санаторно-курортного учреждения

В реальній ситуації після проходження першого циклу етапів проектування ІЗ цілком можливо, що поставлена задача може виявитися не вирішеною. Тому для прийняття рішення пропонується повторення згаданого циклу за рахунок активної участі дослідника в неформальних актах процедури вирішення: модифікації мети системи, заміні одних спрощень і гіпотез поведінки іншими, застосуванні більш адекватного математичного апарату і пошуку більш ефективних ідей синтезу.

Слід відзначити, що найбільш ефективного здійснення проектування інформаційного забезпечення можливе у випадку, якщо на всіх його етапах залучається ПК з сучасними мультимедійними технологіями, працюючи у так званому людино-машинному діалоговому режимі, оператор швидко і легко втручається в проектування на будь-якому етапі.

Проектування більшості інформаційного забезпечення на даному етапі закінчується, але коли діло стосується необхідності забезпечення гнучкості і адаптивності в процесі його функціонування, як наприклад для закладів санаторно-курортного типу, то вирішальну роль відіграє можливість створеного програмного забезпечення піддаватись кардинальним змінам і, вже в процесі функціонування, дозволяти оператору власноруч заново проходити етапи проектування інформаційного забезпечення для переконфігурації та вдосконалення.

Робота з таким ІЗ передбачає виділення функціональних рівнів інформаційного та документального обміну в межах санаторно-курортного закладу, яке характеризується видом діяльності, формою документа і конкретним виконавцем.

Стандартизація медичної діяльності на основі інформаційних технологій забезпечує адміністративно-управлінські функції санаторно-курортного закладу і враховує процеси діагностики та лікування конкретного пацієнта.

При цьому досягається:

1. Збільшення пропускної здатності установи при незмінних ресурсах (за рахунок оптимізації процесів введення, пошуку, аналізу даних; швидкої взаємодії між підрозділами; планування завантаженості лікарів, кабінетів, обладнання). Підвищується якість обслуговування пацієнтів (зменшується час очікування за рахунок планування їх прийому; збільшується ефективний час перебування пацієнта в медичному закладі) і, як наслідок, зростання задоволеності пацієнтів.

2. Використання електронних медичних протоколів, можливість оцінювання ефективності лікування, зменшення ймовірності медичних помилок сприяє підвищенню якості надання медичних послуг.

3. Можливість швидкого формування будь-яких звітів (кількість наданих послуг, завантаженість лікарів та кабінетів, статистичні дані

пацієнтів щодо діагнозів, віку, статі і т.п.) для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

4. Ефективне управління складськими запасами медикаментів і витратних матеріалів. Підвищення рівня безпеки та конфіденційності інформації завдяки впровадженню політики прав доступу до різних даних і для входу в систему за паролем або за відбитком пальця.

Висновки. В розробленому методі побудови інформаційного забезпечення забезпечена можливість оперативно змінювати його в процесі функціонування безпосередньо оператором або користувачем, чим створюються нові механізми адаптації, які виведуть інформаційне забезпечення санаторно-курортних установ на якісно новий рівень функціонування.

Список літератури: 1. Пономаренко В.М. Шляхи інформатизації медичної галузі / В.М. Пономаренко, В.В. Кальниць, О.Ю. Майоров // Вісн. соц. гігієни та організації охорони здоров'я України. – 2000. – № 2. – С. 54–58. 2. Зленко С.М. Интегрированная технология восстановительного лечения и реабилитации спортсменов / С.М. Зленко, А.Ю. Азархов, А.П. Моторный // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 2. – С. 139–143. 3. Berman M. Technology and managed care: patient benefits of telemedicine in a rural health care network / M. Berman, A. Fenaughty // Health Economics. – June 2005. – No. 14 (6). – P. 559–573. 4. Зленко С.М. Система дистанційного моніторингу за станом здоров'я / С.М. Зленко, Р.С. Белзецький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 217–219. 5. Стефанік В.Л. Інформаційні системи і їх застосування / В.Л. Стефанік. – К., 1999. – С. 68–73. 6. Кондратова С.П. Інформаційні технології в управлінні / С.П. Кондратова. – К.: МАУП, 2007. – 412 с. 7. Організація роботи інформаційно-аналітичної системи МОЗ України з питань надзвичайних ситуацій: практичний посібник / за ред. проф. Волошина В.О. – К., 2000. – 96 с. 8. Базилевич Я.В. Післядипломна медична освіта з інформатизації та моделювання / Я.В. Базилевич, І.Л. Огірко // Укр. мед. вісті. – 1998. – Т. 2. – С. 71. 9. Березницький Я.П. Взаємозв'язок інформаційної технології та ціноутворення в клінічній медицині / Я.П. Березницький, Й.К. Гравіровська, А.І. Буренко // Укр. мед. вісті. – 1997. – Т. 1. – С. 110. 10. Модель системи інформаційного забезпечення медичної допомоги / В.В. Лехан, О.Г. Барвінко, А.В. Сокульський, О.М. Максименко // Укр. мед. вісті. – 1998. – Т. 2. – С. 73.

Надійшла до редакції 11.07.2013

Після доработки 11.12.2013

УДК 65.014.1:61

Метод построения информационного обеспечения санаторно-курортного учреждения / Моторный А.П., Зленко С.М., Павлов С.В., Азархов А.Ю., Белоусова О.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 97 – 105.

В статье рассмотрена проблема построения информационного обеспечения для санаторно-курортного учреждения. Рассмотрено понятие информационного обеспечения, его составляющих, а также базовые этапы построения. Предложены механизмы совершенствования существующих подходов к созданию и возможности расширения функционирования за счет разработки механизмов, которые бы дали возможность осуществлять перепроектирование в процессе функционирования готового программного

обеспечения. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: информационное обеспечение, программное обеспечение, санаторно-курортное учреждение.

UDC 65.014.1:61

Method of informational provision design for sanatorium institutions / Motornyy A.P., Zlepko S.M., Pavlov S.V., Azarkhov O.Yu., Bielousova O.V. / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 97 – 105.

The paper considers the problem of building information software for sanatorium institutions. The concept of information security, its components, and basic stages of construction is overviewed. The mechanisms of improving existing approaches to the creation and functioning of the possibility of expanding through the development of mechanisms that made it possible to re-execute the operation finished software. Figs.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: informational provision, software, sanatorium institutions.

УДК 616.71:616.073.175:616.073.178

А.С. НЕЧИПОРЕНКО, канд. техн. наук, ХНУРЭ, Харьков,
О.Г. ГАРЮК, канд. мед. наук, доц., Харьковская медицинская
академия последипломного образования, Харьков,
В.В. ЧМОВЖ, канд. техн. наук, доц., ХАИ, Харьков

КРИТЕРИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАЗ НОСОВОГО ДЫХАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА

Предложен новый метод объективной оценки функции носового дыхания по риноманометрическим данным. Разделение дыхательного носового цикла на фазы осуществляется с помощью анализа динамики изменения коэффициента носового сопротивления. Критерием идентификации фаз является точка расхода воздушного потока, при которой турбулентные потери начинают преобладать над ламинарными потерями. Ил.: 5. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: риноманометрические данные, носовой дыхательный цикл, коэффициент носового сопротивления, ламинарные потери, турбулентные потери.

Постановка проблемы и анализ литературы. В объективной оценке функции носового дыхания риноманометрия занимает ведущее место. Выделяют два основных метода риноманометрического исследования: активный и пассивный. Активная риноманометрия, с физиологической точки зрения, является наиболее адекватным способом получения данных в виде соотношения между расходом воздушного потока через носовую полость и внутриносовым дифференциальным давлением. В зависимости от того, на каком участке движения воздушного потока регистрируется дифференциальное давление, различают активную переднюю и заднюю риноманометрию [1, 2]. Передняя активная риноманометрия является основным общепринятым методом объективного исследования носового воздушного потока, который рекомендован международным комитетом по объективной оценке носового дыхания (ISOANA) [3].

Несмотря на то, что в настоящее время имеется значительное количество работ, посвященных изучению режимов течения воздушного потока внутри полости носа, необходимо внести некоторую ясность в понимание особенностей изменения коэффициента сопротивления носовой полости.

Для оценки результатов риноманометрии производится расчёт коэффициента носового сопротивления по формуле, предложенной в

работах [4, 5]:

$$R = \frac{\Delta P}{\dot{V}}, \quad (1)$$

где ΔP – дифференциальное давление, $\dot{V}$ – расход воздушного потока через носовую полость.

Согласно стандарту носовое сопротивление рассчитывается по формуле (1) для значений дифференциального давления $\Delta P = 75, 100$ и 150 Па. При этом принимается, что режим течения является ламинарным.

Также применяется расчет носового сопротивления по модели Бромса, согласно которой коэффициент сопротивления R_2 определяется на окружности с радиусом в 200 единиц по дифференциальному давлению и расходу [6].

Наиболее достоверной, с точки зрения гидродинамики, является оценка данных риноманометрии по методике Рёхрера [7]:

$$\Delta P = k_1 \dot{V} + k_2 \dot{V}^2, \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент ламинарного потока и k_2 – коэффициент турбулентного потока.

Анализ литературы не позволил выявить критерия, рассчитываемого по данным риноманометрических исследований, который может быть применен в качестве физиологической нормы носового дыхания.

Цель данной статьи – разработка метода объективной оценки носового дыхания, который учитывает аэродинамические характеристики процесса дыхания, а также индивидуальные анатомо-физиологические особенности носовой полости.

Методика измерений и обработки данных. При передней активной риноманометрии измерение давления в носоглотке осуществляется в одной obturated половине носа. Эта половина исключается из акта дыхания. Поэтому измерение проводится для каждой половины носа отдельно (рис. 1), исследуются вдох и выдох.

Измерения осуществляются с помощью разработанного прибора "Optimus" (диапазон измерения расхода воздуха ± 1200 см³/с, дифференциального давления ± 1200 Па, частота опроса измерительных каналов 100 Гц). Схема включает: измерительный модуль (1), расходомер (2), датчик дифференциального давления (3), соединительные трубки (4 а, 4 в), фиксирующий элемент для гибкого трубопровода (5), маску (6), фильтр (7), гермоввод (8), точку забора подмасочного давления (9).

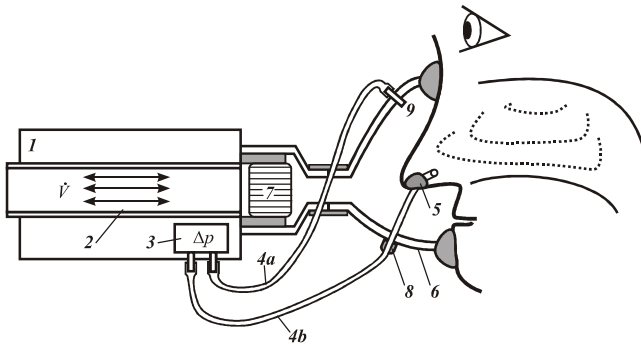


Рис. 1. Схема измерений при передней активной риноманометрии

Измеряемые величины при проведении риноманометрического исследования – дифференциальное давление между хоаной и подмасочным пространством и расход воздушного потока. Измеряемые параметры регистрируются синхронно. На основании проведенных измерений строится графическая зависимость дифференциального давления от величины расхода воздуха (рис.2).

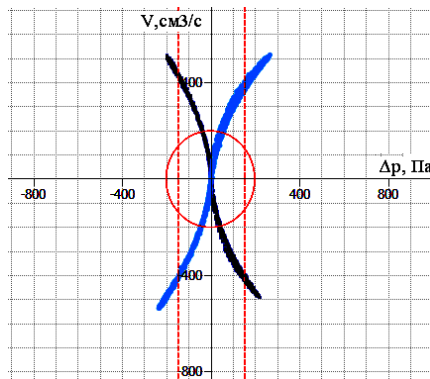


Рис. 2. График зависимости дифференциального давления от расхода воздуха

Данные риноманометрического исследования, по которым построена графическая зависимость $\Delta P = f(\dot{V})$ (рис. 2), аппроксимируются с высокой точностью формулой Рёхрера (2). При делении дифференциального давления ΔP на квадрат расхода

воздушного потока через носовую полость $\dot{V}^2$ получим коэффициент сопротивления носовой полости

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\dot{V}^2} = \frac{k_1}{\dot{V}} + k_2. \quad (3)$$

Коэффициенты k_1 и k_2 могут быть найдены с помощью регрессионного анализа, методом наименьших квадратов для гиперболической зависимости $\zeta = f(\dot{V})$, как это показано на рис. 3.

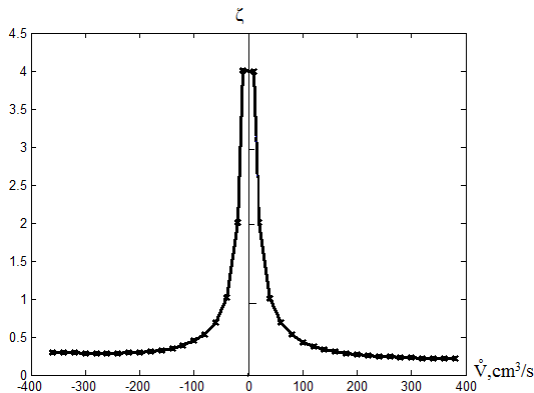


Рис. 3. Изменение коэффициента сопротивления от величины расхода воздуха

Таким образом, первое слагаемое в формуле (3) представляет коэффициент потерь давления при ламинарном режиме $\zeta_{\text{лам}} = \frac{k_1}{\dot{V}}$, а второе – при турбулентном $\zeta_{\text{турб}} = k_2$.

Переход одного режима в другой можно охарактеризовать преобладанием турбулентных потерь над ламинарными $\zeta_{\text{турб}} \geq \zeta_{\text{лам}}$.

Отсюда следует, что граничный расход $\dot{V}_{\text{гран}} = \frac{k_1}{k_2}$.

Идентификации фаз носового дыхательного цикла. В соответствии с существующей 4-х фазовой концепцией риноманометрического исследования, выделяют восходящую и

нисходящую инспираторные фазы (1-ю и 2-ю), а также восходящую и нисходящую экспираторные фазы (3-ю и 4-ю). Носовое сопротивление рассчитывается для 1-й инспираторной и 4-й экспираторной фаз (рис. 4) [8]. Однако, идентификация фаз согласно четырёхфазовой концепции происходит по изменению величины расхода воздушного потока во времени и позволяет определить только лишь динамические характеристики расхода воздушного потока и дифференциального давления. Такое разделение дыхательного цикла не в полной мере отображает характер течения воздушного потока. Всё это в совокупности существенно ограничивает диагностическую значимость данных риноманометрии.

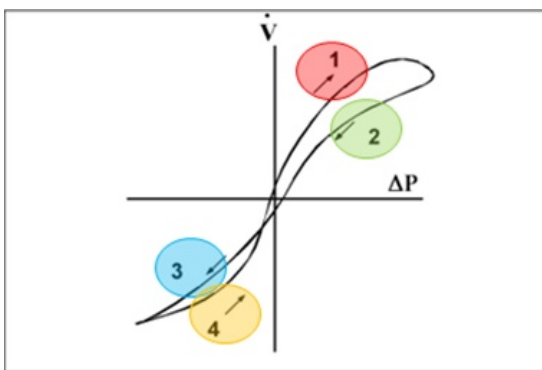


Рис. 4. Фазы риноманометрии

Нами предложен метод объективной оценки носового дыхания, позволяющий за счёт исследования динамики изменения коэффициента носового сопротивления, учитывать аэродинамические характеристики носового воздушного потока во время дыхательного цикла.

Критерием разделения фаз является $\dot{V}_{\text{гран}}$, начиная с которого режим течения в носовой полости становится автомодельным.

Таким образом, дыхательный цикл делится на шесть фаз (рис. 5): первая – фаза восходящего неустойчивого инспираторного потока, вторая – фаза устойчивого инспираторного потока (зона автомодельности аэродинамического сопротивления), третья – фаза спадающего неустойчивого инспираторного потока, четвёртая – фаза восходящего неустойчивого экспираторного потока, пятая – фаза экспираторного потока (зона автомодельности аэродинамического сопротивления), шестая – фаза спадающего неустойчивого экспираторного потока.

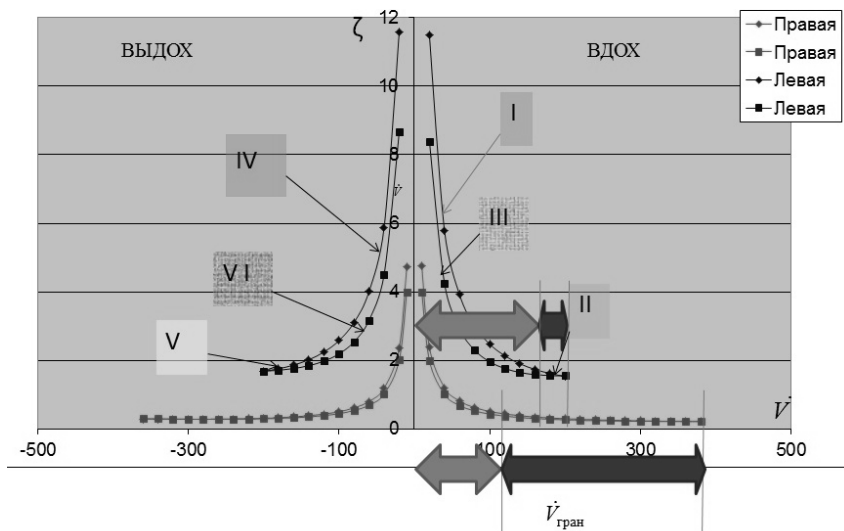


Рис. 5. Шесть фаз риноманометрии

Выводы. Использование предложенного метода объективной оценки носового дыхания позволяет повысить точность и диагностическую значимость активной передней риноманометрии. Метод прошёл клиническую апробацию в научно-практическом центре уха горла и носа г. Харькова. В результате обследования 132 пациентов с патологией, вызывающей нарушения функции носового дыхания, в 17% случаев удалось избежать хирургического вмешательства, тогда как при других способах диагностики такие вмешательства были показаны. Например, это относится к некоторым пациентам с врождёнными девиациями перегородки носа при которых адаптационные механизмы приводят к развитию анатомических особенностей, которые нивелируют влияние девиации на физиологию носового дыхания.

Список литературы: 1. *Thulesius H. L.* Rhinomanometry in clinical use. A tool in the septoplasty decision making process: doctoral dissertation, clinical sciences / *H.L. Thulesius*. – 2012. – 67 p. 2. *Бых А.И.* Диагностические возможности современной риноманометрии / *А.И. Бых, Т.Г. Силантьева, О.Г. Аврунин* // Сборник научных трудов научно-методического семинара Наука и образование. – Хмельницкий. – Рим. – ХНУ, 2011. – С. 88-89. 3. *Clement P. A.* Committee report on standardization of rhinomanometry / *P.A. Clement* // *Rhinology*. – 1984. – № 22 (3). – P. 151-155. 4. *Clement P.A.* Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry / *P.A. Clement, F. Gordts* // *Rhinology*. – 2005. – № 436. – P. 169-179. 5. *Hilberg O.* PAR The objective assessment of nasal patency / *O. Hilberg, P.A. Clement,*

A.S. Jones, D.E. Phillips, F.J.M. Hilgers // Diseases of the Head and Neck, Nose and Throat. – 1998. – P. 719-742. **6. Broms P.** Rhinomanometry. II. A system for numerical description of nasal airway resistance / P. Broms, B. Jonson, C.J. Lamm // *Acta Otolaryngology*. – 1982. – № 94 (1-2). – P. 157-168. **7. Röhrer F.** Der Stromungswiderstand in der menschlichen Atemwegen / F. Röhrer // *Pflügers Arch Ges Physiology*. – 1915. – № 162. – P. 225-295. **8. Vogt K.** 4-Phase-Rhinomanometry Basics and Practice / K. Vogt, A.A. Jalowayski // *Rhinology, supplement*. – 2010. – № 21. – P.1-50.

Поступила в редакцию 24.06.2013

Статью представил д-р физ.-мат. наук, проф. ХНУРЭ Бых А.И.

УДК 616.71:616.073.175:616.073.178

Критерій ідентифікації фаз носового дихального циклу / Нечипоренко А.С., Гарюк О.Г., Чмовж В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 106 – 112.

Розглянуто метод активної передньої риноманометрії. Запропоновано новий адаптивний метод об'єктивної оцінки функції носового дихання за риноманометричними даними. Ділення дихального носового циклу на фази здійснюється за допомогою аналізу динаміки зміни коефіцієнта носового опору. Критерієм ідентифікації фаз є точка витрати повітря при якій турбулентні втрати починають перевищувати ламінарні втрати. Іл.: 5. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: риноманометрія, дихальний носовий цикл, коефіцієнт носового опору, ламінарні втрати, турбулентні втрати.

UDC 616.71:616.073.175:616.073.178

Criterion for identifying the phases of nasal breathing cycle / Nechiporenko A.S., Gariuk O.G., Chmolvzh V.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 106 – 112.

The method of active anterior rhinomanometry was described. A new method for objective assessment of nasal breathing function by rhinomanometry's data. Separation nasal respiratory cycle phases by means of analyzing the dynamics of changes in nasal resistance coefficient. The criterion for the identification phase is the point of the air flow rate at which the turbulent start to get over the loss of laminar. Figs.: 5. Refs.: 8 titles.

Keywords: rhinomanometry, nasal breathing function, the resistance coefficient, laminar losses, turbulent losses.

УДК 62-83:621.77

Т.Б. НИКИТИНА, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
В.В. КОЛОМИЕЦ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
М.О. ТАТАРЧЕНКО, асп., НТУ "ХПИ",
В.В. ХОМЕНКО, студент, НТУ "ХПИ"

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕНДА СТОХАСТИЧЕСКОЙ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Разработан стенд стохастической двухмассовой электромеханической системы. Проведены экспериментальные исследования динамических характеристик стенда стохастической двухмассовой электромеханической системы с типовым и робастным регуляторами. Показано, что система с робастным регулятором имеет меньшую ошибку по сравнению с системой с типовым регулятором. Ил.: 6. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: стенд стохастической двухмассовой электромеханической системы, экспериментальные исследования, динамические характеристики.

Введение. Для создания систем управления сложными многомассовыми электромеханическими системами с упругими и нелинейными элементами необходима математическая модель, адекватно описывающая объект управления. Достоверность результатов, полученных в ходе синтеза таких систем управления, может быть проверена только при работе с реальным объектом. Одним из подходов к решению данной проблемы является использование физических моделей – стендов, повторяющих структуру объекта управления. При этом первоначальная отладка регуляторов и сравнение их эффективности работы в условиях, максимально приближенных к реальным, выполняется на таком стенде, содержащем все необходимые элементы.

Постановка проблемы. Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме. Характерным режимом работы многих систем управления является отработка случайных задающих воздействий либо компенсация случайных внешних возмущающих воздействий широкого спектра частот [1]. В последнее время интенсивно развивается теория стохастического робастного управления [2 – 7], поэтому вопросы проектирования систем управления, работающих при случайных задающих и возмущающих воздействиях, являются актуальными. Для отладки алгоритмов управления такими системами необходим стенд, имитирующий работу реальной системы при отработке

случайных задающих воздействий либо компенсации случайных внешних возмущающих воздействий.

Исследовательские стенды для отладки программного обеспечения систем управления преобразователями с учетом особенностей кинематических связей между приводным двигателем и рабочим механизмом выпускаются многими электротехническими фирмами. В работах [1, 8, 9] рассмотрены вопросы разработки стенда двухмассовой электромеханической системы и методики экспериментального исследования робастных систем управления главными приводами прокатных станов на этом стенде. Рассмотрим разработку аналогичного стенда двухмассовой электромеханической системы для экспериментального исследования эффективности стохастического робастного управления при случайных внешних воздействиях.

Цель работы. Разработка и изготовление исследовательского стенда стохастической двухмассовой электромеханической системы, позволяющего выполнить отладку программного обеспечения алгоритмов управления и исследование динамических характеристик стенда двухмассовой электромеханической системы с различными типами регуляторов при случайных внешних воздействиях.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Вначале рассмотрим вопросы синтеза стохастической системы робастного управления, с помощью которой минимизируется анизотропия проектируемой системы, следуя работам [1 – 3]. Регулятор формирует управляющее воздействие на вход системы по ее измеряемому выходу и представляет собой динамический блок типа компенсатора, объединяющий стохастический робастный наблюдатель и стохастический робастный регулятор. Обозначим A, B, C, D реализацию исходной системы, замкнутой этим регулятором, в следующем виде

$$\mathfrak{Z}(w, w_{ky}) \sim \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & D_{11} \end{bmatrix} \equiv \left[\begin{array}{cc|c} A & B_3 C & B_1 \\ \hline BC_2 & A & BD_{21} \\ \hline C_1 & D_{12} C & D_{11} \end{array} \right].$$

Рассмотрим уравнение Риккати

$$R = \bar{A}^T R \bar{A} + q \bar{C}^T \bar{C} + L^T \Sigma^{-1} L, \quad (1)$$

где $\Sigma \equiv [I_{m_1} - q D_{11}^T D_{11} - \bar{B}^T R \bar{B}]^{-1}$;

$$L \equiv [L_1 \quad L_2] \equiv \Sigma [\bar{B}^T R \bar{A} + q D_{11}^T \bar{C}].$$

Если это уравнение Риккати имеет решение, то анизотропия сигнала равна

$$-\frac{1}{2} \ln \det \left[\frac{m_1 \Sigma}{\text{tr}\{LPL^T + \Sigma\}} \right] = a, \quad (2)$$

а эквивалентный формирующий фильтр

$$W_\phi \sim \begin{bmatrix} \bar{A} + \bar{B}L & \bar{B} \Sigma^{1/2} \\ L & \Sigma^{1/2} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} A + B_1 L_1 & B_1 L_3 + B_2 C \\ \hline B[C_2 + D_{21} L_1] & A + B D_{21} L_2 \end{array} \middle| \begin{array}{c} B_1 \Sigma^{1/2} \\ B D_{21} \Sigma^{1/2} \end{array} \right],$$

имеет грамиан управляемости, определяемый уравнением Ляпунова

$$P = [\bar{A} + \bar{B}L]P[\bar{A} + \bar{B}L]^T + \bar{B} \Sigma \bar{B}^T. \quad (3)$$

При этом a – анизотропийная норма системы, замкнутой таким регулятором, равна

$$\|\mathcal{S}(W, W_{ky})\|_a = \left\{ \frac{1}{q} \left[1 - \frac{m_1}{\text{tr}\{LPL^T + S\}} \right] \right\}^{1/2}.$$

Рассмотрим уравнение Риккати

$$S = [A + B_1 L_1]S[A + B_1 L_1]^T + B_1 \Sigma B_1^T - \Lambda \Theta \Lambda^T, \quad (4)$$

где $\Theta \equiv [C_2 + D_{21} L_1]S[C_2 + D_{21} L_1]^T + D_{21} \Sigma D_{21}^T$;

$$\Lambda \equiv \left[[A + B_1 L_1]S[C_2 + D_{21} L_1]^T + B_1 \Sigma D_{21}^T \right] \Theta^{-1}.$$

Рассмотрим также уравнение Риккати

$$T = \underline{A}^T T \underline{A}^T + \underline{C}^T \underline{C} - N^T \Pi N, \quad (5)$$

где $\Pi \equiv \underline{B}^T T \underline{B} + D_{12}^T D_{12}$, $N \equiv [N_1 \quad N_2] \equiv -\Pi^{-1}(\underline{B}^T T \underline{A} + D_{12}^T \underline{C})$,

в котором матрицы $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{D}$ реализации имеют следующий вид

$$\begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \equiv \left[\begin{array}{c|c} A & B_1 M \\ \hline 0 & A + B_1 M + B_1 C \end{array} \middle| \begin{array}{c} B_2 \\ 0 \end{array} \right].$$

Откуда может быть получена $\overset{\frown}{A}$, $\overset{\frown}{B}$, $\overset{\frown}{C}$, $\overset{\frown}{D}$ реализация регулятора, минимизирующего анизотропийную норму:

$$\overset{\frown}{A} = B_2 \overset{\frown}{C} + [I_n - \Lambda] \begin{bmatrix} A & B_1 \\ C_2 & D_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_n \\ M \end{bmatrix},$$

$$\overset{\frown}{B} = \Lambda,$$

$$\overset{\frown}{C} = N_1 + N_2.$$

Решение задачи синтеза анизотропийного регулятора сводится к вычислению трех алгебраических уравнений Риккати (1), (4), (5), уравнения Ляпунова (3) и уравнения специального вида (2) для вычисления уровня анизотропии входного сигнала. Для решения уравнений Риккати (1), (4), (5) используется алгоритм для нахождения обобщенных собственных векторов Шура, а для решения уравнения Ляпунова (3) используется алгоритм Шура для унитарной триангуляции матриц.

Описание стенда стохастической двухмассовой системы. На рис. 1 показана схема изучаемой системы. Механическая часть стенда выполнена на базе двух однотипных микродвигателей постоянного тока ДПТ-25-Н2. Преобразователем электрической энергии в механическую является микродвигатель Д1, а микродвигатель Д2 формирует величину нагрузки для Д1. Валы двигателей Д1 и Д2 соединены упругой передачей. Внешний вид стенда показан на рис. 2.

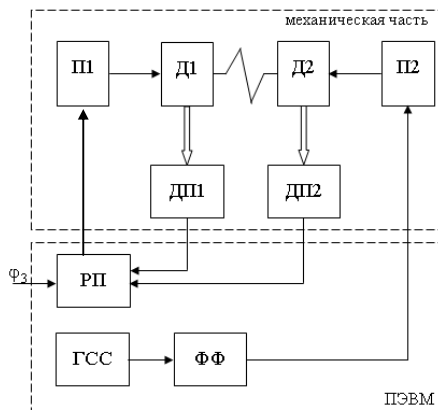


Рис. 1. Схема системы управления стендом в режиме регулирования углового положения

Управление первым двигателем осуществляется от преобразователя П1 с помощью регулятора положения РП первого двигателя по сигналу с датчиков положения ДП1 либо ДП2 первого либо второго двигателей. С помощью второго двигателя создается момент нагрузки. Для имитации случайного воздействия на систему на вход второго двигателя подается случайный сигнал с выхода формирующего фильтра ФФ в виде колебательного звена. На вход формирующего фильтра подается сигнал типа белого шума от генератора случайных сигналов ГСС. Характеристики случайного изменения момента нагрузки определяются параметрами формирующего фильтра и собственно двигателя. Внешний вид системы управления стендом показан на рис. 3. На рис. 4 показан внешний вид платы системы управления стендом, а на рис. 5 показан внешний вид рабочего места оператора.

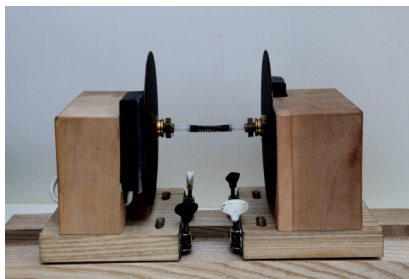


Рис. 2. Внешний вид стенда



Рис. 3. Внешний вид системы управления стендом

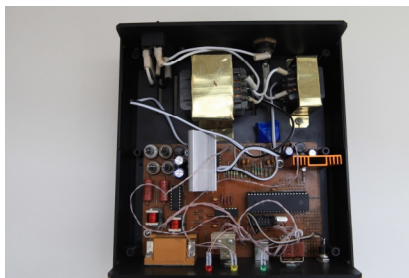


Рис. 4. Плата системы управления стендом



Рис. 5. Схема рабочего места оператора

В режиме стабилизации, когда система замкнута по углу поворота, управление первым двигателем осуществляется от преобразователя П1 с помощью регулятора положения РП первого двигателя по сигналу с датчиков положения ДП1 либо ДП2 первого либо второго двигателей.

В режиме наведения, когда система замкнута по скорости изменения угла поворота, управление первым двигателем осуществляется от преобразователя П1 с помощью регулятора скорости РС первого двигателя по сигналу с датчиков скорости ДС1, ДС2 первого либо второго двигателей (на рис. 1 регулятор скорости РС и датчики скорости ДС1, ДС2 не показаны). Скорости вращения двигателей измеряются с помощью тех же импульсных датчиков положения ДП1, ДП2 первого и второго двигателей.

Экспериментальное исследование стенда при случайных входных сигналах. Рассмотрим работу системы при случайных входных сигналах. Для имитации случайного воздействия на систему на вход второго двигателя подается случайный сигнал с выхода формирующего фильтра. С помощью такой системы на вторую массу действует случайное изменение момента, формируемого с помощью формирующего фильтра и собственно второго двигателя. В качестве примера рассмотрена работа системы в режиме регулирования скорости при замыкании обратной связи по скорости второй массы. На рис. 6 показаны реализации переменных состояния системы с робастным регулятором, который замкнут по скорости вращения второй массы. На этом рисунке показаны следующие переменные состояния: а) и б) – напряжения на первом и втором двигателях; в) и г) – скорости вращения первого и второго двигателей; д) и е) – токи якорных цепей первого и второго двигателей; ж) – момент упругости и з) – ошибка отработки заданного значения скорости первой массой. Как показали экспериментальные исследования, применение робастных регуляторов при случайном изменении момента нагрузки позволяет уменьшить ошибку регулирования скорости вращения двухмассовой электромеханической системы по сравнению с системой с типовыми регуляторами.

Выводы из проведенного исследования, перспективы этого направления. Разработана схема, техническое и программное обеспечение стенда стохастической двухмассовой электромеханической системы. Приведены результаты сравнения динамических характеристик системы управления стендом двухмассовой электромеханической системы с типовыми и робастными регуляторами при случайном

изменении внешних воздействий. Показано, что применение стохастического робастного управления стендом двухмассовой электромеханической системы при случайном изменении момента нагрузки позволяет уменьшить ошибку регулирования по сравнению с системой с типовыми регуляторами в 1,5 – 2,1 раза.

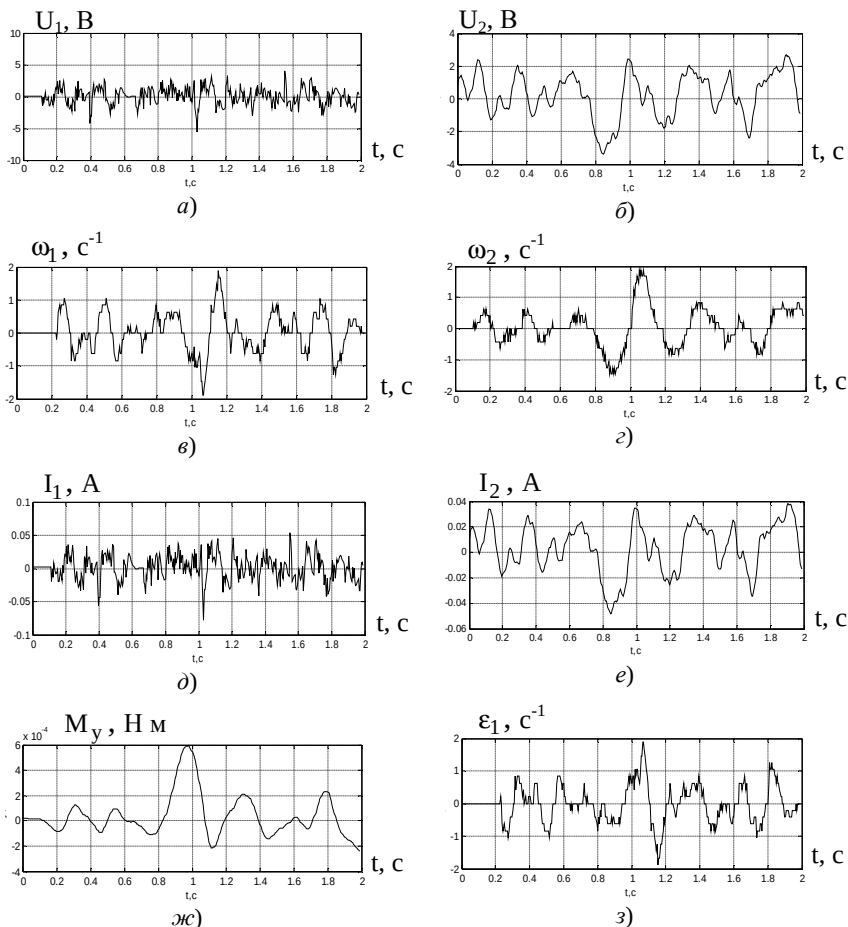


Рис. 6. Реализации случайных процессов переменных состояния стенда стохастической двухмассовой системы

Список литературы: 1. Никитина Т.Б. Многокритериальный синтез робастного управления многомассовыми системами. – Монография / Т.Б. Никитина. – Харьков: ХАДУ,

2013. – 432 с. **2. Никитина Т.Б.** Синтез анизотропийных регуляторов многоканальных систем регулирования геометрических параметров проката / *Т.Б. Никитина* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 30. – С. 230-231. **3. Никитина Т.Б.** Синтез анизотропийного стабилизатора в горизонтальной плоскости / *Т.Б. Никитина* // Технічна електродинаміка. – 2009. – №2. – С. 35-40. **4. Никитина Т.Б.** Стохастический синтез цифрового робастного управления многоканальными итерационными системами / *Т.Б. Никитина* // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2008. – № 71. – С. 22-27. **5. Никитина Т.Б.** Многокритериальный синтез анизотропийного регулятора стабилизатора в вертикальной плоскости / *Т.Б. Никитина* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 94-103. **6. Никитина Т.Б.** Многокритериальный синтез анизотропийных регуляторов электропривода горизонтального наведения / *Т.Б. Никитина* // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2009. – № 1/2009 (54). – С. 9-12. **7. Никитина Т.Б.** Синтез анизотропийного стабилизатора основного вооружения танка в горизонтальной плоскости / *Т.Б. Никитина* // Механіка та машинобудування. – 2009. – № 2. – С. 135-147. **8. Кузнецов Б.И.** Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. – Монография / *Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, В.В. Коломиец*. – Харьков: УИПА, 2005. – 512 с. **9. Кузнецов Б.И.** Экспериментальное исследование робастного управления главными приводами прокатных станов с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл на стенде двухмассовой электромеханической системы / *Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, А.В. Волошко, Е.В. Виниченко* // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 207-212.

Поступила в редакцию 10.09.2013

УДК 62-83:621.77

Розробка та експериментальне дослідження стенду стохастичної двомасової електромеханічної системи / Нікітіна Т.Б., Коломієць В.В., Татарченко М.О., Хоменко В.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 113 – 120.

Розроблено стенд стохастичної двомасової електромеханічної системи. Проведено експериментальні дослідження динамічних характеристик стенду стохастичної двомасової електромеханічної системи із типовим та робастним регуляторами. Показано, що система із робастним регулятором має меншу помилку порівняно із системою з типовим регулятором. Іл.: 6. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: стенд стохастичної двомасової електромеханічної системи, експериментальні дослідження, динамічні характеристики.

UDK 62-83:621.77

Development and experimental study of the stand of the stochastic two-mass electromechanical system / Nikitina T., Kolomiets V., Tatarchenko M., Homenko V. // Herald of the National State University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 113 – 120.

Designed stand stochastic two-mass electromechanical system. Conducted experimental studies of dynamic characteristics of the stand stochastic two-mass electromechanical system with standard and robust controllers. It is shown that a system with robust controller has a lower error than a system with a standard regulator. Figs.: 6. Refs.: 9 titles.

Keywords: stand stochastic two-mass electromechanical system, experimental studies, dynamic characteristics.

УДК 004.932

А.А. НИКОЛЕНКО, канд. техн. наук, доц., ОНПУ, Одесса,
О.Ю. БАБИЛУНГА, канд. техн. наук, доц., ОНПУ, Одесса,
ТЬЕН Т.К. НГУЕН, магiстр, ОНПУ, Одесса

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ТЕКСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Предложен метод локализации текстовых областей на изображениях со сложным фоном, использующий сверточную нейронную сеть и многомасштабное представление изображения на основе дискретного вейвлет-преобразования. Проведено тестирование нейронной сети. Ил.: 2. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: метод локализации текстовых областей, сверточная нейронная сеть, дискретное вейвлет-преобразование.

Постановка проблемы. Текстовые области (ТО) на изображении содержат информацию, которая используется в интеллектуальных системах обработки и распознавания изображений (ИСОРИ) при решении задач автоматического создания аннотированного описания изображений, интерпретации контекстного содержания изображения, распознавания символов текста на изображении и т.п.

На начальных этапах обработки в ИСОРИ выполняется процедура локализации ТО на изображении с целью отделения их от фона. Точность выполнения этой процедуры определяет эффективность работы ИСОРИ в целом. Для решения задачи локализации ТО в научно-технической литературе предложено множество методов на основе корреляции, контурной и текстурной сегментации, нейронных сетей, преобразования Фурье, вейвлет-преобразования [1, 2]. Однако, окончательного решения задачи автоматической локализации ТО на реальных изображениях со сложным фоном, который может содержать фрагменты других объектов, например, деревьев, машин, зданий и пр., на сегодняшний день – нет. Представляется перспективной разработка метода локализации ТО на изображениях со сложным фоном на базе нейросетевых технологий с использованием многомасштабного разложения изображения по вейвлет-базису, поскольку данная технология позволяет учесть все многообразие представления ТО на изображениях.

Анализ литературы. Из научно-технических источников известен

ряд методов обработки изображений на основе вейвлет-преобразований, применяемых для решения задачи локализации областей на изображении [2 – 7]. Все они базируются на построчной или постолбцовой обработке изображений с использованием дискретного или непрерывного вейвлет-преобразований, которые позволяют определить границы объекта в анализируемой строке (или столбце) изображения. Для текстовых областей разработаны методики автоматического выбора масштаба непрерывного вейвлет-преобразования, обеспечивающие локализацию ТО при различных размерах шрифтов символов [4, 5, 7]. При этом практически не учитываются пространственные соотношения между элементами объекта, т.е. особенности его формы. В [1] для учета формы объектов применены корреляционные методы, однако их реализация в ИСОРИ затрудняется тем, что объект может иметь различные размеры и расположение на изображении.

Очевидно, что для эффективной работы ИСОРИ метод локализации ТО на изображении должен учитывать особенности представления данных, а именно – строгую двумерную структуру изображения, в которой существует пространственная зависимость между значениями соседних пикселей [8]. В данной работе рассмотрены сверточные сети – один из подвидов нейронных сетей, который позволяет учесть особенности представления данных на изображениях [9 – 11].

Цель статьи – разработка метода локализации текстовых областей на изображениях на основе сверточной нейронной сети с многомасштабным представлением изображения для обнаружения текстовых областей на изображениях со сложным фоном.

Метод локализации текстовых областей. Предлагаемый метод локализации ТО на изображении, использует сверточную нейронную сеть и многомасштабное представление изображения на основе дискретного вейвлет-преобразования и реализуется следующим алгоритмом.

Шаг 1. Из исходного цветного изображения (формат *RGB*) выделяется фрагмент, соответствующий прямоугольному окну с размерами 36×64 пикселя.

Шаг 2. Формируется пирамида изображений для выделенного фрагмента. Для этого осуществляется преобразование значений интенсивности фрагмента изображения к диапазону $[-1, 1]$ и выполняется дискретное вейвлет-преобразование с разложением изображения на два уровня по каждой составляющей каналов цвета *R*, *G*, *B*.

Шаг 3. Полученный набор пирамид изображений поступает на предварительно обученную сверточную нейронную сеть, которая классифицирует данный участок изображения, как содержащий текст

(текстовую область) или не содержащий текст.

Шаг 4. Повторяются шаги алгоритма 1 – 3 (для всего изображения).

В результате применения предложенного метода локализации ТО ко всему изображению, определяются координаты прямоугольных областей, содержащих символы текста.

Архитектура сети. Топология свёрточной сети представлена на рис. 1.

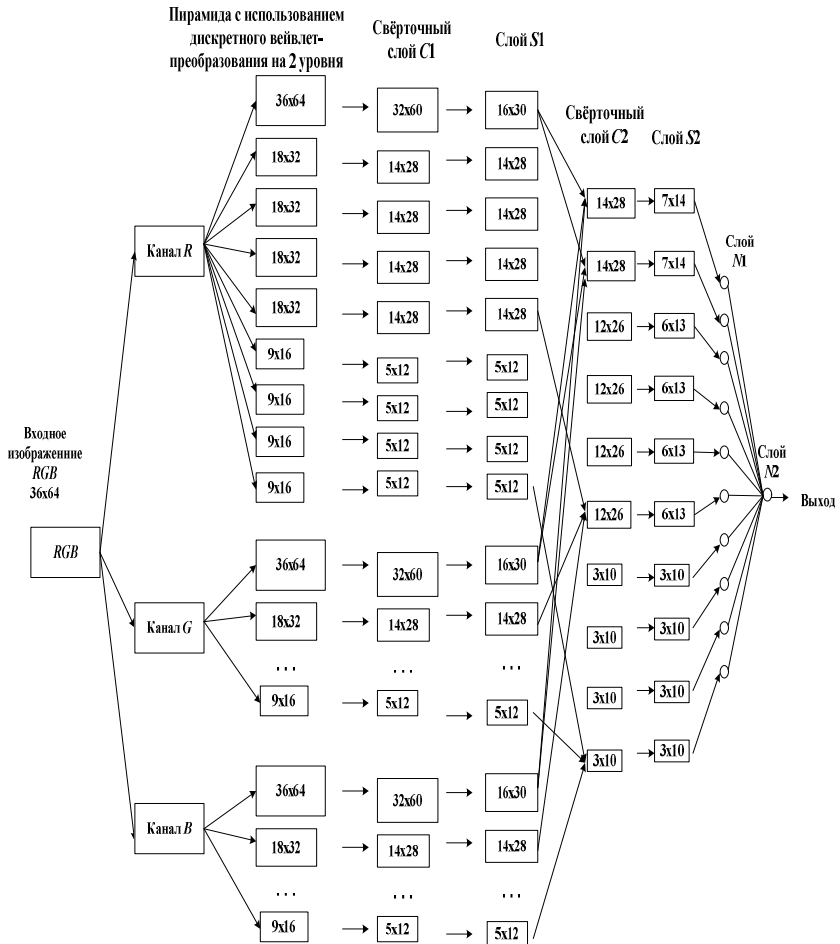


Рис. 1. Схема предложенной сетевой топологии

Исходные данные для работы сети формируются из цветного изображения (формат *RGB*) размером 36×64 пикселя. Сеть должна определить, содержит данный фрагмент изображения текст или нет.

Для обнаружения текста из входного изображения с помощью дискретного вейвлет-преобразования [2] с разложением на два уровня (используется вейвлет Хаара) формируются еще два набора по 4 изображения с размерами 18×32 и 9×16 для каждой составляющей каналов цвета *R*, *G*, *B*. В результате исходное изображение представляется одновременно на нескольких уровнях разрешения.

Свёрточная нейронная сеть состоит из двух сверточных слоев *C1* и *C2* (для их создания используются рецептивные матрицы 5×5 и 3×3 пикселя соответственно), двух подвыборочных слоев *S1* и *S2* (размер матрицы 2×2) и двух полносвязных слоев *N1* (10 нейронов) и *N2* (один нейрон). Слой *C1* имеет 27 свёрточных плоскостей (карт), которые группируются согласно каналу изображения. Каждая карта получается в результате обработки пирамиды входных изображений с помощью свертки с маской 5×5 . Особенностью подвыборочного слоя *S1* является то, что он уменьшает в 2 раза только три карты слоя *C1* размером 32×60 пикселей, остальные остаются неизменными. Слой *C2* содержит 10 свёрточных карт, каждая из которых получена с помощью свертки с маской 3×3 некоторых карт слоя *S1*. В подвыборочном слое *S2* карты слоя *C2* размером 3×10 дублируются, остальные уменьшаются в 2 раза. Полносвязные слои *N1* и *N2* содержат нейроны с функцией активации в виде гиперболического тангенса. Каждый нейрон в слое *N1* соединяется только с одной картой слоя *S2*.

Особенности обучения сети. Для обучения сети был выбран алгоритм обратного распространения ошибки. В результате обучения сеть формировала отклики со значениями -1 для фрагмента изображения, не содержащего текст, и $+1$ – для фрагмента изображения с текстом.

Значения исходных синаптических весов для всех сверточных слоёв сети генерировались в соответствии с законом равномерного распределения с нулевым математическим ожиданием и дисперсией, равной обратной величине квадратного корня из количества синаптических связей нейрона [12]. Алгоритм использует методику, позволяющую быстро вычислять вектор частных производных (градиент) сложной функции многих переменных, если структура этой функции известна. В качестве такой функции в алгоритме рассматривается функция ошибки сети и учитывается, что структура функции ошибки сети определяется архитектурой нейронной сети. В процессе обучения достигается настройка межнейронных связей для сверточных и

полносвязных слоев, коэффициенты связей для подвыборочных слоев остаются неизменными и равными 0,25.

Для обучения сети была создана обучающая выборка из 676 изображений (36×64 пикселя) и контрольная выборка из 560 изображений. Изображения выборок включали текст с различными размерами, типами и цветом шрифтов, многострочный текст. Кроме символов текста они содержали и другие объекты (фрагменты домов, деревьев и т.д.). Также были добавлены изображения, содержащие только часть символов текста и без текста.

Тестирование работы нейронной сети при локализации ТО. В ходе компьютерного эксперимента оценивались скорость обучения сети, точность классификации фрагментов изображений из обучающей и контрольной выборок, которые содержали текстовые области.

Оценка времени выполнения классификации ТО выполнялась на персональном компьютере со следующей конфигурацией: процессор – Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU T9400 @ 2.53GHz, RAM – 4GB, тип системы – 32 bit, операционная система – Windows 7.

Для оценки точности классификации изображений, содержащих текст, использовалась мера точности [13], которая показывает, сколько процентов областей, распознанных на изображении как текстовые, составляют действительно текстовые области.

После обучения сети точность классификации изображений обучающей выборки составила 99,3 %, а контрольной выборки – 77,7 %. средняя скорость обучения сети составила 0,31 с на эпоху, среднее время классификации текстовых областей на изображении 36×64 пикселя составило 0,17 с. Пример работы обученной сети на реальном изображении представлен на рис. 2.



Рис. 2. Пример локализации ТО на изображении с применением предложенного метода: *а* – исходное изображение; *б* – результат локализации текстовой области

Выводы. Предложенный метод локализации текстовых областей на изображениях на основе сверточной нейронной сети с многомасштабным представлением изображения позволяет обнаруживать текстовые области на изображениях со сложным фоном в ИСОРИ различного назначения.

Список литературы. 1. *Шати́ро Л.* Компьютерное зрение / *Л. Шати́ро, Дж. Стокман*. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2006. – 752 с. 2. *Малла С.* Вейвлеты в обработке сигналов / *С. Малла*. – М.: Мир, 2005. – 671 с. 3. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам / *И. Добеши*. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 464 с. 4. *Антощук С.Г.* Анализ базисных функций вейвлет-преобразования при мультимасштабном контурном представлении изображений / *С.Г. Антощук, А.А. Николенко, Е.В. Ткаченко* // *Электромашинобуд. та електрообладнання*. – 2009. – Вип. 72. – С. 15-19. 5. Использование вейвлет-преобразования при локализации последовательностей символов / *С.Г. Антощук, А.А. Николенко, Е.В. Ткаченко, О.Ю. Бабилунга* // *Искусственный интеллект*. – 2009. – № 4. – С. 23-29. 6. Адаптивна локалізація символічних написів на зображеннях методом вейвлет-аналізу / *Антощук С.Г., Бабилунга О.Ю., Николенко А.О., Ткаченко О.В.* // *Вісник ЖІТІ*. – 2008. – № 4. – С. 125-130. 7. *Антощук С.Г.* Локализация квазипериодических последовательностей на изображениях / *С.Г. Антощук, А.А. Николенко, Тьен Т.К. Нгуен* // *Компьютерные науки и технологии*. – 2009. – № 2. – С. 35-40. 8. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс / *С. Хайкин*. – М.: Вильямс, 2006 – 1104 с. 9. *LeCun Y.* Scaling learning algorithms towards AI / *Y. LeCun, Y. Bengio*. – MIT Press, 2007. 10. *LeCun Y.* Gradient-based learning applied to document recognition / *Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner* // *Proceedings of the IEEE*. – 1998. – 86 (11). – P. 2278-2324. 11. *Delakis M.* Text detection with convolutional neural networks. International Conference on Computer Vision Theory and Applications / *M. Delakis, Cr. Garcia*. – VISAPP. – 2008 – P. 290-294. 12. *LeCun Y.* Efficient BackProp in Neural Networks: Tricks of the trade / *Y. LeCun, L. Bottou, G. Orr, K. Muller*. – Springer, 1998. – 44 p. 13. *Вежневцев В.* Оценка качества работы классификаторов / *В. Вежневцев* // *Компьютерная графика и мультимедиа*. – 2006. – № 4. – С. 106.

Поступила в редакцию 25.06.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. ОНПУ Крисилев В.А.

УДК 004.932

Локалізація текстових областей на зображеннях з використанням згорткової нейронної мережі / *Николенко А.О., Бабилунга О.Ю., Нгуен Т.К. Тьен* // *Вісник НТУ "ХПИ"*. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 121 – 127.

Запропоновано метод локалізації текстових областей на зображеннях з складним фоном, що використовує згорткову нейронну мережу та багатомасштабне представлення зображення на основі дискретного вейвлет-перетворення. Проведено тестування нейронної мережі. Іл.: 2. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: метод локалізації текстових областей, згорткова нейронна мережа, дискретне вейвлет-перетворення.

UDC 004.932

Localization of the text area on the images using a convolution neural network / *Nikolenko A.A., Babilunga O.Ju., Nguyen T.K. Tien* // *Herald of the National Technical University "KhPI"*. Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 121 – 127.

Method of localization of the text area on the images with a difficult background, using a convolution neural network and multi-scale representation of the image based on discrete wavelet transform was proposed. Testing of neuron network is conducted. Figs.: 2. Refs.: 13 titles.

Keywords: method of localization of the text area, convolution neural network, discrete wavelet transform.

УДК 629.42

В.И. НОСКОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
Н.И. ЗАПОВОВСКИЙ, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
М.В. ЛИПЧАНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОХЛАЖДЕНИЕ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗА С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ

Проведен анализ энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей тепловоза с помощью тепловой модели с учетом условий эксплуатации. На основе анализа определены энергозатраты для различных систем охлаждения тяговых двигателей. Полученные результаты позволяют разработать алгоритм функционирования системы управления охлаждением. Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: энергозатраты, тяговый двигатель, тепловая модель, система охлаждения.

Постановка проблемы. В настоящее время, когда остро встал вопрос об экономии энергоносителей, активированы работы по повышению экономической эффективности тепловозов. Одним из направлений повышения экономической эффективности является оптимизация работы вспомогательных систем, которые обеспечивают работу силового оборудования в заданных режимах. В данной статье рассматривается вопрос повышения экономической эффективности тепловоза 2ТЭ116 за счет снижения энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей (ТД). В основу работы положены результаты математического моделирования системы охлаждения и данные эксплуатации.

Анализ литературы. Проблемами исследования тепловых процессов в тяговых электрических машинных занимались многие ученые, в том числе: Алексеев А.Е., Космодамианский А.С., Некрасов О.А., Щербаков В.В., Яковлев А.И. и др. [1 – 9]. Этими учеными исследованы и предложены методы анализа и расчета теплового состояния элементов и всей конструкции электрической машины как в установившихся, так и в переходных режимах работы. В то же время, использование этих методов на реальном объекте связано с определенными трудностями, поэтому авторами разработана упрощенная тепловая модель, учитывающая основные характеристики ТД и их

© В.И. Носков, Н.И. Запововский, М.В. Липчанский, 2013

условия эксплуатации, что позволяет производить анализ энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей тепловоза.

Цель статьи – сравнительный анализ энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей тепловоза с использованием разработанной тепловой модели.

Описание тепловой модели тягового двигателя тепловоза. В основу тепловой модели системы охлаждения ТД тепловоза 2ТЭ116 положена теория нагревания электрических машин, которая, в свою очередь, базируется на основных принципах теории нагревания однородного твердого тела [1].

Тепловая энергия, выделяемая ТД, обусловлена различными потерями и вызывает нагревание частей двигателя. Интенсивность нагревания ТД зависит от количества выделяемой тепловой энергии за единицу времени, и характеризуется мощностью теплового потока и теплоемкостью. Мощность теплового потока пропорциональна мощности двигателя. Интенсивность теплоотдачи обусловлена теплопроводностью самого двигателя и окружающей среды, теплорассеивающими способностями его поверхности, а также скоростью движения тепловоза. За счет теплоемкости ТД и незначительной доли пассивного охлаждения температура обмоток и корпуса ТД может существенно повышаться, что может привести к выходу из строя ТД. Как правило, температура окружающей среды ниже температуры ТД, однако теплоотдача, обусловленная процессами лучеиспускания и конвекции, в полной мере будет эффективна только при наличии принудительного охлаждения, как это реализовано в существующих конструкциях тепловозов.

В разработанной математической модели было использовано уравнение теплового баланса

$$Adt = Cdt + Bt dt. \quad (1)$$

Левая часть представляет собой тепловую энергию, которая выделяется двигателем за бесконечно малый промежуток времени dt . Тепловой поток A представляет собой мощность потерь в отдельных частях двигателя ΔP ; B и C – соответственно теплоотдача и теплоемкость ТД; τ – превышение температуры.

Структурная схема модели тягового двигателя приведена на рис. 1.

Определение экономии энергозатрат. Экономия топлива при использовании системы регулируемого охлаждения ТД определялась как

разность между расходом топлива на охлаждение ТД для случая штатной схемы ($Q_{шт}$) и анализируемой (Q_p):

$$\Delta Q = Q_{шт} - Q_p. \quad (2)$$

Суточный расход топлива был получен по данным эксплуатации тепловозов №1 – №3 2ТЭ116 в депо. В эксплуатации доля холостого хода и работы дизеля на низших позициях КМ достаточно велика, поэтому для объективного анализа системы регулируемого охлаждения были определены параметры суточного расхода топлива для случая равномерного использования мощности дизеля по позициям КМ (тепловоз № 4). Расчет мощности, потребляемой штатной системой охлаждения по позициям контролера машиниста (КМ) производился по формуле:

$$P_i = P_n \left(\frac{n_i}{n_n} \right)^3, \quad (3)$$

где; P_i – мощность, потребляемая системой на i -й позиции КМ ($i = \overline{0, 15}$); P_n – мощность, потребляемая системой на 15-й позиции КМ; n_i и n_n – обороты дизеля на i -й и 15-й позициях КМ соответственно.

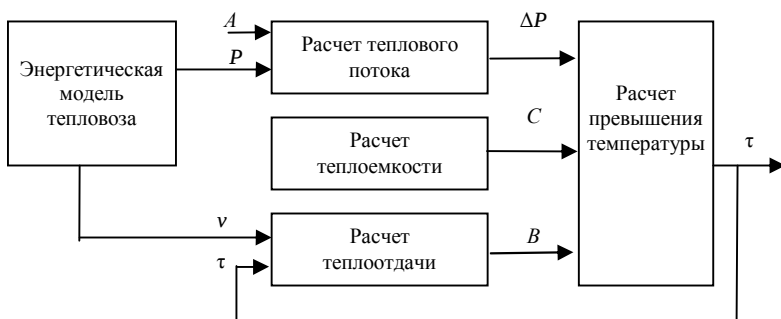


Рис. 1. Структурная схема машинной модели системы охлаждения ТД

Суммарный суточный расход топлива дизелем и расход, приходящийся на охлаждение ТД выполнялся по формулам (4) и (5), соответственно:

$$Q_{\text{д}} = \sum_{i=0}^{15} P_{\text{д}i} \tau_i q ; \quad (4)$$

$$Q_{\text{шт}} = \sum_{i=0}^{15} P_i \tau_i q , \quad (5)$$

где $P_{\text{д}i}$ – мощность дизеля на i -й позиции КМ; t_i – время работы дизеля на i -й позиции КМ; q – удельный расход топлива (210 г/кВтч).

Из представленных формул, потребляемая мощность и расход топлива штатной системой охлаждения ТД зависят только от частоты вращения дизеля и никак не связаны с его тепловым состоянием, т.е. нагрузкой, температурой окружающей среды и др., что приводит к неоправданному перерасходу топлива.

Исследования, проведенные на разработанной тепловой модели ТД, показали, что тепловая постоянная ТД равна, примерно, 40 мин., а время нагрева его до 85 °С составляет 120 мин.

Тепловое состояние ТД зависит не только от нагрузки, но и от температуры окружающей среды. Поэтому, предварительно, можно считать, что на низких позициях КМ система охлаждения ТД может быть отключена (либо включаться кратковременно), на более высоких позициях, с учетом тепловой постоянной ТД, ее работа может быть сокращена по времени, минимум на 20%.

Суточный расход топлива дизелем, штатной системой охлаждения секции тепловоза 2ТЕ116 и предлагаемой для его модернизации системой регулируемого охлаждения, приведены в таблице.

Таблица

Суточный расход топлива

Суточный расход топлива, кг	Тепловоз			
	№1	№2	№3	№4
Общий	2648,21	2061,52	2517,07	4935,73
Со штатной системой охлаждения	27,68	21,8	24,68	123,26
С предлагаемой системой охлаждения	11,39	8,83	10,45	87,2
Экономия топлива	16,29	12,97	14,23	36,04

При пересчете расхода топлива за год и стоимости дизельного топлива 10,00 грн. за 1 кг, затраты на приобретение топлива могут быть уменьшены от 40,0 тыс. грн. до 120,0 тыс. грн. на секцию.

Выводы. В результате проведенного анализа с использованием тепловой модели тягового двигателя определена экономия топлива для случая применения системы регулируемого охлаждения ТД для различных условий эксплуатации тепловоза, которая составляет от 40.0 до 120.0 тыс. грн. на секцию в год.

Список литературы: 1. *Алексеев А.Е.* Тяговые электрические машины и преобразователи / *А.Е. Алексеев*. – Л.: Энергия, 1987. – 432 с. 2. *Космодамианский А.С.* Теоретические основы и разработка систем регулирования температуры тяговых электрических машин локомотивов: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.07 / Космодамианский Андрей Сергеевич. – М., 2002. – 285 с. 3. *Некрасов О.А.* Взаимосвязь между условиями работы электроподвижного состава и нагреванием обмоток тяговых двигателей / *О.А. Некрасов* // Труды ВНИИ ж.-д. транспорта. – 1977. – Вып. 576. – С. 4 – 65. 4. *Щербаков В.В.* Моделирование теплового состояния тягового электродвигателя для прогнозирования ресурса / *В.В. Щербаков, О.Л. Рапопорт, А.Б. Цукублин* // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 156 – 159. 5. *Платов Н.А.* Разработка универсальной модели для тепловых расчетов тяговых электродвигателей локомотивов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.01 / Платов Николай Александрович. – М.: МИИТ, 2009. – 24 с. 6. *Грищенко М.А.* Повышение остаточного ресурса тяговых электродвигателей за счет ограничения максимальной температуры обмоток : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Грищенко Марина Александровна. – СПб., 2010. – 148 с. 7. *Грищенко М.А.* Математическое моделирование процесса теплопередачи в ядре тягового электродвигателя тепловоза / *М.А. Грищенко* // Известия Петербургского университета путей сообщений. – 2010. – №1 (22). – С. 33 – 44. 8. *Куликов Ю.А.* Система охлаждения силовых установок тепловозов / *Ю.А. Куликов*. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с. 9. *Торба С.В.* Повышение экономичности режимов охлаждения тягового электрооборудования электровоза переменного тока: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Торба Сергей Витальевич. – М., 1989. – 22 с.

Поступила в редакцию 08.07.2013

УДК 629.42

Аналіз енерговитрат на охолодження тягового двигуна тепловозу за допомогою теплової моделі / Носков В.І., Заполівський М.Й., Липчанський М.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 128 – 133.

Проведено аналіз енерговитрат на охолодження тягових двигунів тепловоза за допомогою теплової моделі з урахуванням умов експлуатації. На основі аналізу визначено енерговитрати для різних систем охолодження тягових двигунів. Отримані результати дозволяють розробити алгоритм функціонування системи управління охолодженням. Іл.: 2. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: енерговитрати, тяговий двигун, теплова модель, система охолодження.

UDC 629.42

Analysis of energy consumption for cooling traction engine locomotive with thermal model / Noskov V.I., Zapolovskiy N.I., Lipchanskiy M.V. // Herald of the National Technical

University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 128 – 133.

The analysis of energy consumption for cooling the locomotive traction motors with thermal model taking into account the conditions of use. Based on the analysis, the power consumption for any cooling of traction motors. The obtained results allow us to develop an algorithm management system cooling. Figs.: 2. Tabl.: 1. Refs.: 9 titles.

Keywords: power consumption, drive motor, the thermal model, the cooling system.

УДК 621.317

Н.І. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, доц., НТУУ "КПІ", Київ,
К.В. ЧОРНИЙ, студент, НТУУ "КПІ", Київ

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ДІЯЛЬНОСТІ СЕРЦЯ

Аускультация – дослідження звукових сигналів діяльності серця з метою ранньої діагностики серцевих захворювань знайшла широке застосування у лікувальній практиці. Над звуками серця, знятими з сенсорів і перетвореними у цифрову форму (фонокардіограма), здійснюється сегментація, вилучення інформативних параметрів на основі вейвлет-аналізу, формування вектора ознак для проведення класифікації. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: аускультация, фонокардіограма, вейвлет-аналіз, сегментація.

Постановка проблеми і аналіз літератури. Серцево-судинні захворювання займають одне з провідних місць і є серйозною проблемою в охороні здоров'я. Затрати на лікування хворих на такі захворювання обходяться загальному бюджету Європейського Союзу у сотні мільярдів євро на рік. Рання діагностика і профілактика таких захворювань, крім пропаганди здорового способу життя, можуть значно скоротити втрати і поліпшити стан охорони здоров'я.

Прослуховування звукових сигналів діяльності серця – аускультация, яка виникла ще на початку 19 століття (1816 р.), продовжує відігравати значну роль у ранній діагностиці порушень у роботі серця завдяки своїй простоті, доступності і відносно незначним затратам [1 – 4]. Інші технології для діагностики, які застосовуються у сучасній медицині, – ультразвукова ехокардіографія, комп'ютерна рентгенівська томографія, магнітно-резонансна томографія значно дорожчі і можуть проводитися у спеціалізованих медичних центрах.

Можливості людського слуху обмежені і тому за допомогою механічного стетоскопа можна сприйняти лише незначну частину звукових сигналів діяльності серця. Підсилення цих сигналів електронним підсилювачем, хоча і збільшує область сприйнятих сигналів, все ж не вирішує всіх проблем. Правильний діагноз на основі аускультации залежить від навичок і багаторічного досвіду лікаря і у значній степені ґрунтується на інтуїції.

Останні досягнення в області електроніки і мікропроцесорної техніки, застосування цифрової обробки сигналів за складними алгоритмами дають змогу підняти аускультацию на якісно новий рівень. Візуалізація сигналів, зокрема у частотно-часовій області, можливість передавати сигнал на велику

© Н.І. Поворознюк, К.В. Чорний, 2013

відстань (телемедицина), застосування методів штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень – ось лише неповний перелік можливостей для кардинального поліпшення якості діагностування серцево-судинних захворювань

Мета статті. Розробити процедуру аналізу звукових сигналів серцевої діяльності на основі вейвлет-перетворення з метою ранньої діагностики відхилень у роботі серця.

Характеристики і параметри звукових сигналів діяльності серця. Звуки серця (англ. *heart sound*) виникають внаслідок складних механічних і гідродинамічних процесів, що відбуваються у серцево-судинній системі людини, зокрема у самому серці. У здоровому стані серце генерує вузькосмуговий сигнал S_1 (рис.), який утворюється в результаті закривання трикуспідального ($T1$), мітрального ($M1$) клапанів та скорочення шлуночків, і сигнал S_2 , утворений в результаті закривання клапанів легеневої артерії та аорти і відкривання мітрального та трикуспідального клапанів. Інтервал часу між S_1 і S_2 називається систолою, а між S_2 і S_1 – діастолю.

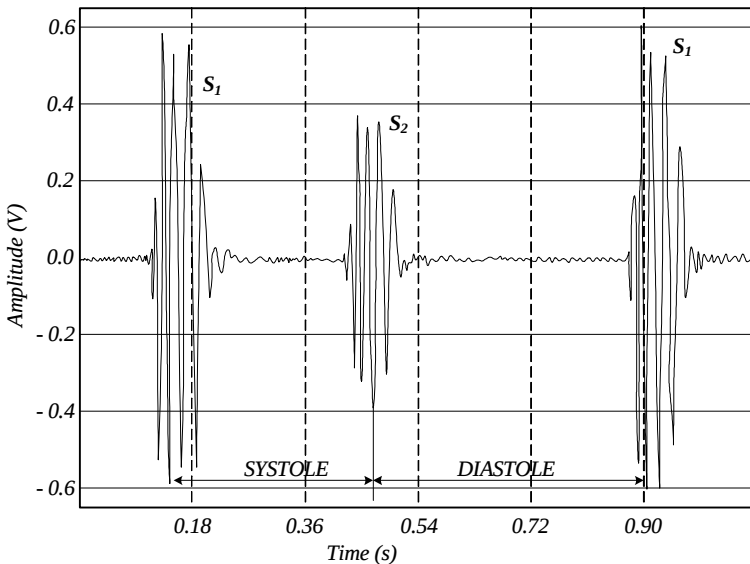


Рис. Звуковий сигнал діяльності серця – фонокардіограма

При порушеннях у роботі серця, таких як стенози, регургітації, тахікардії тощо, сигнали S_1 і S_2 спотворюються і виникають додаткові сигнали і шуми. Шуми серця (англ. *murmurs*) спричинені турбулентним рухом крові у звужених отворах. Кожне порушення чи патологія особливим чином спотворюють звукові сигнали діяльності серця і тому детальний і глибокий аналіз цих звукових сигналів дає змогу діагностувати різні захворювання серця [5 – 7].

Обробка звукових сигналів діяльності серця з метою діагностики здійснюється у кілька етапів: попередня обробка, сегментація, вилучення інформативних параметрів і класифікація.

Попередня обробка сигналів. Звуковий сигнал, що несе інформацію про роботу серця, сприймається сенсорами, закріпленими на тілі пацієнта, і підсилюється до потрібного рівня. Основна енергія сигналу зосереджена у частотному діапазоні 10 – 750 Гц, тому для зменшення шкідливого впливу шумів здійснюється низькочастотна фільтрація сигналу. Для впорядкування бази даних сигнали нормують, тобто приводять у єдиний динамічний діапазон. Нормований сигнал дискретизується і перетворюється за допомогою АЦП у послідовність двійкових чисел. Над сигналом у цифровій формі, записаному на електронний носій, – фонокардіограмою, здійснюється наступний етап обробки – сегментація.

Сегментація сигналів. Сегментація – це складний процес обробки інформації, який можна поділити на два види: зовнішню і внутрішню сегментацію. При зовнішній сегментації виділяється окремий період ритму серця, а при внутрішній – сигнали S_1 і S_2 , початок і кінець систоли та діастолі. Сегментація ускладнюється за наявності шумів серця, сторонніх шумів, додаткових тонів S_3 і S_4 .

Найпростіший спосіб зовнішньої сегментації – синхронізація фонокардіограми і електрокардіограми, оскільки в електрокардіограмі різко виділяються пікові значення на початку систоли. Недоліком цього методу є необхідність додаткового устаткування для зняття електрокардіограми. У літературі [7 – 10] описана низка методів зовнішньої сегментації із застосуванням лише фонокардіограм, що ґрунтуються на обчисленні енергетичних параметрів сигналу. Період серцевого ритму фіксується при перевищенні певного порогу потужності сигналу. При зростанні рівня шуму якість сегментації різко погіршується.

Для підвищення робастності сегментації пропонується така методика. Над сигналом, що пройшов попередню обробку, виконується вейвлет перетворення і виділяється частотно-часова область, де зосереджена

основна енергія компонент S1 і S2. Далі визначається взаємна спектральна густина потужності виділеної області і всього сигналу у цілому. Оберненим перетворенням Фур'є визначається взаємна кореляційна функція і по інтервалу часу між її піковими значеннями виділяється період серцевого ритму.

Вилучення інформативних параметрів сигналів (Feature Extraction). Інформативні параметри звукових сигналів діяльності серця можна поділити на три групи: *морфологічні*, що описують форму сигналів, *частотні*, що несуть інформацію про частотний склад сигналу і *часові*, які відображають як часові співвідношення між компонентами сигналу, так і тривалості самих компонент. "Сира" фонокардіограма містить як ці важливі параметри, так і другорядні, що не мають важливого значення для діагностики. Вилучення інформативних параметрів дає змогу значно зменшити обсяг даних подальшого аналізу.

Для вилучення інформативних параметрів доцільно використовувати, як і на етапі сегментації, частотно-часове представлення сигналів, отримане за допомогою вейвлет-перетворення, враховуючи локалізацію інформативних параметрів на частотно-часовій площині.

Висновки. Звукові сигнали, що утворюються при роботі серця, несуть цінну інформацію про його стан. Відхилення у роботі серця, спричинені різними захворюваннями, відображаються у зміні форми сигналу, його частотного складу, часових співвідношень між компонентами сигналу. Застосовуючи останні досягнення в області електронної та мікропроцесорної техніки і використовуючи сучасні методи обробки сигналів, можна успішно діагностувати відхилення від норми у роботі серця і попереджувати захворювання серця на ранній стадії. Одним з таких методів є вейвлет-аналіз фонокардіограм, який дає змогу досліджувати сигнали у частотно-часовій області з високою роздільною здатністю як по частоті, так і за часом. У середовищі Matlab/Simulink був проведений аналіз звукових сигналів діяльності здорового серця і з різними патологіями. Аналіз показав високу ефективність запропонованих методик.

Список літератури: 1. Watrous R.L. Computer-Aided Auscultation of the Heart: From Anatomy and Physiology to Diagnostic Decision Support / R.L. Watrous // Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference. – 2006. – P. 140-143. 2. Rangayyan R.M. Phonocardiogram Signal Analysis: A review / R.M. Rangayyan and R.J. Lehner // CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering. – 1988. – Vol. 15 (3) – P. 211-236. 3. Obaidat M.S. Phonocardiogram signal analysis: techniques and performance comparison / M.S. Obaidat // J. Med. Eng. Technol. – Vol. 17 (6). – 1993. – P. 221-227. 4. Durand L.-G. Digital signal processing of the phonocardiogram: review of the most recent advancements / L.-G. Durand and

P. Pibarot // Critical Review in Biomedical Eng. – 1995. – Vol. 23. – P 163-219. 5. *Dokur Z.* Heart sound classification using wavelet transform and incremental self-organizing map / *Z. Dokur, T. Ölmez* // Digital Signal Processing: A Review Journal. – 2008. – Vol. 18. – P. 951-959. 6. *Jeyarani A.D.* Feature Extraction from Heart sound signal for Anomaly Detection / *A.D. Jeyarani, J. Singh Thomas* // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. – 2011. – Vol. 11 (9). – P. 132-140. 7. *Debbal S.M.* Computerized Heart Sounds Analysis / *S.M. Debbal* // Discrete Wavelet Transforms – Biomedical Applications. – 2011. – P. 63-90. 8. *Wood J.C.* Time–frequency transforms: a new approach to first heart sound frequency dynamics / *J.C. Wood, A.J. Buda, D.T. Barry* // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1992. – Vol. 39 (7). – P. 730-740. 9. *Debbal S.M.* Features for Heartbeat Sound Signal Normal and Pathological / *S.M. Debbal, F. Bereksi-Reguig* // Recent Patents on Computer Science. – 2008. – № 1. – P. 1-8. 10. *Ari S.* Detection of cardiac abnormality from PCG signal using LMS based least square SVM classifier / *S. Ari, K. Hembram, G. Saha* // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol. 37. – P. 8019-8026.

Надійшла до редакцію 03.07.2013

Статтю представив д-р техн. наук, проф. НТУУ "ХПИ" Сільвестров А.М.

УДК 621.317

Вейвлет-анализ звуковых сигналов деятельности сердца / Поворознюк Н.И., Черный К.В. // // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 134 – 138.

Аускультация – исследование звуковых сигналов деятельности сердца с целью ранней диагностики сердечных заболеваний – нашла широкое применение во врачебной практике. Над звуками сердца, снятыми сенсорами и преобразованными в цифровую форму (фонокардиограмма), выполняется сегментация, извлечение информативных параметров на основании вейвлет-анализа и формирования вектора признаков для проведения классификации. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: аускультация, фонокардиограмма, вейвлет-преобразование, сегментация.

UDC 621.317

Wavelet analysis of heart sound signals / Povorozniuk N.I., Chornyi K.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 134 – 138.

Auscultation – a study of the heart sound signals for early detection has been widely used in medical practice. Above the sounds of the heart, removed from the sensor and converted to digital form (phonocardiogram), the segmentation is performed, the extraction of informative parameters on the basis of wavelet analysis and the formation of the feature vector for classification. Figs.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: auscultation, phonocardiogram, wavelet analysis, segmentation.

УДК 004.89:004.4:681.5

Г.А. САМИГУЛИНА, д-р тех. наук, зав. лаб., ИПИУ МОН РК,
Алматы,

З.И. САМИГУЛИНА, PhD докторант, КазНТУ им. К.И. Сатпаева,
Алматы

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ

Разработана технология сбора данных с реальных объектов промышленной автоматизации с использованием оборудования Schneider Electric и организации информационного обмена с интеллектуальной системой прогнозирования и управления на основе биологического подхода искусственных иммунных систем. Ил.: 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: интеллектуальная система, искусственные иммунные системы, анализ данных, системы промышленной автоматизации, оборудование Schneider Electric.

Постановка проблемы и анализ литературы. Основные перспективные направления современного мирового научного прогресса определяются исследованиями и разработками в области искусственного интеллекта с использованием последних достижений компьютерных технологий. В связи с этим современное высокотехнологичное производство предъявляет большие требования к системам промышленной автоматизации. В настоящее время актуальной задачей является использование специальных технологий для передачи данных в системе автоматизации технологических процессов и использование новых нетрадиционных подходов при построении интеллектуальных систем управления сложными объектами с различными видами неопределенностей параметров [1, 2]. Современные и перспективные интеллектуальные системы должны сначала спрогнозировать ожидаемые результаты [3], а потом принимать решения по реализации управлений.

В последнее время особое внимание уделяется искусственным иммунным системам (ИИС), основанным на обработке информации молекулами белков и иммунологической реакции организма при вторжении чужеродных антигенов [4, 5]. Достоинством ИИС является [6] распределенность, самообучаемость, отсутствие централизованного контроля, самоорганизация и эволюция, малые вычислительные ресурсы, возможность параллельной обработки информации.

© Г.А. Самигулина, З.И. Самигулина, 2013

Междисциплинарный характер исследований определяет использование различных методов и подходов из многих областей знаний. Используются методы искусственного интеллекта, хеометрики, теория матриц, теория автоматического управления, неравновесная термодинамическая теория белка, конформационный анализ, системный анализ, теория распознавания образов, теория принятия решений, теория вероятностей и математическая статистика, технологии объектно-ориентированного программирования и разработка баз данных и др.

Перспективным считается подход, в котором рассматриваются механизмы молекулярного узнавания. В этом случае базовым элементом является формальный пептид [7]. Под иммунной сетью связывания в подходе ИИС понимается любая последовательность связываний формальных пептидов.

Постоянно растут сферы применения ИИС. Данный подход применяется при создании интеллектуальных систем: компьютерной безопасности; молекулярном дизайне лекарственных препаратов; дистанционном обучении в среде Internet; прогнозирования рисков крупных инновационных проектов; для диагностики неисправности оборудования (медицинского, промышленного и т.д.).

Основные задачи, которые решаются при иммунносетевом моделировании: выбор структуры иммунной сети (ИС); уменьшение времени на обучение ИС; выбор оптимальной структуры ИС; решение задачи выделения информативных признаков; уменьшение ошибки обобщения ИС; повышение достоверности прогноза; работа в реальном масштабе времени; распараллеливание вычислительных алгоритмов; разработка автоматизированной системы построения технологических цепочек для различных критериев качества на основе формального языка интеллектуальной технологии обработки многомерных данных ИИС; разработка операционных маршрутов пользователя и создание библиотек для иммунносетевого моделирования; визуализация данных.

Цель статьи. Разработать технологию сбора данных с реального объекта промышленной автоматизации и организовать информационный обмен с интеллектуальной системой управления на основе искусственных иммунных сетей и современного оборудования Schneider Electric.

Научная новизна предлагаемой технологии заключается в разработке принципиально новых нетрадиционных подходов при создании интеллектуальных систем прогнозирования и управления на основе иммунносетевого моделирования для систем промышленной автоматизации. В качестве входной информации для анализа

многомерных данных на основе ИИС используются временные ряды признаков, характеризующих конкретный технологический объект управления.

Технология OPC для организации информационного обмена.

Для решения поставленной задачи применяется технология OPC (OLE for Process Control), которая предназначена для обмена данными с системой измерения и управления на оборудовании Schneider Electric. Данная технология представляется двумя классами программ: OPC-сервер (OPC server) и OPC-клиент (OPC client). Первая программа предназначена для взаимодействия с аппаратурой, а вторая получает данные от сервера для последующей обработки и передачи команд управления на сервер.

Механизм организации информационного обмена с реального объекта представляет собой систему, которая состоит из управляющей и исполнительной частей (рис.).

Управляющая часть воздействует на исполнительную часть через исполнительные устройства. Она состоит из одного или более программируемых логических контроллеров (Modicon M340, Premium или Quantum под управлением программы Unity Pro), роль которых заключается в реализации алгоритмов управления в процессе обработки данных, связанных с исполнительной частью, и человеко-машинный интерфейс (Superviseur PcVue), обеспечивающий отладочные функции и управляющие воздействия со стороны человека (оператора) на процесс [8].

В качестве исполнительной части рассматриваются датчики и исполнительные устройства, обеспечивающие связь между исполнительной и управляющей частями. Датчики информируют управляющую часть о состоянии исполнительной части. Они преобразуют физические величины в стандартные электрические сигналы.

Исполнительные устройства изменяют состояние исполнительной части в соответствии с командами, которые формируются управляющей частью.

Информация с контроллера Modicon M340, через коммутатор поступает на сервер OPC. Благодаря протоколу OPC/DCOM осуществляется передача данных разным клиентам.

Сбор и обработку данных можно разделить на несколько шагов, которые представлены в следующем укрупненном алгоритме.

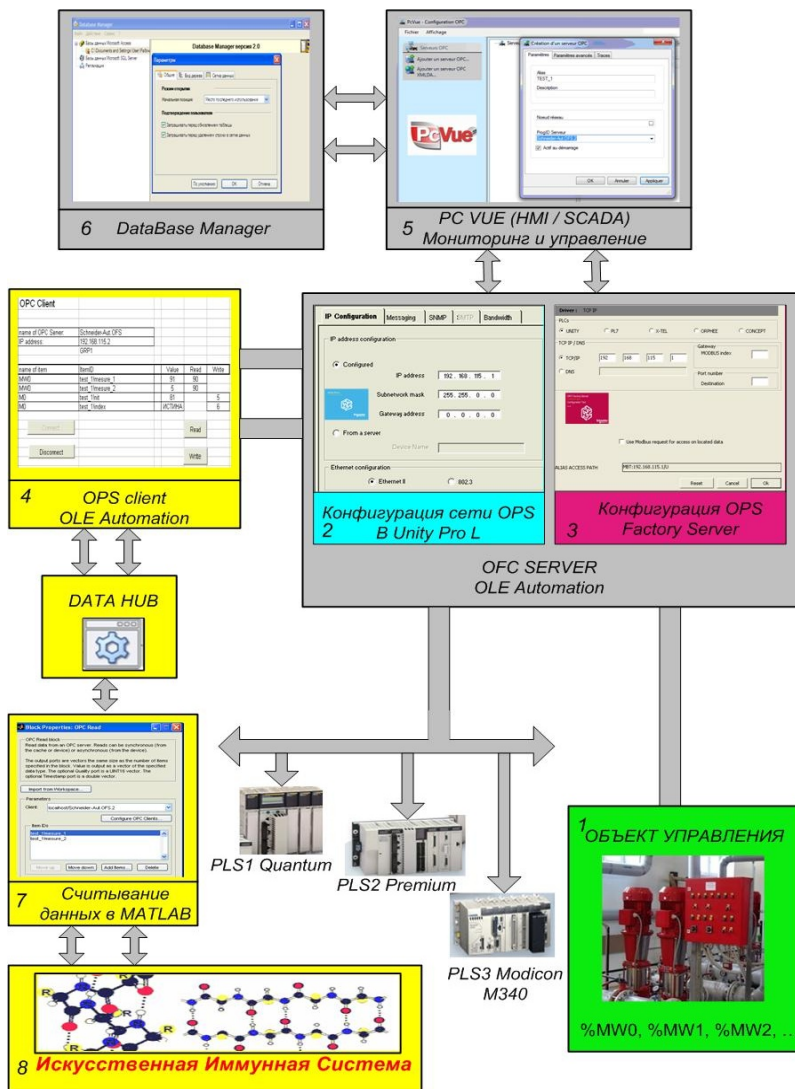


Рис. Интеллектуализация процесса обработки данных на основе оборудования Schneider Electric и подхода ИИС

Алгоритм:

Шаг 1. Сбор данных с реального объекта.

Шаг 2. Локализация данных.

Шаг 3. Организация человеко-машинного интерфейса.

Шаг 4. Передача и обработка данных с помощью подхода ИИС.

Шаг 5. Получение прогноза и принятие решения.

Далее на рисунке представлена структурная схема по интеллектуализации процесса сбора и обработки данных с реального объекта. Система включает в себя несколько независимых компонент, с возможностью их конфигурирования:

1. Объект управления (на примере насосной станции).
2. Формирование OFC Server (Конфигурация OPC в среде Unity Pro).
3. Формирование OFC Server (Конфигурация OPS Factory Server).
4. OPS client (на примере макроса Exel).
5. PC Vue (HMI/Scada) мониторинг и управление данными с объекта управления.
6. DataBase Manager- возможность подключения баз данных к PC Vue.
7. Считывание данных в среде MATLAB (с помощью Data Hub).
8. Анализ и обработка данных с помощью ИИС.

Технология заключается в следующем. Для установки связи с сервером на начальном этапе необходимо осуществить конфигурацию сети с помощью пакета прикладных программ Unity Pro, в ней же реализована программа по управлению промышленным объектом с помощью контроллеров Schneider Electric. Затем конфигурируются основные настройки OPC Factory Server. На следующем этапе осуществляется подключение OPC – client. Далее возможно подключение к программе PC Vue (ARC Informatique), которая отвечает за мониторинг, управление и анализ информации с проектов в области промышленных информационных технологий. Данная программа связана с Database Manager (диспетчер баз данных), который обеспечивает простой и удобный доступ, к любым базам данных типа Access или SQL Server. Затем полученные данные от клиента с помощью Data Hub передаются в MATLAB для считывания и дальнейшей обработки по технологии ИИС [9]. После обработки данных прогнозируется поведение объекта управления, и информация о принятии решения отправляется обратно для выработки управляющего воздействия.

Выводы. Предложенная технология открывает широкий спектр возможностей по организации многостороннего информационного

обмена между интеллектуальной системой управления на основе биологического подхода ИИС и реальным объектом, обеспечивая дополнительные возможности по контролю, диагностике, анализу данных в условиях промышленной эксплуатации.

Достоинством данного подхода является интеллектуализация процесса сбора и обработки данных с динамических промышленных объектов управления, которая сочетает в себе применение современного производственного оборудования и новейших разработок искусственного интеллекта. Технология ИИС позволяет повысить достоверность прогнозируемых процессов за счет применения алгоритмов оценки погрешностей и уменьшения ошибки обобщения на основе анализа гомологичных белков [10].

На разработанное программное обеспечение получено авторское свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности [11].

Список литературы: 1. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению / С.Н. Васильев // Известия Академии Наук. Теория и системы управления. – 2001. – № 1. – С. 5-22. 2. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению / С.Н. Васильев // Известия Академии Наук. Теория и системы управления. – 2001. – № 2. – С. 7-20. 3. Методы современной теории автоматического управления / Под. ред. К.А. Пупкова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2004. – № 5. – 481 с. 4. Дасгунта Д. Искусственные иммунные системы и их применение / Д. Дасгунта // Под ред. А.А. Романюа. – М.: Физматлит, 2006. – 344 с. 5. Castro L.M. Artificial immune systems: A new computational intelligence approach / L.M. Castro, J.I. Timmis. – London: Springer-verlag, 2003. – 357 p. 6. Литвиненко В.И. Искусственные иммунные системы как средство индуктивного построения оптимальных моделей сложных объектов / Литвиненко В.И. // Проблемы управления и информатики. – 2008. – № 3. – С. 43-61. 7. Tarakanov A.O. Formal peptide as a basic of agent of immune networks: from natural prototype to mathematical theory and applications / A.O. Tarakanov // Proc. of the I Int. workshop of central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems (CEEMAS'99). – St. Petersburg, Russia. – 1999. – P. 281-292. 8. Philippe Warin Введение в промышленную автоматизацию. – "Шнейдер Электрик". – Москва, 2005. 9. Самигулина Г.А. Разработка интеллектуальных экспертных систем прогнозирования и управления на основе искусственных иммунных систем / Г.А. Самигулина // Проблемы информатики. – Новосибирск. – 2010. – № 1. – С. 15-22. 10. Samigulina. G. Development of the decision support systems on the basis of the intellectual technology of the artificial immune systems / G. Samigulina // Automatic and remold control. – Springer, 2012. – Vol. 74. – № 2. – P. 397-403. 11. Самигулина Г.А., Самигулина З.И. Разработка интеллектуальной стохастической системы управления на основе иммунносетевого моделирования (программа для ЭВМ). Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права в Комитете по правам интеллектуальной собственности МЮ РК. – Астана, 4 июня 2012. – № 675. – 23 с.

Поступила в редакцию 25.06.2013.

УДК 004.89:004.4:681.5

Інтелектуальний аналіз даних для систем промислової автоматизації на основі штучних імунних систем / Самігуліна Г.А., Самігуліна З.И. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 139 – 145.

Розроблена технологія збору даних з реальних об'єктів промислової автоматизації з використанням устаткування Schneider Electric і організації інформаційного обміну з інтелектуальною системою прогнозування і управління на основі біологічного підходу штучних імунних систем. Лл.: 1. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: інтелектуальна система, штучні імунні системи, аналіз даних, системи промислової автоматизації, устаткування Schneider Electric.

UDC 004.89:004.4:681.5

The intellectual data analysis for industrial automation systems on the basis of artificial immune systems / Samigulina G.A., Samigulina Z.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 139 – 145.

The technology of data gathering from real objects of industrial automation with use of Schneider Electric equipment and the organization of an information exchange with the intellectual system of forecasting and control on the basis of the biological approach of the artificial immune networks is developed. Figs.: 1. Refs.: 11 titles.

Keywords: intellectual system, artificial immune systems, data analysis, systems of industrial automation, Schneider Electric equipment.

УДК 504.05:004.02

И.С. СКАРГА-БАНДУРОВА, канд. техн. наук, доц.,
Технологический институт Восточно-украинского Национального
Университета им. Владимира Даля, Северодонецк

МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ

Предложена новая модель для автоматизации решения задач управления потоком отходов, основанная на методах интервально-параметрического линейного программирования (ИЛП), которая учитывает основные операции обращения с отходами. Общий подход может быть применен к широкому спектру природоохранных задач. Ил.: 1. Библиогр.: 18 назв.

Ключевые слова: модель, автоматизация, управление потоком отходов, метод, интервально-параметрическое линейное программирование, природоохранная задача.

Постановка проблемы. Отходы являются одной из ключевых экологических проблем современности. Проблема обращения с отходами в нашей стране до сих пор целиком не охвачена ни методологическими, ни программными средствами. Очевидно, что ее решение невозможно без использования информационных технологий и математического моделирования, которые позволяют осуществить научно-обоснованный анализ, выявлять скрытые закономерности и использовать результаты для принятия эффективных решений.

Анализ литературы. Проблемам создания математических моделей для реализации оптимальных стратегий обращения с отходами уделено большое внимание [1 – 12], предложены модели оптимизации системы управления отходами [1], модели планирования объемов и загрузки контейнеров [2, 3], оптимизация маршрутов и расписаний [4, 5]. Задачам реализации стратегий управления отходами посвящены работы [10 – 17], в частности, в [10 – 13] предложены модели, основанные на теории нечетких множеств, работы [14 – 15] посвящены исследованию проблем создания моделей для управления отходами в рамках многокритериального целочисленного программирования, [16, 17] – интервального программирования. Большое разнообразие работ в этом направлении обусловлено целым рядом причин, среди которых как необходимость решения комплексных задач управления, так и учет региональных особенностей.

Цель статьи – разработка новой модели реализации комплексной

стратегии управления отходами, учитывающей схему основных потоков, а также нормативно-технические и методические требования по обращению с отходами.

Модель разработана для интеграции следующих вариантов обращения с отходами: обработка отходов с использованием высоких температур, переработка и захоронение. На рис. представлена схема основных потоков движения твердых бытовых отходов (ТБО).

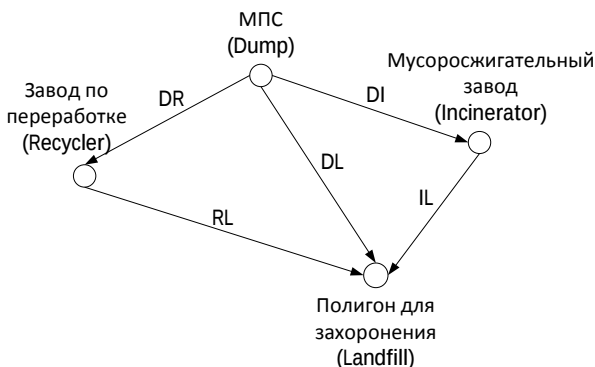


Рис. Схема основных потоков движения твердых бытовых отходов

В простейшем случае комплекс управления ТБО состоит из следующих объектов: узлов распределения отходов – D ; заводов по переработке ТБО – R ; заводов по сжиганию – I ; полигонов для захоронения – L . Целью комплексного управления отходами является минимизация стоимости основных операций:

$$\text{Min } (CT - PT), \quad (1)$$

где: CT – затраты на комплексное управление ТБО за расчётный период; PT – общая выгода, связанная с потоком ТБО за расчётный период.

Условия и ограничения:

1. ТБО, сгенерированные в узле распределения D , должны свободно распределяться по потокам и не превышать ёмкости узла:

$$\sum_i xDI_{di}^{\pm} + \sum_r xDR_{dr}^{\pm} + \sum_l xDL_{dl}^{\pm} \geq G_d^{\pm};$$

$$G_d^{\pm} \leq \text{Cap}D_d^{\pm},$$

где: $xDI_{di}^{\pm}$ – поток ТБО от узла d к i -му заводу по сжиганию ТБО, за расчётный период; $xDR_{dr}^{\pm}$ – поток ТБО от узла d к r -му заводу по переработке ТБО, за расчётный период; $xDL_{dl}^{\pm}$ – поток ТБО от узла d к l -му полигону для захоронения ТБО, за расчётный период; $G_d^{\pm}$ – количество ТБО, образующиеся при генерации d -го узла распределения; $CapD_d^{\pm}$ – ёмкость d -го узла распределения ТБО.

2. Планируемая мощность каждого потока не должна превышать допустимую мощность объекта, к которому направлен поток:

$$\begin{aligned} \sum_d xDI_{di}^{\pm} &\leq CapI_i^{\pm}; \\ \sum_d xDR_{dr}^{\pm} &\leq CapR_r^{\pm}; \\ \sum_d xDL_{dl}^{\pm} + \sum_i xIL_{il}^{\pm} + \sum_r xRL_{rl}^{\pm} &\leq CapL_l^{\pm} + \Delta TC_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm}, \end{aligned}$$

где: $CapI_i^{\pm}$ – допустимая мощность i -го завода по сжиганию; $CapR_r^{\pm}$ – допустимая мощность r -го завода по переработке; $xIL_{il}^{\pm}$ – поток ТБО от i -го мусоросжигательного завода к l -му полигону по захоронению; $xRL_{rl}^{\pm}$ – поток ТБО от r -го завода по переработке к l -му полигону по захоронению; $CapL_l^{\pm}$ – допустимая мощность l -го полигона для захоронения; $\Delta TC_l^{\pm}$ – общее количество расширения вместимости l -го полигона для захоронения.

3. Вместимость всех полигонов по захоронению не должна превышать горизонт планирования:

$$\sum_l y_l^{\pm} \leq y_{hor}^{\pm},$$

где: $y_{hor}^{\pm}$ – горизонт планирования полигонов по захоронению ТБО.

4. Потоки отходов могут быть только положительными:

$$xDI_{di} \geq 0; xDR_{dr} \geq 0; xDL_{dl} \geq 0; xIL_{il} \geq 0; xRL_{rl} \geq 0.$$

Особенностью данной задачи является использование подходов интервального анализа, поскольку такое представление неопределённости является наименее ограничительным и отвечает

широкому классу прикладных задач, в которых часто нет оснований или недостаточно информации для того, чтобы рассматривать эту неопределённость как случайную [18].

С учетом приведенных выше допущений, целевая функция принимает вид:

$$\begin{aligned} \text{Min } f^{\pm} = & \left(\sum_d \sum_i \sum_l \left((t^{\pm} \cdot \text{Dis}_{di}^{\pm} + \text{OCI}_i^{\pm} + \text{EnvCI}_i^{\pm}) \cdot xDI_{di}^{\pm} + \right. \right. \\ & \left. \left. + (t^{\pm} \cdot \text{Dis}_{il}^{\pm} + \text{OCL}_l^{\pm} + \text{FCL}_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm} + \text{EnvCL}_l^{\pm}) \cdot xDI_{di}^{\pm} \cdot k_I^{\pm} \right) \right) + \\ & + \left(\sum_d \sum_r \sum_l \left((t^{\pm} \cdot \text{Dis}_{dr}^{\pm} + \text{OCR}_r^{\pm} + \text{EnvCR}_r^{\pm}) \cdot xDR_{dr}^{\pm} + \right. \right. \\ & \left. \left. + (t^{\pm} \cdot \text{Dis}_{il}^{\pm} + \text{OCL}_l^{\pm} + \text{FCL}_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm} + \text{EnvCL}_l^{\pm}) \cdot xDR_{dr}^{\pm} \cdot k_R^{\pm} \right) \right) + \\ & + \left(\sum_d \sum_l \left((t^{\pm} \cdot \text{Dis}_{dl}^{\pm} + \text{OCL}_l^{\pm} + \text{FCL}_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm} + \text{EnvCL}_l^{\pm}) \cdot xDL_{dl}^{\pm} \right) \right) - \\ & - \left(\sum_d \sum_i (PI_i^{\pm} \cdot xDI_{di}^{\pm}) \right) - \left(\sum_d \sum_r (PR_r^{\pm} \cdot xDR_{dr}^{\pm}) \right) - \left(\sum_d \sum_l (PL_l^{\pm} \cdot xDL_{dl}^{\pm}) \right) \end{aligned}$$

где: $t^{\pm}$ – транспортные расходы на единицу ТБО за 1 км; $\text{Dis}_{di}^{\pm}$ – расстояние от узла d до i -го завода по сжиганию, км; $\text{OCI}_i^{\pm}$ – эксплуатационные расходы i -го объекта на сжигание единицы ТБО; $\text{EnvCI}_i^{\pm}$ – расходы, направленные на снижение вредного воздействия на окружающую среду при сжигании единицы ТБО; $xDI_{di}^{\pm}$ – поток ТБО от узла d к i -му заводу по сжиганию ТБО; $\text{Dis}_{il}^{\pm}$ – расстояние от i -го завода по сжиганию до l -го полигона для захоронения, км; $\text{OCL}_l^{\pm}$ – эксплуатационные расходы l -го объекта на утилизацию единицы ТБО; $\text{FCL}_l^{\pm}$ – стоимость увеличения мощности l -го полигона для захоронения ТБО; $y_l^{\pm}$ – целочисленная переменная для расширения полигона l для захоронения ТБО; $y_l^{\pm} \geq 0$; $\text{EnvCL}_l^{\pm}$ – расходы, направленные на снижение вредного воздействия на окружающую среду при утилизации единицы ТБО; $k_I^{\pm}$ – доля инертных материалов в единице ТБО, отправленной на сжигание, $0 < k_I^{\pm} < 1$; $\text{Dis}_{dr}^{\pm}$ – расстояние от узла d до r -го завода по переработке, км; $\text{OCR}_r^{\pm}$ – эксплуатационные расходы r -го объекта на переработку единицы ТБО; $\text{EnvCR}_r^{\pm}$ – расходы, направленные

на снижение вредного воздействия на окружающую среду при переработке единицы ТБО; $xDR_{dr}^{\pm}$ – поток ТБО от узла d к r -му заводу по переработке ТБО; $Dis_{rl}^{\pm}$ – расстояние от r -го завода по переработке ТБО до l -го полигона для захоронения, км; $k_R^{\pm}$ – доля инертных материалов в единице ТБО, отправленной на переработку, $0 < k_R^{\pm} < 1$; $Dis_{dl}^{\pm}$ – расстояние от узла d до l -го полигона по захоронению ТБО, км; $xDL_{dl}^{\pm}$ – поток ТБО от узла d к l -му полигону для захоронения ТБО; $PI_i^{\pm}$ – доход от единицы ТБО, сжигаемой в расчётный период на i -м заводе; $PR_r^{\pm}$ – стоимость сырья, полученного при переработке единицы ТБО в расчётный период на r -м заводе; $PL_l^{\pm}$ – дотации на утилизацию единицы ТБО на l -м полигоне; d – индекс узла распределения ТБО, $d = 1, 2, \dots, n$; i – индекс завода по сжиганию ТБО, $i = 0, 1, \dots, m$; r – индекс завода по переработке ТБО, $r = 0, 1, \dots, p$; l – индекс полигона для захоронения ТБО, $l = 1, 2, \dots, q$.

При условиях:

$$\begin{aligned} \sum_d \sum_i xDI_{di}^{\pm} + \sum_d \sum_r xDR_{dr}^{\pm} + \sum_d \sum_l xDL_{dl}^{\pm} &\geq \sum_d G_d^{\pm}; \\ \sum_i \sum_d xDI_{di}^{\pm} &\leq \sum_i CapI_i^{\pm}; \\ \sum_r \sum_d xDR_{dr}^{\pm} &\leq \sum_r CapR_r^{\pm}; \\ \sum_i \sum_d (xDI_{di}^{\pm} \cdot k_i^{\pm}) + \sum_r \sum_d (xDR_{dr}^{\pm} \cdot k_R^{\pm}) + \\ + \sum_l \sum_d xDL_{dl}^{\pm} &\leq \sum_l CapL_l^{\pm} + \sum_l (\Delta TC_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm}); \\ xDI_{di}^{\pm}, xDR_{dr}^{\pm}, xDL_{dl}^{\pm} &\geq 0. \end{aligned}$$

Выводы. Результаты моделирования помогают сгенерировать достаточное количество альтернативных решений при различных стратегиях управления отходами, обеспечивая анализ компромиссов между оптимальностью системы и её надёжностью. Данный подход применим к решению различных экологических проблем, где существует неопределенность для ввода параметров.

Список литературы 1. Anderson L.E. A mathematical model for the optimization of a waste management system / L.E. Anderson // SERL Report No. 68-1, University of California, Berkeley,

California, USA: Sanitary Engineering Research Laboratory. – 1968. – P. 13-25. **2. Baetz B.W.** Capacity planning for waste management systems / *B.W. Baetz* // Civil Engineering Systems. – 1990. – 7. – P. 229-235. **3. Beukering P.V.** Waste recovery in Bombay: A socio-economic and environmental assessment of different waste management options / *P.V. Beukering* // Third World Planning Review. – 1997. – 19 (2). – P. 163-187. **4. Hugo M.P.** Optimization of municipal solid waste collection routes based on the containers' fill status data: Master in Informatics and Comp. Eng. / *M.P. Hugo*. – Universidade do Porto. – Spain, 2010. – 104 p. **5. Johansson O.M.** Model Predictive Control for Scheduling and Routing in a Solid Waste Management System / *O.M. Johansson, R. Johansson* // Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea. – 2008. – P. 4481-4486. **6. Powell J.C.** The evaluation of waste management options / *J.C. Powell* // Waste Management and Research. – 2001. – P. 515-526. **7. Salhofer S.** Strategic environmental assessment as an approach to assess waste management systems. Experiences from an Austrian case study / *S. Salhofer, G. Wassermann, E. Binner* // Environmental Modelling & Software. – 2007. – Vol. 22. – P. 610-618. **8. Shamshiry E.** Optimization of municipal solid waste management / *E. Shamshiry, B. Nadi, A.R. Mahmud* // 2010 International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE – 2011. – Vol. 1. – P. 119-121. **9. Shmelev S.E.** Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems / *S.E. Shmelev, J.R. Powell* // Ecological economics. – 2006. – Vol. 59. – P. 115-130. **10. Ailenei D.** A regional approach for optimization of the municipal waste management system using fuzzy sets / *D. Ailenei, V.E. Tartiu* // Romanian journal of regional science. – 2008. – Vol. 2. – №. 2. – P. 134-145. **11. Chang N.-B.** A fuzzy goal programming approach for the optimal planning of metropolitan solid waste management systems / *N.-B. Chang, S.F. Wang* // Journal of Operation Research. – 1997. – P. 303-321. **12. Chang N.-B.** Solid waste management system analysis by multi-objective mixed integer programming model / *N.-B. Chang, S.F. Wang* // Journal of Environmental Management. – 1995. – 48. – P. 17-43. **13. Maimone M.** An application of multi-criteria evaluation in assessing MSW treatment and disposal systems / *M. Maimone* // Waste Management and Research. – 1995. – P. 217-231. **14. Hsieh H.N.** Optimization of solid waste disposal system by linear programming technique / *H.N. Hsieh, K.H. Ho* // Journal of Resource Management and Technology. – 1993. – P. 194-201. **15. Sarika R.** Optimization model for integrated municipal solid waste management in Mumbai, India / *R. Sarika* // Environment and Development Economics. – 2007. – P. 105-121. **16. Huang G.H.** A interval linear programming approach for municipal solid waste management planning under uncertainty / *G.H. Huang, B.W. Baetz, G.G. Patry* // Civil Engineering Systems. – 1992. – P. 319-335. **17. Huang Y.F.** Violation analysis for solid waste management / *Y.F. Huang, B.W. Baetz, G.H. Huang, L. Liu* // Journal of environmental management. – 2002. – P. 1-16. **18. Шарый С.П.** Конечномерный анализ [Электронный ресурс] / *С.П. Шарый*. – М.: Из-во XYZ, 2012 – Режим доступа [www. URL: http://www.nsc.ru/interval/](http://www.nsc.ru/interval/) - 12.05.2013 г.

Поступила в редакцию 22.06.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. ТИ ВНУ Рязанцев А.И.

УДК 504.05: 004.02

Моделі реалізації комплексної стратегії управління відходами / Скарга-Бандурова І.С. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 146 – 152.

Запропоновано нову модель для автоматизації вирішення завдань управління потоком відходів, яка заснована на методах інтервально-параметричного лінійного програмування і враховує основні вимоги поводження з відходами в Україні. Загальний підхід може бути застосований до широкого спектру природоохоронних заходів. Лл.: 1. Бібліогр.: 18 назв.

Ключові слова: модель, автоматизація, управління, потік відходів, метод, інтервально-параметричне лінійне програмування, природоохоронні заходи.

UDC 504.05: 004.02

A model for implementation of integrated solid waste management strategy / Skarga-Bandurova I.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 146 – 152.

The model for automation of the waste flow control was proposed. It grounded on the methods of interval-parameter linear programming and was developed according to the requirements of the legislation of Ukraine. The general approach is applicable to a wide range of environmental problems. Figs.: 1. Refs.: 18 titles.

Keywords: model, automation, flow control of waste, the method of interval-parametric linear programming, environmental problems.

УДК 004.825

Б.Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
М.В. ИВАНОВА, магистр, НТУ "ХПИ"

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Приведена структура экспертной системы (ЭС), показано место лингвистического обеспечения в составе системы. Предложена структура знаний, которые используются в процессе коммуникативного взаимодействия пользователей и ЭС. Разработана методика создания лингвистического обеспечения ЭС. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: экспертная система, лингвистическое обеспечение, структура знаний.

Анализ литературы и постановка проблемы. Исследования по автоматизации процессов связаны с бурным развитием вычислительной техники, осознанием того, что ЭВМ, как средства обработки информации, могут сыграть значительную роль в различных областях применения [1].

К настоящему времени накоплен определенный опыт разработки информационных систем, осуществляющих интерпретацию каких-либо данных, рекомендации и т.д. Проведем краткий обзор этих систем.

ВААЛ – предназначена для успешного решения задач маркетинговой коммуникации, когда обычно требуется ответить на ряд контрольных вопросов относительно вербальных элементов коммуникации [2].

Система позволяет: оценивать неосознаваемое эмоциональное воздействие фонетической структуры текстов и отдельных слов на подсознание человека; генерировать слова с заданными фоносемантическими характеристиками; оценивать неосознаваемое эмоциональное воздействие фонетической структуры текстов на подсознание человека; задавать характеристики желаемого воздействия и целенаправленно корректировать тексты по выбранным параметрам в целях достижения необходимого эффекта воздействия; оценивать звуко-цветовые характеристики слов и текстов; производить словарный анализ текстов; осуществлять полноценный контент-анализ текста по большому числу специально составленных встроенных категорий и категорий, задаваемых самим пользователем; производить выделение тем, затрагиваемых в текстах, и осуществлять на основе этого автоматическую категоризацию; производить эмоционально-лексический анализ текстов; настраиваться на различные социальные и

© Б.Н. Судаков, М.В. Иванова, 2013

профессиональные группы людей, которые могут быть выделены по используемой ими лексике; производить вторичный анализ данных путем их визуализации, факторного и корреляционного анализа [3]. Схема представления знаний основана на фреймах, а механизм вывода – на последовательном порождении и проверках. Система реализована в виде набора DLL-библиотек, которые подключаются к наиболее популярному текстовому процессору Word for Windows.

Система поддержки принятия диагностических решений – СППДР предложена для диагностики комы, ишемической болезни сердца, острого живота. Содержит алгоритмы экспертной классификации для отсеивания неинформативных признаков [4]. Имитирует выбор человеком наиболее информативных признаков и их комбинаций. Задача системы, прежде всего, состоит в том, чтобы ставить пользователю наиболее информативные вопросы и накапливать знания по целым группам возможных ситуаций. Каждый из признаков имеет несколько градаций (в среднем – 4), которые устанавливает и ранжирует эксперт [5]. Разработанный алгоритм классификации признаков позволяет построить базу знаний (около 2000 возможных ситуаций) за 12 ч. работы эксперта с системой, при этом эксперту приходится классифицировать только около 400 различных ситуаций, так как программа сокращает перебор.

DRUG INTERACTION CRITIC – помогает врачам решать, как назначать лекарства на фоне других лекарств. Система определяет как нежелательные, так и благоприятные взаимодействия, объясняет, почему взаимодействия происходят, отвечает на вопросы о взаимодействиях и предлагает корректирующие действия для устранения побочных эффектов. Является БЗ о типах лекарств. Организована в виде иерархии фреймов, содержащих информацию, связанную с конкретными лекарствами, например об их химическом родстве, избирательном накоплении в конкретных органах и тканях и характеристиках взаимодействия. Знания о механизмах взаимодействия организованы посредством фреймов в соответствии с одним из четырех типов механизмов: физико-химическим, фармакодинамическим, фармакокинетическим и физиологическим. Система содержит ограниченный интерфейс на ЕЯ, включающий орфографический корректор. Реализована на языке Пролог в Политехническом институте штата Виргиния на уровне исследовательского прототипа.

IBM Watson – компьютерная система IBM Watson основана на технологии DeepQA и предназначена для извлечения и анализа информации из текстов на естественном языке, а также для быстрого поиска ответов на вопросы. DeepQA основана на статистическом подходе

в компьютерной лингвистике, то есть для построения когнитивных систем используются мощности вычислительной техники. Схема управления системы обеспечивает некую разновидность прямой и обратной цепочек рассуждений, реализованных применением плана действий, причем каждое предполагаемое утверждение помещается в план в соответствии с приписанным ему приоритетом [6].

Проведенный обзор и опыт эксплуатации существующих информационных систем позволяет сделать следующие выводы:

1. Автоматизация различных процессов может быть реализована в двух направлениях: первое – связано с автоматизацией обработки данных. Второе – призвано оказать помощь в осмысливании большого потока информации о чем-либо за счет выделения полезных признаков, накопления огромного опыта экспертов с наглядным отражением результатов анализа.

2. Задачи относятся к слабоструктурированным задачам, решение которых осуществляется в условиях неопределенности. Знания, закладываемые в систему, отражают субъективное восприятие экспертом и являются в основном эвристическими, неполными и противоречивыми [7].

3. "Старение" моделей, заложенных в систему, требует постоянного их совершенствования вследствие возникновения новых методик, препаратов и т.д. Это приводит к необходимости проведения постоянных доработок программного обеспечения, что является весьма проблематичным в системах, алгоритмы которых построены по "жесткому" принципу.

4. Отсутствует единый подход к формализации знаний о предметной области. Каждый разработчик использует те или иные формализмы с учетом специфики решаемых задач.

5. Ограничены возможности взаимодействия с разработанными системами непрограммирующих пользователей на всех этапах.

6. Общение с ЭС осуществляют различные типы пользователей (оператор, эксперт, когнитолог, администратор). Существующие методики разработки ЛО направлены на создание собственных языковых средств для каждого типа пользователей, а также индивидуальных словарей. Такой подход к разработке ЛО приводит к отсутствию системности, значительному дублированию языковых единиц текста, а также словарной информации, затруднению общения пользователей между собой, ведет к неоправданному расходованию ресурсов вычислительных средств на реализацию языка.

Это объясняется следующими причинами:

– применение неестественных для человека языков общения;

– сложность и трудоемкость подготовки исходных данных, а отсюда и длительность решения задач;

– отсутствие в ряде случаев обратной связи от ЭВМ к пользователю, что не позволяет контролировать состояние системы и порядок решения задач;

– изолированность задач приводит к тому, что сценарии диалога и их языковое содержание повторяются во многих задачах, что увеличивает требуемый объем памяти ЭВМ [8].

С учетом изложенного, можно заметить, что в рамках традиционного подхода к созданию информационных систем намечился некоторый тупик в разработке математического, программного и лингвистического обеспечения этих систем. Во многом это связано с общей структурой знаний, которые используются в процессе коммуникативного взаимодействия пользователей и ЭС [9]. По мнению авторов можно выделить пять уровней знаний:

Зн1 – знания пользователей;

Зн2 – материализованные знания (руководства, инструкции и т.д.);

Зн3 – поле знаний (полуформализованное описание Зн1 и Зн2 в виде рисунков, таблиц, схем, сетей, диаграмм, описаний на ограниченном естественном языке);

Зн4 – формализованные знания на языках представления знаний;

Зн5 – база знаний на машинных носителях информации.

Данную концепцию иллюстрирует рис. 1.

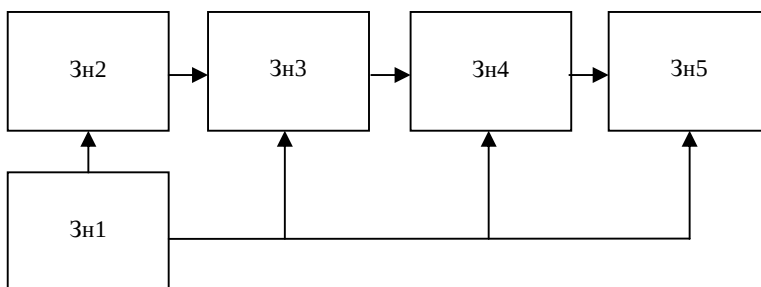


Рис. 1. Общая структура знаний

Совокупность Зн1 и Зн2 образуют знания о предметной области. В ЭС используется то, что удалось извлечь и формализовать из Зн1 и Зн2. Для взаимодействия пользователей с ЭС важным оказывается разработка поля знаний, когда создается полуформализованное описание решаемых задач, основных понятий предметной области и связей между ними. В

дальнейшем структура знаний представляется в виде формализованного описания Зн4.

На каждом из перечисленных уровней знаний используются свои языки. На уровнях Зн1 и Зн2 используется, как правило, профессиональный естественный язык – единственный метаязык, позволяющий описать практически всю предметную область. Уровень знаний Зн4 описывается с использованием некоторого языка представления знаний. В качестве языка на уровне Зн5 выступает внутренний язык (ВЯ) компьютера.

Цель статьи. Разработать методику, направленную на разработку единого языка общения пользователя системы, ограниченного синтаксически, семантически и прагматически рамками решаемой задачи.

Основные положения этой методики приведены на рис. 2 и сводятся к следующему.

На основании задач, решаемых пользователями при взаимодействии с системой, а также требований к лингвистическому обеспечению обосновывается выбор языков взаимодействия, которые необходимо иметь в системе [10]. Проведенный анализ показал, что наиболее целесообразно иметь в системе один язык взаимодействия, состоящий из двух подмножеств: подмножества ограниченного естественного языка (ОЕЯ) и подмножества ВЯ. Преобразование одного подмножества в другое осуществляет транслятор, который в дальнейшем будем именовать лингвистическим процессором (ЛПП).

Исходя из требований и принципов построения ЛО, разрабатывается общий подход к структуризации знаний о предметной области (Э5) и производится семантическая классификация понятий ПО (Э6), на базе которых формируется словарь (Э7).

Используя выбранный подход к представлению знаний, синтезируются языковые структуры (Э8), позволяющие адекватно описывать ПО.

Для формального описания конкретных языковых выражений выбирается математический аппарат (формальные грамматики и их модификации, деревья синтаксического подчинения и др.), позволяющий построить модель языка (Э9).

После разработки модели языка (Э10) с использованием выбранного аппарата оценивается качество лингвистического обеспечения (Э11), сложность алгоритмов, а также соответствие ЛО предъявленным требованиям. Если оценка качества не удовлетворяет предъявленным требованиям, то уточняется математический аппарат для описания языка

либо изменяются требования к ЛО, что позволит создать систему взаимодействия для ЭС.

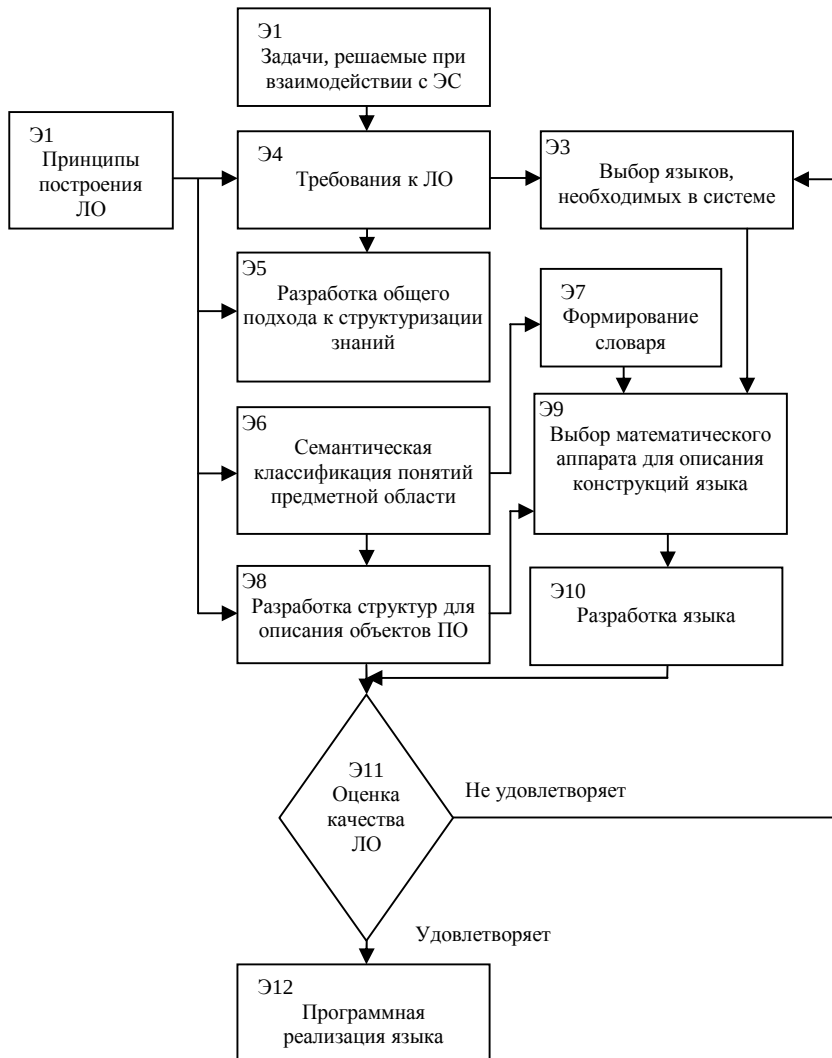


Рис. 2. Методика разработки лингвистического обеспечения

Завершающим этапом разработки ЛО является программная реализация предложенного языка взаимодействия (Э12).

Вывод. Предложенная методика разработки лингвистического обеспечения, позволяет осуществить выбор необходимого языка в системе, математически точно описать язык взаимодействия и адекватно отразить формально-логические основы моделей знаний о предметной области.

Список литературы: 1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 30 с. 2. Баїмаков А.І. Інтелектуальні інформаційні технології: Учеб. посібник / А.І. Баїмаков, І.А. Баїмаков. – М.: Изд-во МГТУ ім. Н.Э. Баумана, 2005. – 398 с. 3. Гуцин А.Н. Экспертные системы: учебное пособие. Балт. гос. техн. ун-т / А.Н. Гуцин, И.А. Радченко. – СПб., 2007. – 154 с. 4. Джозеф Джарратано Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Джарратано Джозеф, Гари Райли. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1152 с. 5. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект / А.А. Жданов. – М.: Бином, 2009. – 154 с. 6. Люгер Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: пер. с англ. / Дж. Люгер. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с. 7. Стюарт Рассел, Питер Норвиг Искусственный интеллект: современный подход (AIMA) / Стюарт Рассел, Питер Норвиг. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1424 с. 8. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень / С.О. Субботін // Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с. 9. Шамис А.Л. Поведение, восприятие, мышление: проблемы создания искусственного интеллекта / А.Л. Шамис. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 132 с. 10. Freeman J. Argument Structure. Lawrence Erlbaum Associates / J. Freeman. – 2005. – 215 с.

Поступила в редакцию 22.06.2013

После доработки 13.11.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Серков А.А.

УДК 004.825

Методика розробки лінгвістичного забезпечення експертної системи / Судаков Б.М., Іванова М.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 153 – 159.

Наведено структуру експертної системи (ЕС), показано місце лінгвістичного забезпечення у складі системи. Запропоновано структуру знань, які використовуються в процесі комунікативної взаємодії користувачів і ЕС. Розроблено методику створення лінгвістичного забезпечення ЕС. Лл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: експертна система, лінгвістичне забезпечення, структура знань.

UDC 004.825

Methods of development of linguistic expert system / Sudakov B.N., Ivanova M.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Informatics and Modeling. - Kharkov: NTU "KPI". – 2013. – № 19 (992). - P. 153 – 159.

The structure of the expert system (ES), the place of the linguistic support in the system. The structure of knowledge used in the process of communicative user interaction and ES. The method of creating linguistic support ES. Figs.: 2. Refs.: 10 titles.

Keywords: expert system, linguistic support, structure of knowledge.

УДК 539.3

Б.А. ХУДАЯРОВ, д-р техн. наук, зав. каф., Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент,

Р. АБДИКАРИМОВ, доц., Ташкентский финансовый институт, Ташкент

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ВЯЗКОУПРУГИХ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

В работе на основе интегральных моделей разработаны и развиты расчетные математические модели для исследования нелинейных колебаний вязкоупругих пластин, круговой цилиндрической панели и цилиндрической оболочки с переменной жесткостью. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: математическая модель, переменная жесткость, вязкоупругие системы, нелинейные колебания, задача динамики.

Постановка проблемы и анализ литературы. Пластины переменной толщины широко используются в качестве подпорных стенок железобетонных зданий, прямоугольного элемента резервуаров, контрфорсных плотин, бетонного покрытия для укрепления взлетной полосы аэропорта, фундаментных плит сооружений и несущих элементов метрополитена, элементов подземных сооружений. Также они широко внедрены и в кораблестроение, судостроение, самолетостроение, и многих других отраслях техники и промышленности. В связи с интенсивным развитием промышленности, большое развитие приобрела механика композитных материалов. Интерес к проблемам деформирования и прочности пластин, панелей и оболочек из композиционного материала связан с тем, что они представляют собой основные несущие элементы конструкций. Использование новых композиционных материалов в инженерной практике, а также проектирование и создание прочных, легких и надежных конструкций требует совершенствования механических моделей деформируемых тел и разработки более совершенных математических моделей их расчета с учетом реальных свойств конструкционных материалов и их геометрии [1 – 4]. Поэтому разработка эффективных алгоритмов, которые используются для решения нелинейных задач динамической устойчивости элементов тонкостенных конструкций из композиционных материалов, является актуальной задачей.

В последнее время большое внимание уделяется изучению динамики существенно нелинейных вязкоупругих механических систем.

© Б.А. Худаяров, Р. Абдикаримов, 2013

Начало теоретическим исследованиям нелинейных колебаний упругих оболочек положено Э.И. Григолюком [5] и Е. Рейсснером [6], которые разработали основную нелинейную модель, используя приближенные вариационные методы. В качестве разрешающих уравнений в данных работах использовались геометрически нелинейные уравнения теории тонких оболочек, а динамический прогиб и функции напряжений в срединной поверхности аппроксимировались одночленными выражениями. Для определения обобщенного перемещения получено нелинейное дифференциальное уравнение, приближенное решение которого определялось с помощью метода Бубнова-Галеркина и метода возмущений. Последующие исследования нелинейных собственных и вынужденных колебаний упругих систем выполнены многими авторами. Наиболее существенные результаты получены С.А. Амбарцумяном, Н.Х. Арутюняном, Г.Е. Багдасаряном, Ф.Б. Бадаловым, А.Е. Богдановичем, В.В. Болотиным, А.С. Вольмиром, И.И. Воровичем, К.З. Галимовым, В.Ц. Гнуни, Я.М. Григоренко, А.Н. Гузем, А.А. Ильюшиным, В.С. Калининым, В.Г. Карнауховым, Г. Каудерером, Я.Ф. Каюком, И.Г. Кельдибековым, И.А. Кийко, Н.А. Кильчевским, М.С. Корнишиным, А.С. Кравчуком, В.Д. Кубенко, В.А. Крыско, Г.В. Мишенковым, Х.М. Муштари, Ю.В. Петровым, Г.С. Писаренко, Е.И. Шемякиным, А.Н. Филатговым, Л.Г. Донеллом, Дж. Навинским, Е. Рейснером и др.

Целью данной работы является разработка комплекса математических моделей в форме систем интегро-дифференциальных уравнений с сингулярными ядрами, численных алгоритмов и компьютерных программ для решения широкого класса задач нелинейных колебаний и динамической устойчивости вязкоупругих тонкостенных элементов конструкций с переменной жесткостью.

Постановка задачи. Построим математическую модель задачи о нелинейном колебании вязкоупругой изотропной пластины и оболочек переменной толщины (рис.) в геометрически нелинейной постановке по кинематической гипотезе Кирхгофа-Лява.

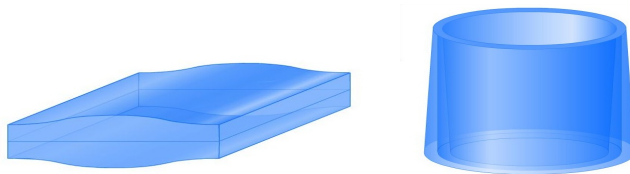


Рис. Вязкоупругая изотропная пластина и оболочка переменной толщины

Интегральную модель Больцмана-Вольтерра, которая характеризует закон изменения между напряжениями $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$ и деформациями $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ в срединной поверхности, запишем в интегральном виде [7]

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} (1-\Gamma^*) (\varepsilon_x + \mu \varepsilon_y); \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} (1-\Gamma^*) (\varepsilon_y + \mu \varepsilon_x);$$

$$\sigma_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)} (1-\Gamma^*) \varepsilon_{xy}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; Γ^* – интегральный оператор; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ – компоненты конечной деформации.

Связь между деформациями в срединной поверхности $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ и перемещениями u, v, w по направлениям x, y, z имеют вид [8]:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} - k_x w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} - k_y w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2;$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y}.$$

Изгибающие и крутящие моменты элемента оболочки примем в виде [6]:

$$M_x = -D (1-\Gamma^*) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad x \leftrightarrow y, \quad H = -D (1-\mu) (1-\Gamma^*) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad (3)$$

где $D = \frac{Eh^3(x, y)}{12(1-\mu^2)}$ – переменная цилиндрическая жесткость оболочки.

Уравнения движения элемента вязкоупругой изотропной оболочки имеют вид [8]:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} + p_x - \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \quad \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} + p_y - \rho h \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0;$$

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + k_x N_x + k_y N_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial y} \right) +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left(N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} + N_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) + q - \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0.$$

Здесь N_x, N_y и N_{xy} – усилия, отнесенные к единице длины сечения

оболочки:

$$N_x = \sigma_x h, \quad x \leftrightarrow y, \quad N_{xy} = \gamma_{xy} h, \quad (5)$$

p_x, p_y и q – интенсивность заданных внешних нагрузок, приложенных к элементу по направлениям x, y и z соответственно.

Подставляя (3) и (5) в (4), получим систему нелинейных интегро-дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами вида:

$$\begin{aligned} (1-\Gamma^*) \left[h \left(\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x} + \mu \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial x} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} (\varepsilon_x + \mu \varepsilon_y) + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial h}{\partial y} \gamma_{xy} \right] + \\ + \frac{1-\mu^2}{E} p_x - \rho h \frac{1-\mu^2}{E} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \\ (1-\Gamma^*) \left[h \left(\frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y} + \mu \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial y} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x} \right) + \frac{\partial h}{\partial y} (\varepsilon_y + \mu \varepsilon_x) + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial h}{\partial x} \gamma_{xy} \right] + \\ + \frac{1-\mu^2}{E} p_y - \rho h \frac{1-\mu^2}{E} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0; \\ (1-\Gamma^*) \left\{ \left[D \nabla^4 w + 2 \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 w + 2 \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 w + \nabla^2 D \nabla^2 w - \right. \right. \\ \left. \left. - (1-\mu) \left(\frac{\partial^2 D}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 D}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \right] + \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[(k_x + \mu k_y) \varepsilon_x + (\mu k_x + k_y) \varepsilon_y \right] \right\} + \\ + \frac{\partial h}{\partial y} \left[\frac{\partial w}{\partial y} (1-\Gamma^*) (\varepsilon_y + \mu \varepsilon_x) + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial x} (1-\Gamma^*) \gamma_{xy} \right] + q - \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом (2) система уравнений (6) относительно перемещений u, v , w примет вид:

$$\begin{aligned} (1-\Gamma^*) \left\{ h \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - (k_x + \mu k_y) \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial h}{\partial x} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \mu \frac{\partial v}{\partial y} - (k_x + \mu k_y) w + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right\} + p_x - \frac{(1-\mu^2) \rho h}{E} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \\ (1-\Gamma^*) \left\{ h \left[\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - (k_y + \mu k_x) \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \right. \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \Bigg] + \frac{\partial h}{\partial y} \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \mu \frac{\partial u}{\partial x} - (k_y + \mu k_x) w + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right) \Bigg] + p_y - \frac{(1-\mu^2) \rho h}{E} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0; \\
 & (1-\Gamma^*) h^3 \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + 3(1-\Gamma^*) \left[2h \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + h^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right] \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \\
 & + 6(1-\Gamma^*) h^2 \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right) + 6(1-\Gamma^*) h^2 \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right) + \\
 & + 3(1-\Gamma^*) \left[2h \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 + h^2 \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right] \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \\
 & + 6(1-\mu)(1-\Gamma^*) \left[2h \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial y} + h^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} \right] \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - \\
 & - 12(1-\Gamma^*) h \left[(k_x + \mu k_y) \frac{\partial u}{\partial x} + (\mu k_x + k_y) \frac{\partial v}{\partial y} - (k_x^2 + k_y^2 + 2\mu k_x k_y) w + \right. \\
 & \left. + \frac{k_x + \mu k_y}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{k_y + \mu k_x}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] - 12 \frac{\partial w}{\partial x} (1-\Gamma^*) \left\{ h \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - (k_x + \mu k_y) \frac{\partial w}{\partial x} + \right. \right. \\
 & \left. + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial h}{\partial x} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \right. \\
 & \left. + \mu \frac{\partial v}{\partial y} - (k_x + \mu k_y) w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right) \Bigg\} - \\
 & - 12 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} (1-\Gamma^*) h \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \mu \frac{\partial v}{\partial y} - (k_x + \mu k_y) w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] - \\
 & - 12 \frac{\partial w}{\partial y} (1-\Gamma^*) \left\{ h \left[\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - (k_y + \mu k_x) \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \right. \right. \\
 & \left. + \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial h}{\partial y} \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \mu \frac{\partial u}{\partial x} - \right. \\
 & \left. - (k_y + \mu k_x) w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right) \Bigg\} -
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$-12 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} (1-\Gamma^*) h \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \mu \frac{\partial u}{\partial y} - (k_y + \mu k_x) w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] -$$

$$-12 (1-\mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} (1-\Gamma^*) h \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{12 (1-\mu^2) \rho h}{E} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{12 (1-\mu^2)}{E} q.$$

Заметим, что система нелинейных интегро-дифференциальных уравнений движения вязкоупругой оболочки (7) является достаточно общей, из которой в частном случае можно получить уравнения движения вязкоупругих пластин, пологих и цилиндрических оболочек постоянной и переменной толщины.

Таким образом, математическая модель в геометрически нелинейной постановке задач динамики вязкоупругих изотропных пластин, панелей и оболочек с переменной жесткостью описывается, ИДУ в частных производных вида (7), при соответствующих начальных и граничных условиях.

Выводы. На основе интегральных моделей разработаны обобщенные математические модели нелинейных задачи динамики вязкоупругих изотропных пластин, панелей и оболочек с переменной жесткостью. Разработаны и развиты математические модели задач о нелинейных колебаниях и динамической устойчивости пластин, круговой цилиндрической панели, пологой оболочки двоякой кривизны и цилиндрических оболочек с симметричной и несимметричной толщиной.

Список литературы. 1. Верлань А.Ф. Математическое моделирование флаттера летательных аппаратов. Монография // А.Ф. Верлань, Б.А. Худаяров. – Из-во "Palmarium Academic Publishing". – Saarbrücken, Germany, 2012. – 310 с. 2. Верлань А.Ф. Компьютерное моделирование флаттера вязкоупругих ортотропных пластин в сверхзвуковом потоке газа / А.Ф. Верлань, Б.А. Худаяров, Э.Ф. Файзибоев, З.У. Юлдашев // Вестник НТУ "ХПИ". – 2012. – № 62 (968). – С. 8-17. 3. Верлань А.Ф. Численное моделирование нелинейных задач динамики вязкоупругих систем с переменной жесткостью / А.Ф. Верлань, Р.А. Абдикаримов, Х. Эшматов // Электронное моделирование. – 2010. – Т. 32. – № 2. – С. 3-14. 4. Эшматов Х. Кмпьютерное моделирование задачи о нелинейном флаттере вязкоупругой пластины из композиционного материала с сосредоточенными массами / Х. Эшматов, Д.А. Ходжаев, Б.Х. Эшматов, О.Р. Кучаров // Электронное моделирование. – 2010. – Т. 32. – № 5. – С. 3-10. 5. Григолюк Э.И. Устойчивость оболочек / Э.И. Григолюк, В.В. Кабанов. – М.: Наука, 1978. – 360 с. 6. Reissner E. On transverse vibration of thin shallow shells / E. Reissne // J. Quart. Appl. Math. – 1955. – Vol. 13. – № 2. – P. 169-180. 7. Ильюшин А.А. Основы математической теории термовязкоупругости // А.А. Ильюшин, Б.Е. Победоря. – М.: Наука, 1970. – 280 с. 8. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А.С. Вольмир. – М.: Наука. – 1972. – 432 с.

Поступила в редакцию 08.08.2013

УДК 539.3

Математична модель задачі динаміки в'язкопружних систем із змінною жорсткістю / Худаяров Б.А., Абдикаримов Р. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 160 – 166.

У роботі на основі інтегральних моделей розроблені і розвинені розрахункові математичні моделі для дослідження нелінійних коливань в'язкопружних пластин, кругової циліндрової панелі і циліндрової оболонки із змінною жорсткістю. Іл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: математична модель, змінна жорсткість, в'язкопружні системи, нелінійні коливання, задачі динаміки.

UDC 539.3

Mathematical model problem of dynamics viscoelastic systems with variable rigidity / Khudayarov B.A., Abdikarimov R. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 160 – 166.

In the work on the basis of integral models developed mathematical model for research of nonlinear vibrations of viscoelastic plates, circular cylindrical panel and cylindrical shell with variable rigidity. Figs.: 1. Refs.: 8 titles.

Keywords: mathematical model, variable rigidity, viscoelastic systems, nonlinear oscillations, problem of dynamics.

УДК 004.9:61

Д.Х. ШТОФЕЛЬ, канд. техн. наук, ст. викл., ВНТУ, Вінниця,
Л.Г. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Вінниця,
С.М. ЗЛЕПКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ВНТУ, Вінниця,
Л.В. КОСМАЧ, бакалавр, ВНТУ, Вінниця

МЕДИЧНА СИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ ТА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У статті розглянуто проблему побудови медичних інформаційних систем для автоматизованого прийняття та підтримки прийняття рішень, а також інформаційного супроводження лікувально-діагностичного процесу. Визначено шляхи підвищення рівня інформатизації професійної діяльності в галузі охорони здоров'я. Згідно із запропонованим підходом розроблено узагальнену структуру медичної системи. Іл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: медична інформаційна система, система прийняття та підтримки прийняття рішень, лікувально-діагностичний процес, інформатизація, охорона здоров'я.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційні технології, які застосовуються в системі охорони здоров'я (ОЗ), відчутно впливають на ефективність діагностики та лікування та загальну якість медичного обслуговування населення [1, 2]. Проте на сьогодні не існує універсальних медичних інформаційних систем (МІС), які б повністю забезпечували супроводження лікувально-діагностичного процесу (ЛДП) та зв'язок між медичними закладами. Актуальним завданням української системи ОЗ є максимальна інформатизація медичних закладів всіх рівнів, створення уніфікованої інформаційної мережі з можливістю швидкої обробки і передачі даних, зокрема обміну досвідом [1]. Важливою проблемою розробки МІС є пошук рішень, які б дозволяли забезпечити зручне опрацювання кожного конкретного випадку, ефективний аналіз даних, індивідуальний підхід та повноцінне використання найновіших досягнень медичної науки.

Аналіз літератури. В [3] детально розглянуто систему інформаційного забезпечення медичної науки як соціально-комунікаційної моделі розповсюдження медичних інноваційних знань, що зумовлює необхідність доступу до науково-медичної інформації всіх закладів ОЗ. Надзвичайно важливою для розвитку медицини є кооперація й обмін інформацією між різними установами ОЗ [2], при цьому постає питання стандартизації та сумісності МІС. А єдиний медичний

інформаційний простір є необхідною складовою ефективного управління ресурсами галузі ОЗ та якістю надання медичної допомоги [4]. Більшість існуючих МІС не забезпечують всебічного інформаційного супроводження ЛДП, тому постає задача розробки універсальної структури МІС. Найбільш раціональною при побудові МІС є модульна структура [5]. Недоліком багатьох МІС є або вузька спеціалізація [6], або редукований підхід до їх побудови. МІС повинна відповідати інформаційним стандартам. Важливим напрямком розвитку медичного інформаційного простору є телемедицина [7]. Відомі системи опрацювання медичних даних, при побудові яких, зокрема, використовуються технології сховищ даних та web-технології [8]. В [9] сформульовано задачі та функції компонентів інформаційних технологій для МІС. Найпотужнішою розробкою на українському ринку є МІС "Доктор Елекс" [2, 10], однак ця система не забезпечує підтримку прийняття рішень лікарем та прогнозування розвитку захворювань.

Мета статті – формулювання підходу до побудови і розроблення узагальненої архітектури універсальної медичної інформаційної системи прийняття та підтримки прийняття рішень.

Підхід до побудови МІС. В роботі було використано засади інтегрованого підходу [9], що передбачає комплексне розроблювання інформаційного, математичного, організаційного, технічного та програмного забезпечення МІС. Універсальна медична система повинна забезпечувати не лише автоматизацію та інформаційний супровід діяльності медичної установи, а й забезпечувати доступ до медичної наукової інформації. Забезпечити це можна двома шляхами:

1) використання експертних баз даних (БД) і математичних моделей (ММ) розвитку захворювань та побудованих на їх основі систем підтримки прийняття рішень лікарем;

2) використання системи телемедичних консультацій та консилиумів як в режимі реального часу, так і off-line.

Як перший, так другий підхід не є вичерпними і при практичному використанні доповнюють одне одного, що підвищує в цілому якість та ефективність надання медичної допомоги населенню.

Система повинна забезпечувати науково-технологічний підхід до ЛДП з урахуванням індивідуальних особливостей кожного пацієнта. У зв'язку з цим вводяться підсистеми прийняття та підтримки прийняття рішень лікарем, які взаємодіють з БД діагнозів. Необхідно зазначити, що такі підсистеми повинні давати рекомендації з представленням лікарів обчислених значень достовірності встановлення діагнозу або ефективності призначеного лікування з урахуванням сумісності

лікувально-діагностичних процедур, медикаментозних впливів та сукупності факторів ризику ЛДП. Для підвищення достовірності прийнятого автоматизованого рішення вводиться підсистема контролю адекватності прийнятого рішення (в т. ч. ухваленого лікарем) поставленому діагнозу.

Обов'язковим елементом МІС є автоматизоване робоче місце (АРМ) лікаря, яке забезпечує достатній доступ до ресурсів МІС з додатковою системою захисту від неправомірних впливів та збереженням даних. Крім того, АРМ повинно забезпечувати зв'язок з адміністративною частиною МІС, що включає інформаційне забезпечення реєстрації, стаціонару, інформаційно-аналітичного відділу, АРМ головного лікаря тощо.

Архітектура МІС. Розроблена в роботі на основі запропонованого підходу узагальнена функціональна структура універсальної МІС прийняття та підтримки прийняття рішень представлена на рис.

Підсистема реєстрації і збору медичних даних забезпечує сумісність МІС з медичним діагностичним обладнанням, комп'ютеризованими тестовими методиками та іншими джерелами медичної інформації. *Підсистема первинної обробки даних* забезпечує статистичну обробку одержаних діагностичних даних. *Підсистема вторинної обробки даних* виконує аналіз одержаних результатів, визначає динаміку зміни фізіологічних показників та інші діагностично значимі характеристики медичної інформації.

Підсистема прийняття рішень забезпечує автоматизоване прийняття рішень на основі чіткої відповідності діагностичних показників та вмісту БД діагнозів із наданням рекомендацій щодо лікування. *Підсистема підтримки прийняття рішень* в разі відсутності чіткої відповідності на основі БД діагнозів визначає можливі варіанти рішень та рекомендації лікареві щодо уточнення діагнозу. *Підсистема контролю адекватності прийнятого рішення* здійснює перевірку діагностичного рішення (як машинного, так і ухваленого лікарем) за додатковими параметрами. На цьому ж етапі враховуються індивідуальні особливості пацієнта, що впливають на хід ЛДП. *Підсистема прогнозування розвитку захворювання* використовує оновлювану БД ММ перебігу хвороб, що дозволяє використовувати найновіші досягнення світової медицини для передбачення стану пацієнта. *Підсистема експертних рішень* на основі БД достовірних прецедентів ухвалює відповідні рішення. *Підсистема телемедичних консультацій і підсистема оформлення та збереження рішень та звітів* забезпечують зв'язок та звітність. Індивідуальна медична електронна карта пацієнта дозволяє зберігати особисті дані пацієнта на магнітному носії.

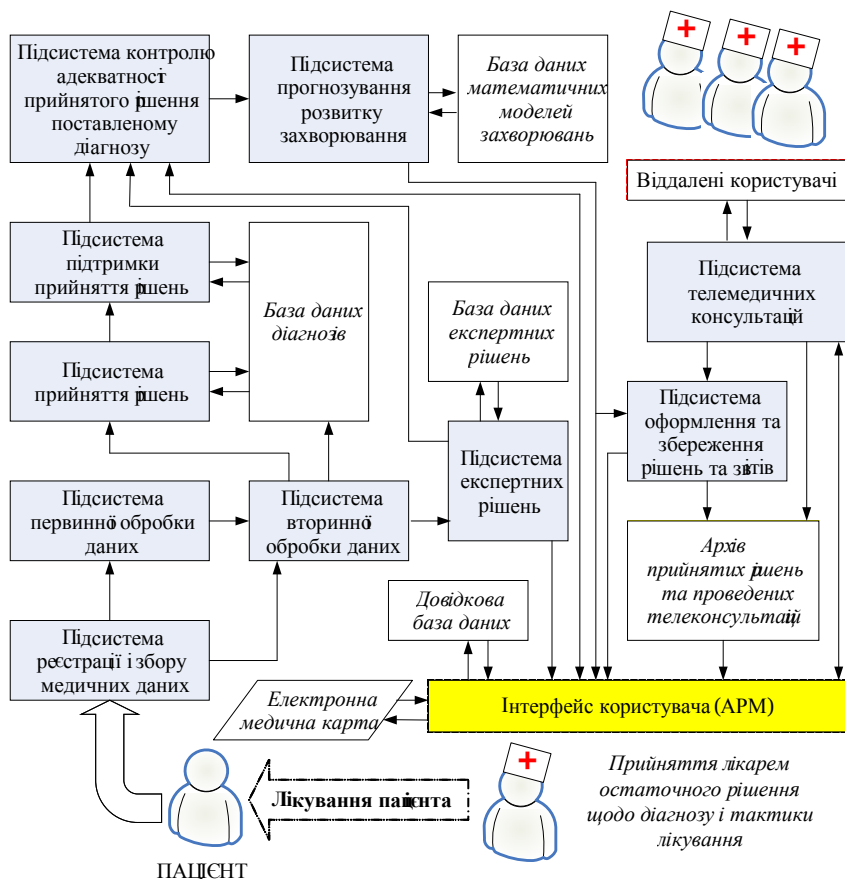


Рис. Узагальнена структура МІС прийняття та підтримки прийняття рішень

Висновки. Використання інформаційних технологій в медицині дозволяє вивести ЛДП на рівень об'єктивності, а мистецтво лікування перевести в категорію технології. Це можливо при використанні експертних систем та систем підтримки прийняття рішень лікарем. При проектуванні МІС доцільно використання експертних БД і ММ розвитку захворювань та побудованих на їх основі систем підтримки прийняття рішень, а також системи телемедичних консультацій. Розроблена структурна організація МІС дозволить оптимізувати лікувально-

діагностичний процес в системі закладів ОЗ шляхом його інформатизації, підвищення якості надання медичної допомоги, забезпечення доступу лікаря до нової науково-медичної інформації, застосування передових інформаційних технологій у його професійної діяльності.

Список літератури: 1. Чурній І.К. Сучасний стан інформатизації в медицині / І.К. Чурній, Н.В. Чурній, В.Д. Скрипко // Буковинський медичний вісник. – 2011. – Т. 15. – № 1 (57). – С. 171–173. 2. Качмар В.О. Медичні інформаційні системи – стан розвитку в Україні / В.О. Качмар // Український журнал телемедицини та медичної телематики. – 2010. – Т. 8. – № 1. – С. 12–17. 3. Артамонова Н.О. Система інформаційного забезпечення медичної науки в Україні: монографія / Н.О. Артамонова. – Харків: Міськдрук, 2010. – 371 с. 4. Бєлікова І.В. Єдиний медичний інформаційний простір як основа якісного управління галуззю / І.В. Бєлікова // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії. – 2012. – Т. 12. – Вип. 3 (39). – С. 170–173. 5. Зленко С.М. Огляд медичних інформаційних систем / С.М. Зленко, Т.І. Овчарук, А.А. Овчарук // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 3 (93). – С. 189–192. 6. Авраменко В. З практики розробки та впровадження медичної інформаційно-аналітичної системи в кардіохірургії / В. Авраменко, В. Василенко, А. Куркевич // Український журнал телемедицини та медичної телематики. – 2008. – Т. 6. – № 1. – С. 64–70. 7. Хорошко О.В. Інформатизація в системі охорони здоров'я [Електронний ресурс] / О.В. Хорошко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – № 14 (185). – Ч. 1. – Режим доступу: <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/2308/1/Choroschko.pdf>. – Дата звернення 12.06.2013. – Назва з титул. екрану. 8. Григорович А.Г. Реалізація сховища даних медичної інформації засобами ненормалізованих відношень / А.Г. Григорович // Інформаційна безпека. – 2010. – № 1 (3). – С. 86–95. 9. Компоненти інформаційних технологій для медицини / А.Є. Батюк, С.Є. Батюк, С.І. Пилипчук, І.Г. Цмоць // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: материалы международной научной конференции. – Т. 1. – Херсон, ХНТУ, 2009. – С. 135–137. 10. Хвищун А.І. Принципи формування єдиної медичної інформаційної системи великого міста / А.І. Хвищун, В.О. Качмар // Медична інформатика та інженерія. – 2009. – № 3. – С. 39–47.

Надійшла до редакції 01.09.2013

УДК 004.9:61

Медицинская система принятия и поддержки принятия решений / Штофель Д.Х., Коваль Л.Г., Зленко С.М., Космач Л.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 167 – 172.

В статье рассмотрена проблема построения медицинских информационных систем для автоматизированного принятия и поддержки принятия решений, а также информационного сопровождения лечебно-диагностического процесса. Определены пути повышения уровня информатизации профессиональной деятельности в сфере здравоохранения. Согласно предложенному подходу разработана обобщенная структурная организация медицинской информационной системы. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: медицинская информационная система, система принятия и поддержки принятия решений, лечебно-диагностический процесс, информатизация, здравоохранение.

UDC 004.9:61

Medical system for decision making and decision support / Shtofel D.Kh., Koval L.G.,

Zlepko S.M., Kosmach L.V. / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 167 – 172.

The article deals with the problem of developing medical information systems for automated decision support and decision making, as well as information support for the diagnostic and treatment process. The ways of informatization level improving in professional activity in the field of health care are identified. Under the proposed approach, the generalized structural organization of medical information system is developed. Figs: 1. Refs: 10 titles.

Keywords: medical information system, system for decision making and decision support, diagnostic and treatment process, informatization, health care.

Зміст

Волянский Р.С., Садовой А.В., Слипченко Н.В. Частотные характеристики замкнутой электромеханической системы с ПИ-регулятором комплексного порядка	3
Горбатова Е.А., Зарецкий М.В., Шияхметова И.З. Нечеткологическое определение способа вовлечения в производство некондиционного сырья в гидрометаллургии	10
Даниленко А.Ф., Дьяков А.Г. Система управления спектрометром ЯМР	16
Дашкевич А.О., Анісімов К.В. Геометричне моделювання процесу освітлення	24
Дмитриенко В.Д., Заковоротный А.Ю., Бречко В.А. Нейронные сети Хемминга и Хебба, способные дообучаться	30
Задорожный Д.Ю., Резниченко Т.С., Семенов С.Г. Разработка процедуры формирования "квазициклов" наблюдаемых структурно-информационных портретов компьютерных систем	46
Крюк Ю.Е. Информационные системы в управлении радиационным риском	53
Лабуткина Т.В., Петренко А.Н. Новый аспект моделирования многоэлементной системы орбитальных объектов	60
Логунова О.С., Павлов В.В., Посохов И.А., Мацко И.И., Мацко О.С. Структура каскадной системы управления многостадийными технологическими процессами	75
Мамадалиев Н.К., Абдуллаев А.А. О разрешимости задачи Пуанкаре-Трикоми для уравнения смешанного типа второго рода ...	81
Мороз В.В. Наближення зображень: методи апроксимації та стиск ..	87
Моторний А.П., Зленко С.М., Павлов С.В., Азархов О.Ю., Белоусова О.В. Метод побудови інформаційного забезпечення санаторно-курортної установи	97
Нечипоренко А.С., Гарюк О.Г., Чмовж В.В. Критерий идентификации фаз носового дыхательного цикла	106

Никитина Т.Б., Коломиец В.В., Татарченко М.О., Хоменко В.В. Разработка и экспериментальное исследование стенда стохастической двухмассовой электромеханической системы	113
Николенко А.А., Бабилунга О.Ю., Нгуен Тьен Т.К. Локализация текстовых областей на изображениях с использованием сверточной нейронной сети	121
Носков В.И., Заполовский Н.И., Липчанский М.В. Анализ энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей тепловоза с помощью тепловой модели	128
Поворознюк Н.І., Чорний К.В. Вейвлет-аналіз звукових сигналів діяльності серця	134
Самигулина Г.А., Самигулина З.И. Интеллектуальный анализ данных для систем промышленной автоматизации на основе искусственных иммунных систем	139
Скарга-Бандурова И.С. Модели реализации комплексной стратегии управления отходами	146
Судаков Б.Н., Иванова М.В. Методика разработки лингвистического обеспечения экспертной системы	153
Худаяров Б.А., Абдикаримов Р. Математическая модель задачи динамики вязкоупругих систем с переменной жесткостью	160
Штофель Д.Х., Коваль Л.Г., Зленко С.М., Космач Л.В. Медична система прийняття та підтримки прийняття рішень	167

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"Харківський політехнічний інститут"

Збірник наукових праць
Серія
Інформатика та моделювання
№ 19 (992)

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. № 70 – 13

Підп. до друку 24.12.2013 р. Формат 60x84 1/16. Папір Сору Парер.
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.