

с е т е в о й н а у ч н ы й ж у р н а л

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

RESEARCH RESULT

Том 1 | № 2
Volume 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION
TECHNOLOGY

ISSN 2518-1092

сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal

Сайт журнала:
www.research-result.ru



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-55674 от 28 октября 2013 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)
Mass media registration certificate El. № FS 77-55674 of October 28, 2013



Том 1, №2. 2016

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 1, № 2. 2016

ONLINE SCHOLARLY PEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: **Жиликов Е.Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Черноморец А.А.**, кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ СЕРИИ: **Ляшенко И.В.**, кандидат филологических наук, доцент

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Ломакин В.В., кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий НИУ «БелГУ»

Гахова Н.Н., кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий НИУ «БелГУ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Волчков В.П., доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)

Дмитриенко В.Д., доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Капалин В.И., доктор технических наук, профессор (Московский государственный институт электроники и математики (технический университет), г. Москва)

Корсунов Н.И., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Маторин С.И., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Рубанов В.Г., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Белов С.П., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Магергут В.З., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Коськин А.В., доктор технических наук, профессор (Приокский государственный университет, г. Орел)

Иващук О.А., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: **Evgeniy G. Zhilyakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Andrey A. Chernomorets**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, assistant, Belgorod State National Research University

ENGLISH TEXT EDITOR: **Igor V. Lyashenko**, Ph.D. in Philology, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

Vladimir V. Lomakin, Candidate of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

Nina N. Gahova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

CONSULTING EDITORS:

Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery D. Dmitrienko, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)

Vladimir I. Kapalin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Nikolay I. Korsunov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Vasily G. Rubanov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery Z. Magergut, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Alexander V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Olga A. Ivaschuk, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.
Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher professional education «Belgorod State National Research University»

Publisher: Belgorod State National Research University
Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
Publication frequency: 4 / year

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

COMPUTER SIMULATION HISTORY

Ушакова Н.Н., Винтаев В.Н. Моделирование процесса обнаружения перерождения формирования повышенного разрешения на космическом изображении в преобразование контраста при деконволюции	4	Ushakova N.N., Vintaev V.N. Modeling the discovery process of the rebirth of the formation of high resolution space image into the transformation of contrast with deconvolution	4
Жиляков Е.Г., Лихолоб П.Г., Медведева А.А. Исследование некоторых стеганографических алгоритмов	9	Zhilyakov E.G., Likholob P.G., Medvedeva A.A. Research of some algorithms of steganography	9
Маторин С.И., Егоров И.А., Жихарев А.Г., Раков В.И. Применение программного комплекса «UFOModeler» для решения обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с использованием некоторых численных методов	16	Matorin S.I., Egorov I.A., Zhikharev A.G., Rakov V.I. Application of the «UFOModeler» software system in the solution of ordinary differential equations of first order with some numerical methods	16

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И УПРАВЛЕНИЕSYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING
OF KNOWLEDGE

Ивакин Я.А. Digital humanities: междисциплинарный характер применения геоинформационных технологий в исторических исследованиях	21	Ivakin Ya.A. Digital humanities: multidisciplinary aspect for application of GIS technologies in historic research	21
Пигнастый О.М. Сетевая модель многоресурсной поточной производственной линии	31	Pihnastyi O.M. The network model of the multiple resources flow manufacturing line	31
Константинов И.С., Гумберидзе М.Э., Жуков А.В. Особенности образовательного процесса в магистратуре	46	Konstantinov I.S., Gumberidze M.E., Zhukov A.V. Characteristics of organization of educational process for master degree students	46
Илюнин О.О. Гахов Р.П., Шамраев А.А. Нейро-нечеткое управление непрерывным травлением полосовой стали	52	Ilyunin O.O., Gakhov R.P., Shamraev A.A. Neuro-fuzzy control of continuous steel strip pickling	52

ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИSYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING
OF KNOWLEDGE

Ушакова Н.Н., Винтаев В.Н. Быстрые варианты операций проблемно-ориентированной компьютерной арифметики	60	Ushakova N.N., Vintaev V.N. Rapid variations in the operations of problem-oriented computer arithmetic	60
--	-----------	---	-----------

Жиляков Е.Г., Лихолоб П.Г., Лихогодина Е.С. Стеганографический метод кодирования геоданных в снимки земной поверхности	64	Zhilyakov E.G., Likholob P.G., Lichogodina E.S. Steganographic method encoding of geodata in the images of the earth's surface	64
Черноморец А.А., Болгова Е.В. Об экспериментальных исследованиях субполосных свойств изображений	71	Chernomorets A.A., Bolgova E.V. About experimental research of subband properties of earth surface images	71

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 621.377.2

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-4-8

Ушакова Н.Н.
Винтаев В.Н.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРЕРОЖДЕНИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЫШЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКОМ
ИЗОБРАЖЕНИИ В ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КОНТРАСТА
ПРИ ДЕКОНВОЛЮЦИИ**

1) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент
Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия
e-mail: natush2006@yandex.ru

2) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент
Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия
e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru

Аннотация

В работе на основе принятого на практических наблюдениях подхода к трактованию различий в улучшении разрешения и в усилении контраста на космическом изображении представлена технология определения уровня перерождения процесса коррекции резкости при деконволюции в процесс усиления контраста для поддержки решения оператора-интерпретатора об останове процедур преобразования изображения.

Ключевые слова: пространственно-частотный спектр; разрешающая способность; опорный ориентир; градиентный оператор нецелого порядка; функция рассеяния точки; функционал.

UDC 621.377.2

Ushakova N.N.
Vintaev V.N.

**MODELING THE DISCOVERY PROCESS OF THE REBIRTH
OF THE FORMATION OF HIGH RESOLUTION SPACE IMAGE INTO
THE TRANSFORMATION OF CONTRAST WITH DECONVOLUTION**

1) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
e-mail: natush2006@yandex.ru

2) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru

Abstract

In the work, on the basis of the practical observations of the approach to the interpretation of differences in improved resolution and contrast enhancement in the space image, the authors present a level-sensing technology of the degeneration of the process of correction of sharpness with deconvolution in the process of enhancing the contrast to support the decision of the operator-interpreter about the shutdown procedures for the transformation of the image.

Keywords: spatial-frequency spectrum; resolution; reference point; gradient operator of non-integer order; function of the point spread; functionality.

Введение
Радиусы пространственно-частотных спектров (ПЧС) изображения с повышенным

разрешением или контрастированного изображения с худшим разрешением могут совпасть, т.к. процесс восстановления разрешения

на изображении нередко перерождается в процесс контрастирования без улучшения разрешения [3].

Обнаружение в процессе этапной обработки изображения момента начала превалирования состояния повышенного контраста над резкостью и есть критерий останова используемой версии деконволюции изображения и полученное разрешение в этом случае является экстремальным, что справедливо и для снимков высокого и сверхвысокого разрешения.

Функционал соотношения «контрастирование/разрешающая способность»

Концептуально можно представить модель процессов контрастирования и повышения разрешающей способности на изображении (в одномерном случае):

Рассмотрим изображение объекта – опорного ориентира (ОО) с яркостью в виде гауссовой кривой вида

$$S_{oo} = \exp(-\alpha x^2), \quad (1)$$

ее спектр Фурье $F(S_{oo})$ будет иметь вид

$$F(S_{oo}) = (\pi/\alpha)^{0.5} \exp(-\omega^2/4\alpha), \quad (2)$$

где S_{oo} – яркостный портрет ОО, x – значение абсциссы, α – коэффициент скорости спада фронтов, ω – круговая пространственная частота.

При контрастировании кривой (1) ее фронты (как импульса) приобретают более быстрый спад и подъем, соответственно этому высшая частота спектра контрастированного гауссового импульса отодвигается в высшую сторону. Но это не увеличение разрешения и измерительные свойства изображения при этом ухудшаются.

Повышение разрешающей способности демонстрируется появлением на гауссовой кривой множества малых гауссовых кривых с высшей гармоникой у каждой из них, соответствующей высшей гармонике контрастированной гауссовой кривой, т.е. демонстрируется суммированием исходной гауссовой кривой с серией следующих друг за другом гауссовых кривых малой амплитуды и с высшей гармоникой в их спектре равной высшей гармонике контрастированной кривой (2). В этом случае каждый наблюдаемый на изображении объект – опорный ориентир OO_i представляется в виде набора структурных элементов и каждый структурный j -тый элемент (или фрагмент) полного образа OO_i по существу является отдельным OO_{ji} . По теореме о запаздывании структурного элемента OO_{ji} в OO_i , измеряемого смещением $r_{ji} = (x_{ji}^r, y_{ji}^r)$ его центра тяжести

относительно центра тяжести образа OO_i в спектральном представлении можно записать:

$$F(OO_i) = \sum_j F(OO_{ji}) e^{j(\omega_x x_{ji}^r + \omega_y y_{ji}^r)}, \quad (3)$$

где $F(OO_i)$ – спектральный портрет OO_i , $F(OO_{ji})$ – спектральный портрет OO_{ji} .

Результирующий ПЧС любого объекта на изображении в этом случае приобретает структуру, которая декомпозируется на сумму фазозадержанных ПЧС элементов восстанавливаемой тонкой структуры изображения [1].

Функционал соотношения «контрастирование/разрешающая способность» (ФСКР) целесообразно строить в виде соотношения двух функционалов, нормированных с использованием неравенства Шварца [2] для исключения влияния яркости изображения на результат вычисления). Один из функционалов, определяющий для анализа и сравнения степень контрастирования изображения при обработке $\Phi_{кнк}$ – значение функции взаимной корреляции (ФВК) при нулевом сдвиге (ненормированный коэффициент корреляции) k -го этапа S_{uk} обработки исходного S_u испытуемого изображения и результата контрастирования исходного изображения $S_{иконт}$ (нелинейными преобразованиями яркости или средствами стандартных графических пакетов) с контролем верхней моды ПЧС при контрастировании на совпадение этой моды с заданной или предполагаемой как достижимой при обработке исходного изображения с целью снижения пятна функции рассеяния точки (ФРТ), нормированное (деленное) на перемножение норм $S_{иконт}$ и S_{uk} .

В соответствии с неравенством Шварца получим выражение

$$\Phi_{кнк} = \max(\Phi BK(S_{иконт}, S_{uk})) / (\|S_{иконт}\| \|S_{uk}\|), \quad (4)$$

где $\| * \|$ – норма изображения $\|S\|$ определяется как Евклидова норма, т. е. $\|S\| = (\sum S_{ij})^{0.5}$, а S_{ij} – пиксели изображения.

Другой из функционалов, определяющий для анализа и сравнения степень коррекции разрешения на изображении при обработке $\Phi_{кр}$ – это значение ФВК при нулевом сдвиге (ненормированный коэффициент корреляции) k -го этапа обработки исходного S_u испытуемого изображения S_{uk} и результата моделирования на исходном изображении улучшения разрешения путем регулярного и монотонного усиления высших мод ПЧС исходного изображения градиентным оператором нецелого порядка [4]:

$$\text{Grad}_{\alpha_i} f(x, y) \approx \sqrt{(D_x^{\alpha_i} f)^2 + (D_y^{\alpha_i} f)^2}, \quad (5)$$

где f – обрабатываемое изображение; D^{α_i} – оператор дифференцирования порядка $\alpha_i < 1$, причем нулевая гармоника ПЧС восстанавливается либо вычислением средней яркости и присоединением ее аддитивно к дифференцированному изображению или присоединением к дифференцированному изображению исходного аддитивно с коэффициентом, меньшим единицы. S_{up} реализуется в соответствии с описанной выше методикой с контролем верхней моды ПЧС при обработке на совпадение этой моды с заданной или предполагаемой как достижимой при обработке исходного изображения с целью снижения пятна ФРТ, и как нормированное (деленное) на перемножение норм S_{up} и S_{uk} . Аналогично, в соответствии с неравенством Шварца получим выражение

$$\Phi_{кр} = \max(\Phi BK(S_{up}, S_{uk})) / (\|S_{up}\| \|S_{uk}\|). \quad (6)$$

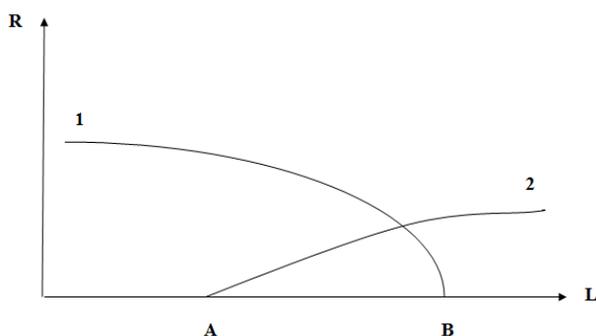


Рис. 1. График поведения наращивания разрешения и уровня контрастирования при обработке процессором фокусировки (R, L – уровни изменения разрешения 1 и контрастирования 2 и ось счетного множества этапов обработки, соответственно; {A B} – отрезок на оси этапов: область пересечения ненулевых приращений двух характеристик).

Fig. 1. Graph of the behaviour of increasing the resolution and level of contrast when processed by a processor of focus (R, L – levels, change the resolution and contrast 1 and the axis of a countable set of processing stages, respectively; {A B} – cut on the axis steps: the area of intersection of two non-zero increments of characteristics).

Примененный для создания опорного изображения S_{up} градиентный оператор порядка, существенно меньшего единицы, позволяет реализовать в отличие от оператора контрастирования модель (или начальный этап в итерационных процессах) заметного, хотя и невысокого улучшения разрешения на

изображении, т.к. [4] в спектре оператора градиентного присутствуют моды – среднечастотные, подчеркивающие объекты малые по апертуре по сравнению со средними апертурами на изображении и моды, подчеркивающие верхнюю частоту на малых по апертуре объектов. График наиболее частого поведения наращивания разрешения и уровня контрастирования при обработке процессором фокусировки изображения приведен на рисунке 1.

На рисунках 2-4 представлены, соответственно, изображение, исходное в эксперименте по определению ФСКР (изображение со спутника QuickBird); изображение (одно из опорных для ФСКР) с улучшенным разрешением с помощью модели градиентного оператора нецелого порядка (порядок оператора 0,15) на исходном; изображение (второе из опорных для ФСКР) с выполненным контрастированием ресурсами графического пакета PHOTOSHOP CS на исходном; изображение с улучшенным разрешением – один из этапов итеративного процесса на процессоре фокусировки (на рисунке приведен этап, на котором наметилось превалирование контрастирования над улучшением разрешения); изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием; изображение попиксельной разности двух ФВК (мажорирующая ФВК – уменьшаемое в операции вычитания – для корректности работы с кодами палитры пикселей); объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием. За опорное изображение S_{up} можно принять один из этапов обработки изображения со снижением пятна ФРТ. Начальные значения функционалов ФСКР в зависимости от методов получения опорных изображений будут варьироваться, но целевой функцией ФСКР является продуцирование вывода о необходимости коррекции критериев прерывания процедур обработки, перехода при этом к процессам перепикселизации, если необходимо, в процессе исследования эволюции ФСКР.



Рис. 2. а – изображение, исходное в эксперименте по определению ФСКР (изображение со спутника QuickBird); б – изображение (одно из опорных для ФСКР) с улучшенным разрешением с помощью модели градиентного оператора нецелого порядка (порядок оператора 0,15) на исходном; в – изображение (второе из опорных для ФСКР) с выполненным контрастированием ресурсами графического пакета PHOTOSHOP CS на исходном; г – изображение с улучшенным разрешением – один из этапов итеративного процесса на процессоре фокусировки

Fig. 2. a – the image source in the experiment to determine FSKR (image from the satellite QuickBird); b – image (one of the reference for FSKR) with enhanced resolution with the help of the model of a gradient operator of non-integer order (the order of the operator 0,15) on the source; c – the picture (the second reference to FSKR) with contrasting performed with the resources of the graphics pack PHOTOSHOP CS on the source; d – the image with improved resolution is one of the stages of the iterative process on the CPU focus

На рисунках 3-4 заметно превышение амплитуды ФВК для оценки эффекта контрастирования изображения над амплитудой ФВК для оценки эффекта улучшения резкости.

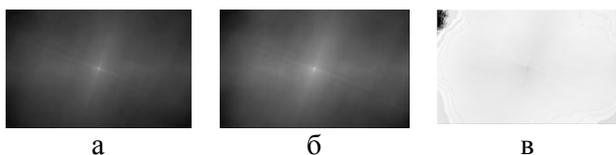


Рис. 3. а – изображение ФВК приведенного этапа обработки (этапа, на котором наметилось превалирование контрастирования над улучшением разрешения) на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; б – изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием; в – изображение попиксельной разности двух ФВК

Fig. 3. a – the image of a CCF given stage of processing (the stage at which there has been a prevalence of contrast enhancement to improve resolution) on the processor with a reference image with improved resolution; b – the image of the CCF given stage of processing on the processor with a reference image with contrast enhancement; c – the image pixel-by-pixel difference of the two FMC

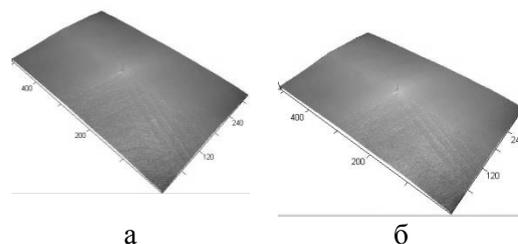


Рис. 4. а – объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с улучшенным разрешением; б – объемное изображение ФВК приведенного этапа обработки на процессоре с опорным изображением с контрастированием

Fig. 4. a – a three-dimensional image of a CCF given stage of processing on the CPU with the reference with improved image resolution; b – a three-dimensional image of a CCF given stage of processing on the processor with a reference image with contrast enhancement

Заключение

Представленный метод верификации момента начала перерождения результата деконволюции из развития разрешения на изображении в изменение контраста (принимается визуально за улучшение разрешения из-за нередкого совпадения радиусов пространственно-частотных спектров результатов деконволюции и контрастирования) функционалами, чувствительными к данному перерождению максимального достигнутого разрешения при деконволюции изображения в контрастирование позволяет получать результаты деконволюции с сохранением измерительных свойств изображений. Начало перерождения детектирует отмеченное выше максимально-возможное при данном методе деконволюции разрешение (или резкость, или подавление пятна ФРТ без ущерба измерительным свойствам изображения).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00177 "Разработка теоретических основ методов моделирования реализации предельно достижимых характеристик сверхвысокого пространственного и спектрального разрешения в стволах дистанционного зондирования с космических платформ".

Список литературы

1. Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений. М.: Мир, 1989. 336 с.
2. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1967. – 436 с.
3. Специальная коррекция в процедурах регуляризации и итеративных процессах уменьшения размеров пятна функции рассеяния точки на космических изображениях / И.С. Константинов, Н.В. Щербинина, М.Ю. Жиленев, В.Н. Вintaев, Н.Н. Ушакова // Научные ведомости БелГУ. 2014. № 15(186). С. 166-175.
4. Ушакова Н.Н. Коррекция цифровых космических изображений на основе верифицирующего моделирования: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Белгород, 2004. 255 с.

References

1. Beits R., Mak-Donnel M. Restoration and Reconstruction of Images. M.: Mir, 1989. 336 p.
2. Vladimirov V. S. Equations of Mathematical Physics. M.: Nauka, 1967. 436 p.
3. Special Correction Procedures of Regularization and Iterative Processes Reduce the Spot Size of the Point Spread Function of Images in Space / I.S. Konstantinov, N.V. Scherbinina M.Y. Zelenev, V.N. Vintaev, N.N. Ushakova // Nauchnye vedomosti BelGU. 2014. No. 15(186). Pp. 166-175.
4. Ushakova N.N. Correction of Digital Space Images on the Basis of Verified Simulation: Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk. Belgorod, 2004. 255 p.

УДК 004.415.24

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-9-15

**Жиляков Е.Г.
Лихолоб П.Г.
Медведева А.А.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ
АЛГОРИТМОВ**

- 1) заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, доктор технических наук, профессор. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru*
- 2) старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: Likholob@bsu.edu.ru*
- 3) старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, кандидат технических наук. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: Medvedeva_aa@bsu.edu.ru*

Аннотация

В работе рассмотрены некоторые стеганографические методы, основанные на использовании частотных характеристик речевых сигналов. В частности, рассмотрены широко используемый стеганографический метод расширения спектра и новый метод субполосных проекций. Стеганографический метод субполосных проекций основан на использовании субполосного анализа с применением субполосных матриц. Для сравнения рассмотренных стеганографических методов в работе используется несколько различных мер различия. Для сравнения использовались среднеквадратическая ошибка, относительная погрешность, отношение сигнал-шум, коэффициент корреляции, мера расстояния Итакуры-Санто (расстояние наибольшего правдоподобия). Для исследования методов использованы реальные речевые сигналы. При этом исследования были проведены при различных длительностях отрезков анализа. В работе показано, что метод субполосных проекций вносит меньше искажений по сравнению с методом расширения спектра.

Ключевые слова: речевые сигналы; стеганография; мера различия; метод расширения спектра; субполосный метод стеганографии.

UDK 004.415.24

**Zhilyakov E.G.
Likholob P.G.
Medvedeva A.A.**

RESEARCH OF SOME ALGORITHMS OF STEGANOGRAPHY

- 1) Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru
- 2) Senior Lecturer, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: Likholob@bsu.edu.ru
- 3) PhD of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: Medvedeva_aa@bsu.edu.ru

Abstract

The paper discusses some steganographic methods based on the use of the frequency characteristics of the speech signal. In particular, the authors consider a widely used method of steganography spreading and a new method of subband projections. The subband projections steganographic method is based on the application of sub-band analysis using subband matrices. For comparison, we considered steganographic methods used in the work of several different measures of differences. Besides, for comparison, we used the standard error, relative error, the

signal-to-noise ratio, correlation coefficient, a measure of distance Itakura Santo (maximum likelihood distance). Real speech signals were used to research the methods. This research was conducted at different durations of the analysis segments. It is shown that the method of subband projections makes less distortion compared to the spreading method.

Keywords: speech signals; steganography; measure of the difference; extension spectrum method; subband method of steganography.

Развитие современных информационно-телекоммуникационных систем направлено на обеспечение возможности предоставления естественных для человека форм информационного обмена. Одной из таких форм, наиболее часто используемых удобных для человека, является речь. Современные информационные системы позволяют осуществлять хранение и передачу речевых сообщений на расстояние. Обеспечение такой возможности привело к бурному развитию технологий, обеспечивающих внедрение в аудиозаписи дополнительной информации, которая не будет восприниматься органами чувств человека. Это могут быть метки даты и времени, метки, подтверждающие авторское право и т.д. Внедрение дополнительной информации таким образом, чтобы сам факт внедрения не был обнаружен, занимается стеганография. Именно этот аспект и описывает основной принцип стеганографии [1, 5, 6, 9-12].

В случае использования в качестве объекта, в который будет внедряться информация (контейнера), речевого сигнала, результат внедрения, т.е. стегоконтейнер (контейнер вместе с внедренной информацией), «на слух» не должен отличаться от исходного контейнера.

Как известно, речевой сигнал представляет собой квазистационарный процесс, поэтому работа стегоалгоритма должна адаптироваться к изменениям в речевом сигнале. Одним из наиболее эффективных способов анализа речевых сигналов является частотный анализ. Результаты исследования частотных характеристик речевых сигналов, соответствующих различным звукам русской речи, позволил выявить возможность использования частотных характеристик для скрытого внедрения информации.

Одним из распространенных стеганографических методов, учитывающих частотные характеристики речевых сигналов, является метод расширения спектра. Суть метода заключается в добавлении к отрезку исходного речевого сигнала псевдослучайной последовательности (ПСП) в соответствии с выражением [2, 13, 14]:

$$\tilde{x}(t) = x(t) + \alpha_m \cdot e_m \cdot u(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ – исходный отрезок данных; $u(t)$ – отрезок, соответствующий псевдослучайной последовательности; α_m – весовой коэффициент; e_m – кодовое отображение двоичного бита контрольной информации, определяемое по формуле:

$$e_m = 2e_m - 1, \quad m = 1, \dots, M, \quad (2)$$

где e_m – бит контрольной информации в двоичной системе счисления, $e_m \in \{0, 1\}$; M – объем скрытно кодируемой контрольной информации; e_m – кодовое отображение двоичного бита контрольной информации, $e_m \in \{-1, 1\}$; m – порядковый номер бита контрольной информации.

Весовой коэффициент α_m определяет скрытность системы. В работах [2, 14] его предлагается выбирать равным:

$$\alpha_m = \frac{\langle x(t), u(t) \rangle}{\|u(t)\|^2}. \quad (3)$$

Стоит отметить, что использование в качестве шума сигнальной конструкции $u(t)$, не обладающей взаимной энергией с данными $x(t)$, позволяет повысить помехоустойчивость стеганографически закодированной контрольной информации e_m , а использование коэффициента проекции α_m повышает скрытность контрольной информации.

Декодирование бита контрольной информации из данных происходит путем определения знака скалярного произведения отрезка данных и псевдослучайной последовательности:

$$\tilde{e}_m = \text{sign}(\langle \tilde{x}(t), u(t) \rangle), \quad (4)$$

где $\text{sign}(\)$ – операция выделения знака.

Решение о декодированном сигнале принимается в соответствии с выражением:

$$\tilde{e}_m = \begin{cases} 0, & \text{если } -\tilde{e}_m < 0 \\ 1, & \text{если } -\tilde{e}_m > 0 \end{cases} \quad (5)$$

На рисунке 1 приведены в виде сплошной исходный отрезок $x(t)$ и отрезок $\tilde{x}(t)$ с закодированной методом расширения спектра контрольной информацией (пунктир). Отрезки длительностью 0.032 с записаны с частотой дискретизации 8кГц и разрядностью 16 бит, соответствуют звуку «а». Стеганографическое кодирование осуществлено для одного бита контрольной информации.

Результат стеганографического кодирования информации методом расширения спектра, представленный на рисунке 1, позволяет говорить о изменениях как во временной, так и в частотной областях. Во временной области преобразования проявляются в виде изменения амплитуды сигнала, как в максимальных, так и минимальных значениях амплитуды (рис. 1, а). В частотной области происходит перераспределение энергии между всеми частотными компонентами, особенно этот эффект проявляется в области частотных компонент с малой долей энергии (на рис. 1, б выделено штриховкой).

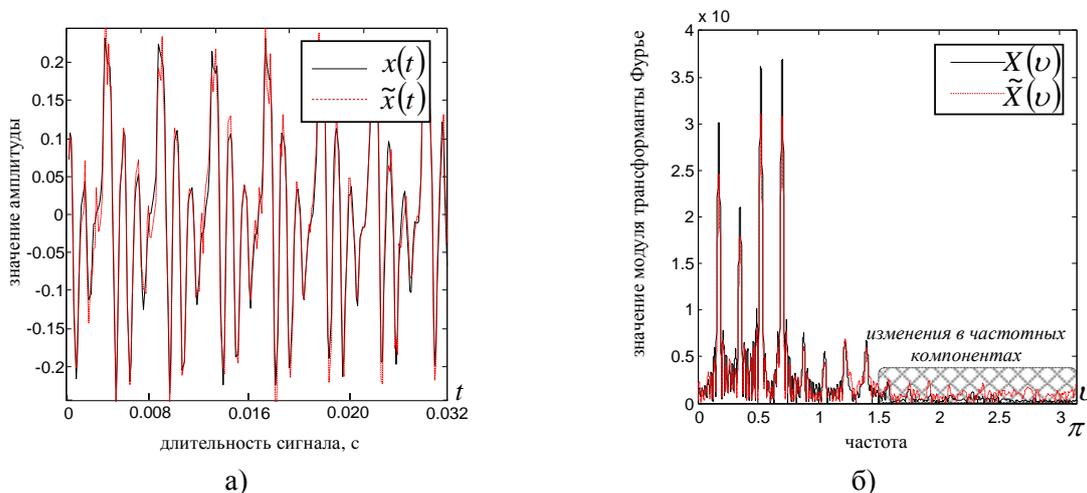


Рис. 1. Результат скрытого кодирования информации методом расширения спектра: а) отрезки $x(t)$ и $\tilde{x}(t)$ во временной области; б) энергетические спектры $X(\nu)$ и $\tilde{X}(\nu)$

Fig. 1. Result of the hidden information encoding with the method of spreading: а) segments $x(t)$ and $\tilde{x}(t)$ in the time domain; б) energy spectra $X(\nu)$ and $\tilde{X}(\nu)$

Экспериментальные исследования на отрезках речевых данных соответствующим звукам русской речи показали, что основным достоинством метода расширения спектра является помехоустойчивость при высокой скрытности. В качестве параметров внедрения для отрезков речевых данных использовалась ПСП с периодом равной частоте дискретизации $\mathcal{G}_0 = 8\text{кГц}$, исследования проводились при варьировании коэффициентов α_m (от 0.1 до 0.001) и разных соотношениях шум/сигнал (от 0.001 до 1). Количество перекодированных отрезков составляло $60 \cdot 10^6$, результаты оценки вероятности появления ошибочного бита $P_{ош}$ при декодировании двоичных символов e_m приведены в таблице 1.

Стоит отметить, что метод предполагает скрытое кодирование контрольной информации без перехода в частотную область. К недостаткам метода нужно отнести необходимость хранения ПСП. Метод чувствителен к изменению разрядности данных. Так в результате изменения шага квантования (что эквивалентно добавлению шума квантования), стеганографически закодированная информация будет разрушена.

Метод расширения спектра позволяет учитывать энергетические свойства отрезка данных в целом, но не может учитывать распределение энергии по частотным компонентам. То есть не в полной мере использует закономерности в данных, т.к. энергия ПСП распределена по всему частотному диапазону.

Таблица 1

Значение вероятности $P_{ош}$ появления ошибочного бита при декодировании двоичных символов e_m

Table 1

The value of the probability $P_{ош}$ of occurrence of erroneous bits in the decoding of binary symbols e_m

коэффициент шум/сигнал	$\alpha_m = 0.1$		$\alpha_m = 0.01$		$\alpha_m = 0.001$	
	$T=0.016$ с	$T=0.032$ с	$T=0.016$ с	$T=0.032$ с	$T=0.016$ с	$T=0.032$ с
$h_0^2 = 0.001$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$	0.1290	0.0521	0.3614	0.3170
$h_0^2 = 0.01$	0.2×10^{-3}	$< 1 \times 10^{-4}$	0.1285	0.0508	0.3497	0.3013
$h_0^2 = 0.1$	0.4×10^{-3}	7.2×10^{-3}	0.1439	0.0720	0.3661	0.3203
$h_0^2 = 1$	5.5×10^{-3}	0.1395	0.2133	0.1297	0.4011	0.3602

Учет особенности распределения энергии по частотным интервалам позволяет использование субполосного анализа. При этом предполагается применение математического аппарата на основе использования субполосных матриц [3,4,7,8,15] с элементами вида:

$$A_r = \{a_{ik}^r\},$$

$$a_{ik}^r = (\sin(\nu_{2r}(i-k)) - \sin(\nu_{1r}(i-k))) / (\pi(i-k)), \quad (6)$$

$$a_{ii}^r = (\nu_{2r} - \nu_{1r}) / \pi, \quad r \in \mathbf{R}, \quad i, k = 1, \dots, N.$$

где N – длительность анализируемого отрезка; R – количество частотных интервалов, на которые разбивается ось частот; ν_{1r}, ν_{2r} – нижняя и верхняя границы r -го частотного интервала.

Использование субполосных матриц позволяет выделять частотные компоненты, энергии которых сосредоточены в выбранных частотных интервалах. Для скрытого внедрения дополнительной информации целесообразно использовать субполосные проекции, представляющие собой скалярное произведение отрезка данных на собственные вектора субполосных матриц:

$$\alpha_i^r = \langle \vec{q}_i^r, \vec{x} \rangle, \quad r \in \mathbf{R}, \quad i = 1, \dots, J. \quad (7)$$

где \vec{q}_i^r – собственные вектора субполосной матрицы для r -го частотного интервала.

Свойства субполосных представлений, позволяют говорить об их адекватности и оптимальности для разработки методов и алгоритмов стеганографического кодирования/декодирования контрольной информации в речевые данные.

Для скрытого внедрения дополнительной информации в отрезок речевых сигналов предлагается модель, осуществляющая кодирование бит контрольной информации b_m в

отрезок речевых данных \vec{x} в соответствии с выражением:

$$\vec{y} = \vec{x} + \sum_{i=1}^J K_m \cdot \alpha_i^r \cdot \text{sign}(e_m) \cdot \vec{q}_i^r,$$

$$e_m = 2b_m - 1, \quad m \in M, \quad (8)$$

где M – объем контрольной информации в битах; K_m – коэффициент пропорциональности определяющий скрытность; e_m – ортонормальное представление бита; b_m – бит контрольной информации; $\text{sign}()$ – операция выделения знака.

Декодирование контрольной информации методом субполосных проекций осуществляется путем определения знаков проекций α_i^r для собственных векторов \vec{q}_i^r субполосной матрицы A_r , вычисленных для частотного пространства $r \in \mathbf{R}$:

$$\hat{e}_m = \text{sign}(\langle \vec{y}, \vec{q}_i^r \rangle), \quad \hat{b}_m = (\hat{e}_m + 1) / 2, \quad r \in \mathbf{R},$$

$$i = 1, 2, \dots, J \quad (9)$$

где \hat{e}_m – ортонормальное представление бита контрольной информации при декодировании методом субполосных проекций \hat{b}_m – декодированный методом субполосных проекций бит контрольной информации.

Для сравнения эффективности метода расширения спектра и метода субполосных проекций предлагается использовать различные меры различия, каждая из которых обладает разной чувствительностью к различным изменениям. В рамках данной работы предлагается использовать такие оценки различия, как среднеквадратическая ошибка (СКО), относительная погрешность (НСКО), отношение сигнал-шум (ОСШ), коэффициент корреляции (cor), мера расстояния Итакуры-

Санто (расстояние наибольшего правдоподобия, *ISD*).

Среднеквадратическая ошибка (*СКО*) отражает абсолютное различие энергии отрезков сигналов во временной области:

$$СКО = \sum_{n=1}^N (x_n - \tilde{x}_n)^2, \quad (10)$$

где x_n – значение амплитуды исходного отрезка данных; \tilde{x}_n – значение амплитуды отрезка данных содержащего дополнительную информацию, N – количество отсчетов сравниваемых отрезков сигналов.

Данная мера позволяет выявить различия в огибающих амплитуд отрезков речевых сигналов. Чем меньше изменений вносится при внедрении дополнительной информации, тем ближе значение этой оценки к нулю.

Однако чаще используют нормированную оценку *СКО* к норме исходного сигнала, которое учитывает энергию самого сигнала:

$$НСКО = \sum_{n=1}^N (x_n - \tilde{x}_n)^2 / \sum_{n=1}^N x_n^2. \quad (11)$$

Реакция данной оценки аналогична реакции *СКО*.

Также для учета степени отличия исходного сигнала и результата внедрения дополнительной информации используют оценку, чувствительную ко времени выравнивания сравниваемых отрезков сигналов:

$$ОСШ = 10 \cdot \lg \frac{\sum_{n=1}^N x_n^2}{\sum_{n=1}^N (x_n - \tilde{x}_n)^2}. \quad (12)$$

Чем выше оценка *ОСШ*, тем меньше изменений было внесено. В случае равенства двух отрезков (исходного и подвергнутого изменениям при кодировании) оценка будет равна бесконечности (∞).

Для оценки степени схожести двух отрезков данных, часто используют оценку взаимной энергии этих сигналов, определяемую коэффициентом корреляции:

$$cor = \frac{\sum_{n=1}^N \left(x_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \right) \cdot \left(\tilde{x}_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{x}_n \right)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N \left(x_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \right)^2 \cdot \left(\tilde{x}_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{x}_n \right)^2}}. \quad (13)$$

Чем ближе значение корреляции к единице, тем выше схожесть отрезка данных содержащего контрольную информацию и исходного.

Мера Итакуры-Санто (расстояние наибольшего правдоподобия) учитывает различия в частотной области:

$$ISD = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{P(v)}{\tilde{P}(v)} - \lg \frac{P(v)}{\tilde{P}(v)} - 1 \right) dv, \quad (14)$$

где $P(v)$ – значение энергии частотной компоненты исходного отрезка данных; $\tilde{P}(v)$ – значение энергии частотной компоненты отрезка данных содержащего дополнительную информацию.

Мера имеет смысл расстояния между спектрами двух сигналов и оценивает несоответствие между энергией измененного и исходного отрезка данных. При равенстве отрезков данных мера обращается в ноль.

Таблица 2

Обобщенная оценка мер различия исходного сигнала и результатов внедрения при использовании стеганографического метода расширения спектра и метода субполосных проекций

Table 2

Generalized estimator of measures of the difference between a baseband signal and the results of implementation with the use of the steganographic method of spectrum extension and the subband method of steganography

		СКО	НСКО	ОСШ	cor	ISD
метод субполосных проекций	T=0.016с	0,00396	0,01399	Inf	0,99300	0,00120
	T=0.032с	0,00857	0,00962	Inf	0,99519	0,00312
метод расширения спектра	T=0.016с	0,01156	0,01547	20,13422	0,99226	0,02022
	T=0.032с	0,01133	0,00792	22,11122	0,99604	0,00310

Для сравнения использовались речевые сигналы, записанные с частотой дискретизации 8кГц и разрядностью кода 16бит. При этом речевые сигналы разбивались на отрезки равной длительности $T=0.016$ мс и $T=0.032$ мс.

Анализ полученных результатов показывает, что использование метода субполосных проекций приводит к меньшим искажениям по сравнению с использованием метода расширения спектра.

Таким образом, для реализации скрытого внедрения дополнительной информации в речевые сигналы целесообразно использовать метод субполосных проекций.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 15-07-01570 "Субполосная скрытая интеграция/извлечение дополнительной информации в аудио или видео контенте".

Список литературы

1. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. Аспекты защиты. М.: Солон-Пресс, 2002. 261 с.
2. Жарких А.А., Гурин А.В., Пластунов В.Ю. Метод стеганографии на основе прямого расширения спектра сигнала / Материалы VII Международной научно-технической конференции, 7–11 декабря 2009 г. INTERMATIC. – М.: МИРЭА часть 4, 2009, С. 78-83.
3. Жилияков Е.Г., Лихолоб П.Г., Девицына С.Н. Определение возможного объема внедряемой информации при скрытой передаче меток в речевых данных / Научные ведомости Белгородского государственного университета № 13 (132). Выпуск 23/1, серия История. Политология. Экономика. Информатика. – Белгород, 2012. С. 222-226.
4. Жилияков Е.Г. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности / Автоматика и телемеханика. – М.: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук "Издательство "Наука" № 4, 2015 г. С. 51-66.
5. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Киев: «МК-Пресс», 2006. 288с.
6. Крыжечич Л.С. Белобородов Д.А. Стеганографические методы сокрытия данных в звуковых файлах на основе всплесковых преобразований / Auditorium: электронный научный журнал Курского государственного университета. – Курск: № 2, 2014г. «Аудиториум» электронный научный журнал URL: <http://auditorium.kursksu.ru/index.php?page=6&new=2> (дата обращения 28.04.2016)
7. Об однозначности определения идентификационно-значимой частотной полосы в звуках русской речи, подверженных влиянию шума /

Жилияков Е.Г., Лихолоб П.Г., Курлов А.В., Медведова А.А. // Научные ведомости Белгородского государственного университета № 2 (223). Выпуск 37, серия История. Политология. Экономика. Информатика. – Белгород, 2016. С. 167-174.

8. О методе скрытого кодирования контрольной информации в речевые данные / Жилияков Е.Г., Белов С.П., Лихолоб П.Г., Пашинцев В.П. // Инфокоммуникационные технологии. – Саратов: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. – Т.13, - №3 2015, С. 325-333.

9. Fridrich, J. Steganography in digital media: Principles, algorithms, and applications, 2012, Steganography in Digital Media, pp. 1-441.

10. Furui, Sadaoki; Digital speech processing, synthesis, and recognition / Sadaoki Furui. – 2nd ed., rev. and expanded, 2000

11. Nedeljko Cvejic, Tapio Seppanen. Spread spectrum audio watermarking using frequency hopping and attack characterization/ Signal Processing 84. – 2004. – p. 207 – 213.

12. Stanković, S., Orović, I., Sejdić, E. Multimedia signals and systems, 2012, Multimedia Signals and Systems, pp. 1-349.

13. Thierry Dutoit, Ferran Marques. Applied Signal Processing A MATLAB TM-Based Proof of Concept 2009.

14. Vercoe B.L., Csound: A Manual for the Audio-Processing System, MIT Media Lab, Cambridge 1995.

15. Zhilyakov, E.G. Optimal sub-band methods for analysis and synthesis of finite-duration signals, Automation and remote control, pp. Vol. 76, No 4, p. 589-602.

References

1. Gribunin V.G., Okov I.N., Turintsev I.V. Digital Steganography. Protection Aspects. M.: Solon-Press, 2002. 261 p.
2. Zharkikh A.A., Gurin A.V., Plastunov V.Y. Steganography Method based on the Direct Spread Spectrum Signal / Materials of the VII International Science and Technology Conference, 7-11 December, 2009 INTERMATIC. M.: MIREA chast 4, 2009. Pp 78-83.
3. Zhilyakov E.G., Likholobov P.G., Devitsyna S.N. Determination of the Possible Volume of Information being Introduced at a Hidden Transfer of Marks in the Speech Data / Scientific Bulletin of Belgorod State University № 13 (132). Issue 23/1, Series "History. Political Science. Economy. Computer science". Belgorod: Gik. 2012. Pp. 222-226.
4. Zhilyakov E.G. Optimal Subband Methods of Analysis and Synthesis of Signals of Finite Duration / Automation and Remote Control. M.: Academic Scientific Publishing, Production and Publishing and Bookselling Center of the Russian Academy of Science "Publishing House" Science "№ 4, 2015. Pp. 51-66.
5. Konakhovich G.F., Puzyrenko A.Y. Computer Steganography. Theory and Practice / Kiev: "MK-Press", 2006. 288 p.

6. Kryzhevich L.S., Beloborodov D.A. Steganographic Techniques to Hide Data in Sound Files Based on Wavelet Transformation / Auditorium: Electronic Journal of Kursk State University. Kursk: number 2, 2014. "Auditorium" e-Science URL: <http://auditorium.kursksu.ru/index.php?page=6&new=2> (date of access: April 28, 2016).

7. On the Uniqueness of the Definition of Specific Identity-important Frequency Bands in the Sound of Russian Speech Exposed to Noise / Zhilyakov E.G., Likholobov P.G., Kurlov A.V., Medvedev A.A. // Scientific Bulletin of Belgorod State University, number 2 (223). Issue 37, Series "History. Political science. Economy. Computer science." Belgorod: GIK. 2016. Pp. 167-174.

8. The Method of Covert Coding of Control Information in the Speech Data / Zhilyakov E.G., Belov S.P., Likholobov P.G., Pashintsev V.P. // Information and Communication Technologies. Saratov Volga State University of Telecommunications and Informatics. Vol.13. №3 2015. Pp 325-333.

9. Fridrich, J. Steganography in digital media: Principles, algorithms, and applications, 2012, Steganography in Digital Media, pp. 1-441.

10. Furui, Sadaoki; Digital speech processing, synthesis, and recognition / Sadaoki Furui. - 2nd ed., rev. and expanded, 2000

11. Nedeljko Cvejic, Tapio Seppanen. Spread spectrum audio watermarking using frequency hopping and attack characterization/ Signal Processing 84. – 2004. – p. 207 – 213.

12. Stanković, S., Orović, I., Sejdić, E. Multimedia signals and systems, 2012, Multimedia Signals and Systems, pp. 1-349.

13. Thierry Dutoit, Ferran Marques. Applied Signal Processing A MATLAB TM-Based Proof of Concept 2009.

14. Vercoe B.L., Csound: A Manual for the Audio-Processing System, MIT Media Lab, Cambridge 1995.

15. Zhilyakov, E.G. Optimal sub-band methods for analysis and synthesis of finite-duration signals, Automation and remote control, pp. Vol. 76, No 4, p. 589-602.

УДК 004

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-16-20

**Маторин С.И.
Егоров И.А.
Жихарев А.Г.
Раков В.И.**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «UFOMODELER»
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕКОТОРЫХ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ**

- 1) профессор кафедры информационных систем, доктор технических наук, профессор. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: matorin@bsu.edu.ru*
- 2) магистрант. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: 888615@bsu.edu.ru*
- 3) старший преподаватель кафедры информационных систем, кандидат технических наук. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru*
- 4) профессор кафедры Информационные системы, доктор технических наук, профессор Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, ул. Комсомольская, 95, г. Орёл, 302026, Россия. *e-mail: rakov2010i@mail.com*

Аннотация

В работе рассматривается процесс итеративного вычисления дифференциального уравнения первого порядка в виде последовательных этапов с применением программного комплекса «UFOModeler».

Ключевые слова: системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект»; визуальное графоаналитическое моделирование; обыкновенные дифференциальные уравнения; численные методы.

UDC 004

**Matorin S.I.
Egorov I.A.
Zhikharev A.G.
Rakov V.I.**

**APPLICATION OF THE «UFOMODELER» SOFTWARE SYSTEM
IN THE SOLUTION OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS
OF FIRST ORDER WITH SOME NUMERICAL METHODS**

- 1) Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Systems, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia *e-mail: matorin@bsu.edu.ru*
- 2) Master's Degree Student, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia *e-mail: 888615@bsu.edu.ru*
- 3) Senior Lecturer, Candidate of Technical Sciences, Department of Information Systems, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia *e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru*
- 4) Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Systems, Orel State University named after Ivan Turgenev, 95 Komsomolskaya St., Orel, 302026, Russia *e-mail: rakov2010i@mail.com*

Abstract

The study examined the process of iterative calculations of differential equation of first order in the form of successive stages on the basis of the UFOModeler software.

Keywords: system-object approach «Unit-Function-Object»; visual graphic-analytical modeling; ordinary differential equations; numerical methods.

Введение

Задачи имитационного моделирования функционирующих систем очень часто сводятся к необходимости формального описания

протекающего процесса, модель которого необходимо построить. В свою очередь множество процессов можно описать определенным дифференциальным уравнением.

Исходя из вышесказанного, для моделирования численных алгоритмов решения дифференциальных уравнений будет выбран системный подход «Узел-Функция-Объект» как единый универсальный подход к исследованию явлений любой природы [1, с. 2]. Данный подход, в том числе, призван обеспечить возможность универсального представления всех видов знаний.

Упомянутый подход является относительно новым и может быть использован для моделирования численных алгоритмов решения дифференциальных уравнений. До настоящего времени данный подход использовался как средство моделирования бизнес-процессов, организационных знаний, а также слабо формализуемых предметных областей. Использование предлагаемого подхода для представления знаний с целью моделирования процесса решения дифференциальных уравнений обусловлено следующими соображениями.

Предметная область, в рамках которой осуществляется вычислительный процесс, сама представляет собой сложную систему. Следовательно, знания об этой предметной области также должны представлять собой систему. Анализ, рассмотренных в литературе по вычислительной математике и численным методам, видов представления дифференциальных уравнений показал, что все виды дифференциальных уравнений могут быть сведены к трем базовым видам: данным о зависимых и независимых параметрах функций (на уровне входов-выходов), процедурным данным (о динамике ее функционирования) и декларативным данным о субстанции системы (об объекте, выполняющем функцию). Представленные соображения и обуславливают использование УФО-подхода для решения задач данного исследования.

Основная часть

На текущем этапе исследования целью являлось моделирование процесса решения обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием численных методов анализа в терминах формализованного графоаналитического подхода «Узел-Функция-Объект».

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- адаптировать УФО-подход к задаче представления математических данных с целью моделирования процесса решения обыкновенных

дифференциальных уравнений;

- разработать диаграммы, отражающие процесс решения обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка в терминах «Узел-Функция-Объект»;

- представить результаты вычислений;

- построить графики функций с помощью программы UFOModeler;

- сделать вывод о точности математических вычислений программного обеспечения UFOModeler.

Будем рассматривать процесс итеративного вычисления дифференциального уравнения первого порядка в виде последовательных этапов, каждый из которых обладает результатом. Причем любая связь (поток) вычислительного процесса представляет собой набор качественных и количественных показателей некоторого объекта, который создается или выполняется в рамках текущего вычислительного процесса.

Рассмотрим пример решения обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка с помощью метода Эйлера-Коши:

$$y' = x^2 - 2y \quad (1)$$

Метод Эйлера-Коши является модификацией метода Эйлера и имеет второй порядок точности вычисления.

Контекстная модель такого процесса представлена на рисунке 1.

Исходя из рисунка 1, процесс вычисления дифференциального уравнения (1) можно рассматривать как определение функции y от «независимых параметров», к ним относят: интервал на котором рассматривается функция $[0..1]$, шаг разбиения интервала – 0.1.

При этом зададим начальное условие решения $y(0)=1$ – «зависимый параметр».

Первый узел диаграммы «инкремент шага h » отвечает за проход по всему интервалу вычисления функции с заданным в условии шагом. Данный узел образует связь с узлом «вычисление приращения Δy », в котором выполняется вычисление $f(x_i, y_i)$ и $f(x_{i+1}, \tilde{y}_{i+1})$:

$$f(x_i, y_i) = x_i^2 - 2y_i, \quad (2)$$

$$\tilde{y}_{i+1} = y_i + hf(x_i, y_i), \quad (3)$$

$$f(x_{i+1}, \tilde{y}_{i+1}) = x_{i+1}^2 - 2\tilde{y}_{i+1}, \quad (4)$$

где $i=0,1,2,\dots,n$.

Число n – количество шагов, определяемое как отношение интервала к размеру шагу:

$$n = \frac{x_n - x_0}{h} \quad (5)$$

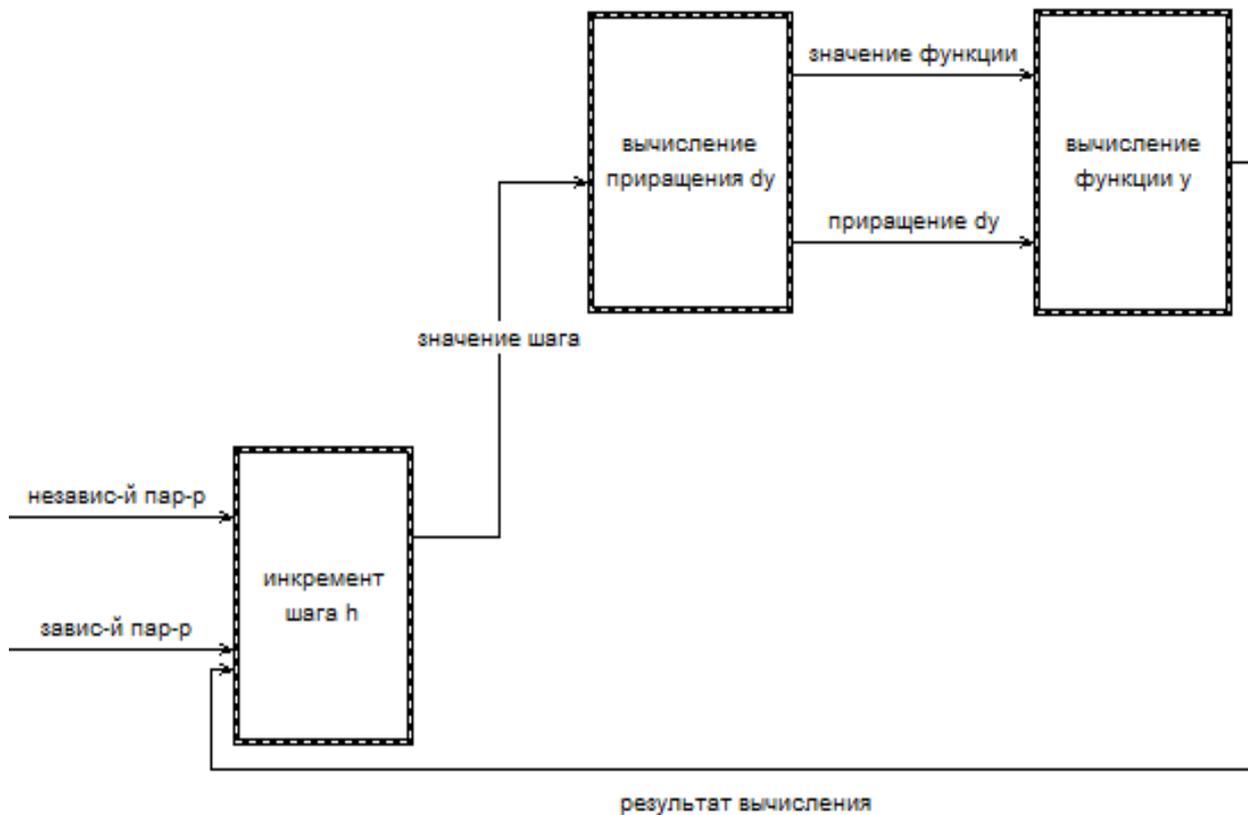


Рис. 1. Контекстная модель процесса вычисления дифференциального уравнения первого порядка
Fig. 1. The contextual process model calculations differential equation

Геометрически это означает, что сначала определяется направление интегральной кривой в исходной точке (x_i, y_i) и во вспомогательной точке $(x_{i+1}, \tilde{y}_{i+1})$, а в качестве окончательного направления берется среднее значение этих направлений.

Далее параметры, которые были определены в текущем узле, передаются к следующему связанному узлу «вычисление функции y » в котором определяется значение функции на текущем шаге интервала:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h * (f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, \tilde{y}_{i+1}))}{2}, \quad (6)$$

Таким образом, рассматриваемое решение состоит из трех этапов. Так как алгоритм определения функции является итеративным, то ответ, полученный на данном шаге, возвращается через связь к первому узлу диаграммы для определения результата очередного шага.

Следующие методы вычисления функции имеют аналогичные диаграммы моделей, не требуют иллюстрации и подробного описания, отличаются только формулами вычисления приращения очередного шага.

Рассмотрим решение дифференциального уравнения (1) с помощью усовершенствованного

метода Эйлера. Улучшение метода заключается в том, что отрезки, построенные между точками функции, должны быть параллельны касательным, которые проведены к графику функции y' не на левых краях, а по центру интервалов разбиения. Суммарная погрешность этого метода есть величина $O(h^2)$.

Приведем формулу усовершенствованного метода Эйлера для узла «вычисление приращения Δy »:

$$f(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} f(x_i, y_i)) = (x_i + \frac{h}{2})^2 - 2(y_i + \frac{h}{2} f(x_i, y_i)). \quad (7)$$

Приведем формулу усовершенствованного метода Эйлера для узла диаграммы «вычисление функции y »:

$$y_{i+1} = y_i + hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} f(x_i, y_i)) \quad (8)$$

Рассмотрим решение дифференциального уравнения (1) с помощью метода Рунге-Кутты четвертого порядка.

Данный метод Рунге-Кутта требует на каждом шаге четырехкратного вычисления правой части $f(x, y)$ уравнения (1). Суммарная погрешность этого метода есть величина $O(h^4)$.

Приведем формулу усовершенствованного метода Рунге-Кутта для узла «вычисление

приращения Δy »:

$$k_1 = f(x_i, y_i) = x_i^2 - 2y_i. \quad (9)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_1\right) = \left(x_i + \frac{h}{2}\right)^2 - 2\left(y_i + \frac{h}{2}k_1\right). \quad (10)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_2\right) = \left(x_i + \frac{h}{2}\right)^2 - 2\left(y_i + \frac{h}{2}k_2\right). \quad (11)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + hk_3) = (x_i + h)^2 - 2(y_i + hk_3). \quad (12)$$

Приведем формулу усовершенствованного метода Рунге-Кутты для узла диаграммы «вычисление функции y »:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4). \quad (13)$$

Сравним полученные результаты расчетов, проведенных в программе «UFOModeler» с точными значениями функции:

$$y_{i+1} = \frac{3}{4}e^{-2x} + \frac{1}{2}x^2 - \frac{1}{2}x + \frac{1}{4}. \quad (14)$$

Вычислим погрешность использованных методов по отношению к точному значению y^* . Занесем данные в сводную таблицу.

Таблица

Погрешности вычисления дифференциального уравнения в зависимости от используемого метода

Table

Error of calculation of the differential equation depending on the method used

h шаг	М. Эйлера-Коши	Погреш-ть М. Эйлера-Коши	М. Усов-й Эйлера	Погреш-ть М. Усов-го Эйлера	М. Рунге-Кутта	Погреш-ть М. Рунге-Кутта	Точные значения y^*
0	1	0	1	0	1	0	1
0,1	0,820500	0,001452	0,820250	0,001202	0,819051	0,00000283	0,819048
0,2	0,675210	0,00247	0,674755	0,002015	0,672745	0,00000472	0,672740
0,3	0,559772	0,0031632	0,559149	0,0025401	0,556615	0,00000569	0,556609
0,4	0,470613	0,0036162	0,469852	0,002855	0,467004	0,00000650	0,466997
0,5	0,404803	0,00389283	0,403929	0,00301885	0,400917	0,00000683	0,400910
0,6	0,359938	0,00404232	0,358972	0,00307566	0,355903	0,00000714	0,355896
0,7	0,334049	0,00410142	0,333007	0,00305876	0,329955	0,00000727	0,329948
0,8	0,325521	0,00409853	0,324416	0,00299354	0,321430	0,00000788	0,321422
0,9	0,333027	0,00405283	0,331871	0,00289675	0,328982	0,00000752	0,328974
1	0,355482	0,003981	0,354284	0,00278301	0,351509	0,00000764	0,351501

Исходя из значений, полученных в таблице 1 можно сделать вывод о том, что метод Рунге-Кутта является наиболее близким по отношению к точному значению, погрешность составляет $|\varepsilon| < 0,00001$. Метод Эйлера-Коши и усовершенствованный метод Эйлера обладают меньшим классом точности, погрешность данных методов составляет $|\varepsilon| < 0,01$.

На основании таблицы построим графики функций. Воспользуемся функцией построения графиков, встроенной в программу «UFOModeler».

На рисунке 2 представлены графики функций, из которых можно сделать вывод о точности приближенных методов решений.

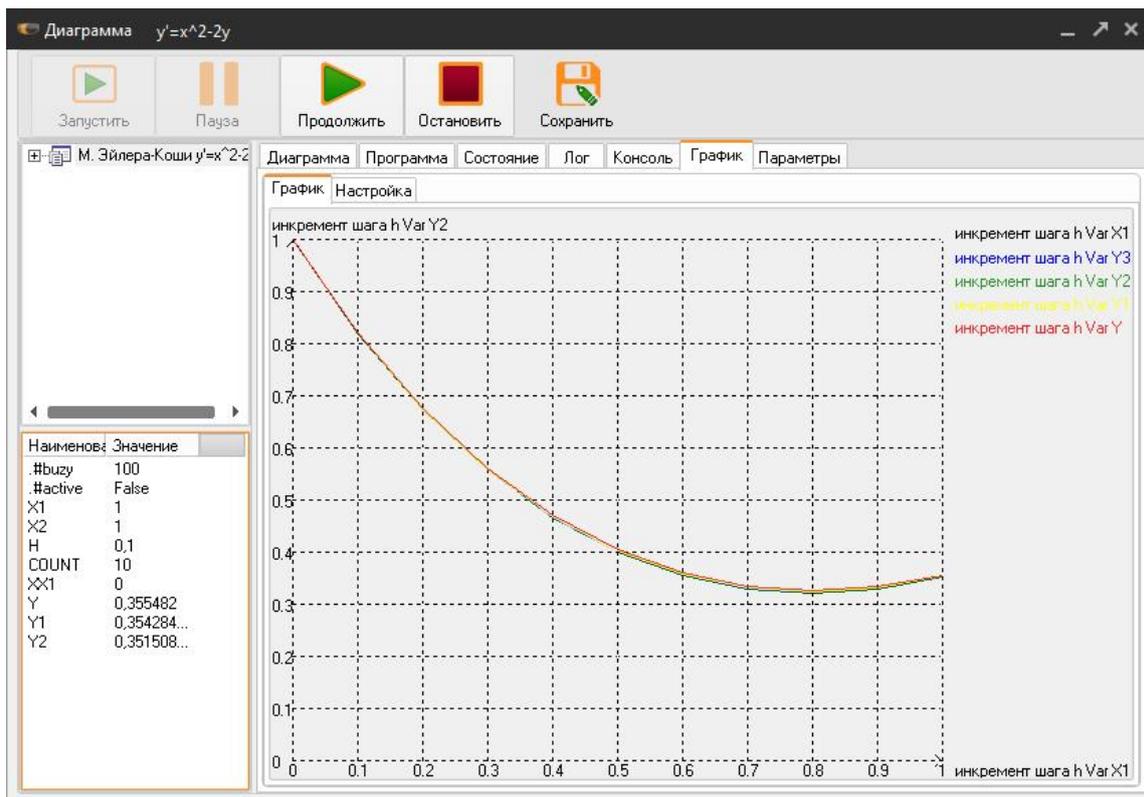


Рис. 2. Различия графиков функций в зависимости от погрешностей

Fig. 2. Differences of graphs of functions depending on the error

Заключение

Таким образом, произведена адаптация УФО-подхода к задаче представления математических данных с целью моделирования процесса решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

Разработаны диаграммы, отражающие процесс решения обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка в терминах «Узел-Функция-Объект».

Сформирована сводная таблица результатов вычислений.

Построены графики результирующих функций с помощью программного обеспечения «UFOModeler».

Имитационное программное обеспечение UFOModeler способно вести вычисления с высокой точностью, и может быть использовано для моделирования вычислительных процессов.

Список литературы

1. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект» // НТИ. Сер. 2. 2005. № 1. С. 1-8.
2. Минский М. Фреймы для представления знаний. М.: Мир. - 1979. - 152 с.
3. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Радио и связь. - 1990. - 376 с.
4. William A. What's in a link: foundations for semantic networks // In: D.G. Bobrow and A. Collins, eds. Representation and Understanding, Academic Press, New York. -1975. pp. 35-82.

References

1. Matorin S.I., Popov S.A., Matorin V.S. Modeling of Organizational Systems in Terms of the New «Unit-Function-Object» Approach. NTI. 2005. № 1(2). pp. 1-8.
2. Minskiy M. Frames for Presentation of Knowledge. M.: Mir, 1979. 152 p.
3. Nielsen N. Principles of Artificial Intelligence. M.: Radio and connection, 1990. 376 p.
4. William A. What's in a link: foundations for semantic networks. In: D.G. Bobrow and A. Collins, eds. Representation and Understanding, Academic Press, New York. 1975. Pp. 35-82.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ
SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE**

УДК 303.223: 332.14: 004.632.4

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-21-30

Ивакин Я.А.

**DIGITAL HUMANITIES: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ХАРАКТЕР
ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, 14 линия, 39.
г. Санкт-Петербург, 199178, Россия. e-mail: ivakin@oogis.ru

Аннотация

Интеграция таких двух разно отраслевых направлений современной науки как история и геоинформационные системы позволяет разработать, внедрить ряд качественно новых информационных технологий для исторических и этнографических исследований. Применение геоинформационных систем, программных систем имитационного моделирования в сочетании с современными средствами интеграции и слияния информации дает возможность повысить эффективность научных исследований в самых различных сферах, в том числе связанных с гуманитарным знанием, к которому можно отнести историю, этнографию, антропологию и другие. Рассмотрению принципиальных возможностей и специфике таких информационных технологий посвящена данная статья. Детализация состава и содержания указанных информационных технологий позволяет описать специфику применения ГИС-методов и соответствующих средств интеграции информации, ориентированных на использование в сфере исторических и этнографических исследований, в целом.

Ключевые слова: географические информационные системы; ГИС-технологии; историческая реконструкция, дистанционное зондирование Земли; представление знаний и данных о историко-географическом процессе на базе ГИС.

UDC 303.223: 332.14: 004.632.4

Ivakin Ya.A.

**DIGITAL HUMANITIES: MULTIDISCIPLINARY ASPECT FOR
APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES IN HISTORIC RESEARCH**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher,
St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, 39 14-th Line V.O., St.
Petersburg, 199178, Russia. e-mail: ivakin@oogis.ru

Abstract

The integration of such two greatly different directions in the modern science as history and geoinformation systems allows for developing and implementing a number of qualitatively new information systems applicable to the historical and ethnical research. The application of the geoinformation systems, program systems of modeling in composition with advanced tools for information integration and fusion gives a possibility to enhance the scientific research efficiency in various spheres, including those related to humanitarian knowledge that definitely encompasses history, ethnography, anthropology and others. The paper is aimed at considering the basic potential and peculiarities of the above information technologies. Detailization of the composition and content of the indicated information technologies allows for describing the specifics of GIS methods application as well as of the relevant information integration tools oriented to the use in the historic and ethnographic research sphere as a whole.

Keywords: geographic information systems; GIS technology; historical reconstruction; Earth remote sensing; knowledge representation and data about the historical and geographical processes based on GIS.

Введение

Активная информатизация сферы гуманитарного знания, широкое распространение возможностей удаленного доступа к историческим, литературным и пр. подлинникам документов в электронном виде, прогресс в области создания распределенных баз данных определили формирование такого нового научного направления исследований, как Digital Humanities (DH). Digital Humanities – принято переводить на русский как Цифровые гуманитарные науки. Это область исследований, обучения и созидания, созданная на стыке компьютерных и гуманитарных наук [1]. Цифровые гуманитарные науки предполагают использование оцифрованных материалов и материалов цифрового происхождения и объединяют методологии из традиционных гуманитарных наук (история, философия, лингвистика, литература, искусство, археология, музыка и т.д.) с компьютерными науками, предоставляя компьютерные инструменты и открывая новые возможности для сбора и визуализации данных, информационного поиска, интеллектуального анализа данных, а также применения математической статистики, методов имитационного моделирования. Очевидно, что цифровое представление многих исторических документов и обеспечение удаленного доступа к ним дает не только широкие репрезентативные возможности для потенциальных исследователей, но и открывает для них определенный программно-технологический потенциал. Именно раскрытию такого потенциала и посвящена данная статья, которая является развитием концептуального и технологического подхода, описанного в [2].

Географические информационные системы (ГИС) сегодня нашли применение как программный инструментальный доступный самому широкому кругу пользователей, а также являются предметом серьезного внимания со стороны ученых как естественнонаучной, так и гуманитарной специализации. Такое внимание обусловило необычайно бурный рост ГИС технологий. В настоящее время производители программного обеспечения либо осуществляют разработку собственных ГИС, либо разрабатывают промежуточное программное обеспечение для построения таких систем,

реализующие различные инновационные информационные технологии. Геоинформационные системы традиционно создавались как средства наглядного представления географической (пространственно-координированной) информации. (Геоинформационная система, в традиционном понимании этого термина, это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных [1].) Большинство из хорошо известных и широко используемых ГИС это, прежде всего, программные средства визуализации цифровых наборов географической информации. Однако, анализ современных требований к этим системам как исследовательскому инструментарию в исторической науке, антропологии и этнографии показывает все более возрастающую потребность в возможности использовать ГИС не только как среду визуализации и традиционного моделирования историко-географических процессов, но и как платформу для интеграции разноплановой (гетерогенной) информации в интересах изучения указанных процессов. Именно такая возможность позволяет рассматривать ГИС как прогностическое средство обоснования исследовательских решений, вновь выявляемых фактов, знаний. Именно для геоинформационных систем, позволяющих интегрировать данные и знания о пространственных процессах различной (в т.ч. исторической, антропологической, этнографической и пр.) природы, необходимы и характерны свойства, обобщенно воспринимаемые исследователем как принципиально новое качество.

Особым направлением в развитии ГИС технологий является применение методов и средств интеграции и слияния гетерогенной информации для расширения их функциональных возможностей. В предлагаемой статье в качестве геоинформационной системы, ориентированной на использование в сфере историко-этнографических исследований, рассматривается совокупность ГИС-интерфейса, системы пространственно-временного моделирования, экспертной системы и редактора онтологий. При этом экспертная система выступает тем конструктивным элементом, который

обеспечивает новое качество интеграции разноплановой и разно типовой информации. Экспертная система при этом в себя включает [6]:

- программную полнофункциональную машину логического вывода. В качестве таковых могут использоваться машины логического вывода современных интерактивных сред искусственного интеллекта, таких как CLIPS, Jess и других;
- упорядоченную совокупность баз знаний для различных сценариев протекания историко-географических процессов.

Необходимо особо указать, что экспертная система используется и как традиционное средство интеллектуальной поддержки исследователя, и как система управления моделированием, работающая в соответствии с некоторыми «сценариями».

Применение ГИС указанной архитектуры для интеграции и слияния информации в ходе историко-этнографических исследований привело к появлению целого ряда новых информационных технологий, прежде всего таких как:

- Технология представления данных дистанционного зондирования Земли о пространственно-протяженных исторических объектах;
- Технология построения (корректиры) областей (ареалов), имеющих историко-этнографическое, историко-экономическое и пр. значение;
- Технология моделирования ретроспективной динамики различных исторических и историко-географических процессов;
- Технология идентификации и уточнения фактов в развитии историко-географических процессов на основе визуализации их текстовых описаний;

– и другие.

Детализация состава и содержания указанных информационных технологий позволяет описать специфику применения ГИС-методов и соответствующих средств интеграции информации, ориентированных на использование в сфере исторических и этнографических исследований, в целом.

Технология представления данных дистанционного зондирования земли о пространственно-протяженных исторических объектах

Технология представления данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) о пространственно-протяженных исторических объектах позволяет обеспечить ретроспективное изучение состояния и динамики изменений объектов и явлений, географические масштабы которых не позволяют наблюдать их, в целом, не иначе как с околоземной орбиты. В качестве примера таких объектов и явлений можно привести: Великая китайская стена, искусственные острова у побережья Объединенных Арабских Эмиратов, изменения объектов инфраструктуры в районах обширных природных катаклизмов и пр. В составе указанной технологии выделяется следующая последовательность этапов:

- 1) Проведение ориентации исходного цифрового набора снимка ДЗЗ в используемой в ГИС системе координат и привязка его к электронной карте, с учетом используемой модели Земли (Эллипсоид Красовского (СК-42, СК-95), WGS-84 и пр.) и картографической проекции (Равноугольная (Меркатора), поперечно-цилиндрическая (Гаусса-Крюгера), коническая и пр.). Существо работ данного этапа показано на рисунке 1.

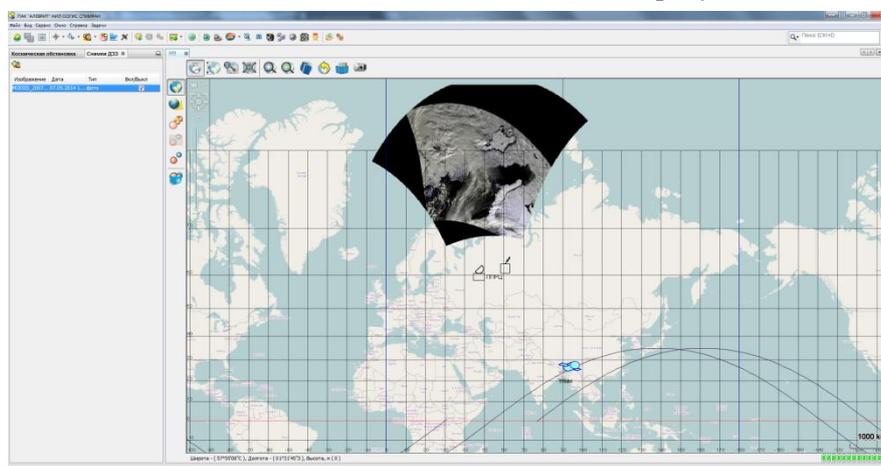


Рис. 1. Ориентация и привязка снимка ДЗЗ в ГИС
Fig. 1. Exposure and binding of the image of Earth remote sensing into GIS

При этом каждый снимок ДЗЗ рассматривается как специализированный набор пространственных данных, имеющих необходимые атрибуты, позволяющие осуществить его позиционирование на электронной карте (Местоположение и высота спутника, с которого сделан снимок, координаты опорных точек привязки, точное время снимка и пр.). Для описания таких атрибутивных данных используется специализированный WKT (Well-known text)-формат.

2) Выделение на исходном снимке земной поверхности, при достаточном его разрешении, цифрового набора, соответствующего конкретному району исследуемого исторического или этнографического объекта. На рисунке 2 в качестве примера такого набора исходных данных ДЗЗ приведена фотография участка Великой китайской стены, проходящей в горной местности.



Рис. 2. Космический снимок участка Великой китайской стены до проведения фильтрации
Fig. 2. Satellite image of a section of the Great Wall of China prior to the filtration

3) Отстройка (фильтрация) изображения исследуемого объекта от помех спектрального и атмосферного характера, визуальное улучшение качества изображения. Существо работ данного этапа показано на рисунке 3.

4) Распознавание исследуемого исторического или этнографического объекта и его семантически-важных элементов на обработанном снимке, путем последовательных сегментации изображений, формирования

пространства признаков выделения объекта (элементов) и классификации, согласно этих признаков. Обычно данный этап представляет собой наиболее сложный и трудоемкий этап представления данных ДЗЗ на электронной карте. При всем совершенстве современных методов распознавания образов и разработанности соответствующего программного обеспечения, данный этап предполагает непосредственное участие человека в окончательном принятии решений об отнесении того или иного изображения к образу исследуемого исторического объекта.



Рис. 3. Улучшение качества изображения Великой китайской стены за счет фильтрации помех спектрального и атмосферного характера
Fig. 3. Improving the quality of the image of the Great Wall of China at the expense of filtration of noise of spectral and atmospheric nature

5) Предметно-содержательный анализ состояния исследуемого объекта (его отдельных элементов) семантически значимых его характеристик, свойств, с отображением в топонимике условного обозначения или атрибутивной информации на электронной карте.

6) Условно-графическое отображение исследуемого объекта (его элементов) на обобщающей электронной карте соответствующего географического района, с учетом используемого формата электронной карты (SXF, VPF, S-57 и пр.). Для используемого в качестве примера исторического объекта обобщающее представление может выглядеть как показано на рисунке 4.



Рис. 4. Условно-графическое представление Великой китайской стены на обобщающей карте в ГИС
Fig. 4. Conditional and graphical representation of the Great Wall of China on the generalizing map in GIS

На заключительном этапе описанного программно-технологического процесса производится интеграция атрибутивных и предметных данных путем написания соответствующего скрипта и тестирование совместного использования соответствующих ГИС-приложений и базы данных ДЗЗ путем проигрывания отдельных действий по отображению условно-графических и непосредственно фотографических данных, решения частных задач исследования.

Во многом аналогична описанной технология моделирования ретроспективной динамики различных исторических и историко-географических процессов. Она предполагает возможность последовательного накопления временных «срезов» снимком пространственно-протяженного исторического объекта и данных его картирования, с дальнейшей возможностью пространственно-временного моделирования последовательного во времени «проигрыша» таких изображений. Это позволяет увидеть временную динамику в изменении состояния объекта и его окружения, оценить общую тенденцию в изменениях объекта и ее скорость.

В целом, интеграция картографической геоинформации и данных ДЗЗ открывает качественно новые возможности для исторических исследований, новый пласт технологий для исторической информатики.

Технология построения (уточнения) границ областей, имеющих этнографическое, политическое и экономическое значение

Традиционно в исторических работах географические карты используются не только для наглядного представления физического ландшафта протекания исторических,

этнографических, политических, экономических и пр. процессов, но и для передачи их предметной сущности в географической интерпретации. Существо этого тезиса можно легко пояснить практически любой картой историко-этнографического плана.

Необходимо констатировать, что, как правило, границы областей (ареалов), интерпретирующих историко-этнографические, историко-экономические и пр. данные носят весьма условный характер.

Современные ГИС-технологии значительно расширяют возможности не только по геоинтерпретации историко-этнографических и пр. данных, но и выступают в качестве инструментария корректного построения или уточнения границ указанных областей. В частности, для решения задачи корректного построения (уточнения) границ областей и ареалов широко стала использоваться технология т.н. «температурных карт». Данное название технологии вызвано к жизни аналогией с методикой определения зон атмосферных фронтов по картам измеренных температур. Суть этой технологии заключается в следующем:

1) Какой-либо параметр, имеющий историческое, этнографическое и пр. значение, с заданным площадным шагом представления (измерения), наносится на карту в виде интенсивности определенного цвета или прозрачности. Примером такого параметра, применительно к рис.6, может служить: плотность населения русской национальности;

2) Методами математической экстраполяции определяются значения интерпретируемого параметра для тех подобластей, для которых нет данных измерений;

3) С учетом принимаемой доверительной вероятности определяется пороговое значение интерпретируемого параметра, превышение которого позволяет отнести данную географическую точку (площадной шаг, район) к выявляемой области. Например, если в районе плотность населения русской национальности превышает значение 50 чел./кв.км, то этот район отнести к области преимущественного расселения людей русской национальности;

4) Программными средствами выполняется обобщение всех районов (т.е. изначальных площадных шагов), отнесенных согласно решающе-пороговому правилу, к выявляемой области (ареалу).

Таким образом, границы областей (ареалов), интерпретирующих историко-этнографические,

историко-экономические и пр. данные получаются на основании единой квазиобъективной процедуры и уровень их достоверности может быть оперативно оценен по значению доверительной вероятности, принимаемой при задании решающе-порогового правила.

Необходимо отметить, что данная технология способна выступить в качестве мощного исследовательского инструментария в руках продвинутого ученого историка, этнографа. Изучение, современных научных монографий историко-этнографического характера, таких как работы [4, 5], показывает, что изучение территориальной динамики в процессе этногенеза наций (народностей) в ретроспективе ее развития является одним из наиболее продуктивных методов научной истории и этнографии. Следовательно, описанная технология представляет собой технологию обоснованной информатизации и автоматизации этого метода, а значит ее широкое применение в историко-этнографических исследованиях имеет широкую перспективу.

Технология идентификации и уточнения фактов в историко-географических процессах на основании визуализации их текстовых описаний

Географически строгая идентификация местоположения различных исторических объектов, мест свершения каких-либо актов и пр. с помощью двух основных координат: широты и долготы места, в значительной степени не соответствует предметно-обусловленному характеру передачи географической информации в исторических первоисточниках. Особенно четко эта тенденция наблюдается в текстовых описаниях наиболее ранних событий, когда еще само понятие географических координат отсутствовало. Не свойственна строгая географическая идентификация местоположения и более поздним историческим текстово-описательным первоисточникам. Это связано с тем, что в ходе практической деятельности люди, не связанные с точным измерением местоположения на земной поверхности, широко используют качественные понятия для быстрой и приближенной идентификации местоположения объекта (Например, «В районе деревни Бородино», «У мыса Доброй Надежды»). Такое естественное для человека представление географической информации позволяет ему анализировать предметную ситуацию скорейшим образом в большинстве реальных практических

задач повседневной практики. Естественно, что этот же подход встречается в исторических источниках.

Вместе с тем, очевидно, что неточность указанного способа идентификации местоположения исторических событий, актов и пр. создает почву для ошибок в установлении тех или иных фактов, не корректных исторических трактовок, вольных или не вольных фальсификаций.

Широкий переход от традиционного бумажного представления географических карт к геоинформационным системам и неуклонная интеллектуализация прикладных возможностей ГИС позволяет обеспечить историков-исследователей не только координатной информацией для идентификации местоположения объекта, но и проинтерпретировать текстовые описания исторических фактов в предметно-деятельностном виде (т.е. в традиционных качественных категориях предметной области деятельности) как информацию для идентификации местоположения.

Суть такой идентификации местоположения исторического события или объекта заключается в установлении соответствия предметно-естественных наименований для территориально-географических полигонов, с определенной дискретностью. Тогда сама идентификация сводится к тривиальной для ГИС задаче попадания географической точки (окрестности точки) описываемого местоположения в соответствующий полигон или систему вложенных полигонов. Так для «грубого» позиционирования, это будут полигоны, описываемые категориями вида: «Южная часть Крымского полуострова», «Восточная часть Финского залива» и пр. Для относительно детально – описанных участков земной поверхности применимы назывные категории вида: «Севернее излучины реки Мста», «Севернее острова Котлин», «Копорская губа» и пр. Соответственно, для конкретных географических мест, имеющих однозначную идентификацию согласно историко-документальных источников, это будут категории: «Вершина Сапун-горы», «Камни южнее острова Мощный» и пр. Очевидно, что размеры полигонов соответствующих относительно детально-описанным участкам моря и конкретным историко-географическим местам определяются экспертным путем, на основании суммарного обобщения географо-терминологического базиса

документальных источников рассматриваемого исторического периода (т.е. конфигурация и наименование предлагаемых полигонов на одной и той же карте для интерпретации событий различных исторических периодов могут быть кардинально различными). Для примера практической реализации описанной градации на рис. 5 показана схема разбивки карты восточной части Финского залива. В данном случае разбивка выполнена на полигоны двух классов размерности: более крупные (более толстые границы) и, вложенные в них, малые полигоны (тонкие границы красного цвета).

Таким образом, встроенная в ГИС подсистема интеллектуальной поддержки позволяет проинтерпретировать фразу, взятую из историко-архивного источника и адаптированную под современный терминологически-разговорный язык (Например, из [3]): "Две гребные галеры

русского флота приняли бой со шведским барком севернее острова Сескар: отойдя в утреннем тумане от острова и потеряв его из виду, они столкнулись с шведским барком, двигавшимся со стороны большого трапзундского рейда на юг. В ходе боя барк был подожжен, горел и был восточным ветром выброшен на Деманстейскую банку." как некоторый географический квадрат в достаточно узких географических координатах, выраженных в виде: "Широта 60 10.2 S; Долгота 28 43.5 W".

Описанная программная технология предметно-деятельностной идентификации местоположения предусматривает для специфических видов деятельности возможность наращивания номенклатуры видов полигонов, изменения дисциплины осуществления анализа исторических фактов в полигонах различного вида.

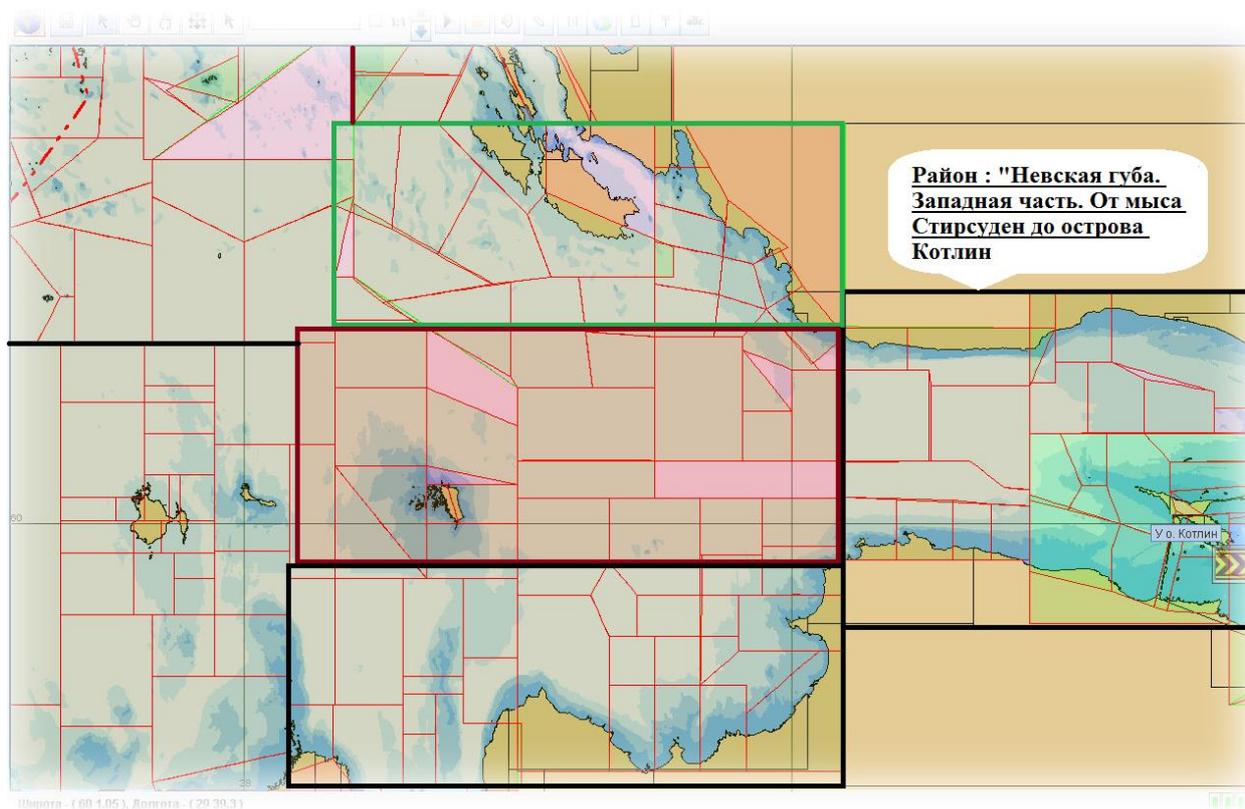


Рис. 5. Пример территориальной разбивки карты восточной части Финского залива для идентификации местоположения и фактов протекания историко-географических процессов

Fig. 5. An example of the territorial breakdown of the map of the eastern part of the Gulf of Finland for identification of the location and facts of flow of historical and geographical processes

Выше описанная конкретизация местоположения и географических условий протекания тех или иных исторических событий позволяет уточнить множество «тонкостей» в их

описаниях, установить новые или опровергнуть не достоверные факты. Наибольшую эффективность такое уточнение обеспечивается сочетанием описанной технологии с

возможностями современных систем геопространственно-временного имитационного моделирования протекания процессов.

Очевидно, что данная технология не претендует на исчерпывающий характер реализуемого метода исторических исследований и во многом зависит от полноты описаний историческо-географических процессов, но она может быть полезна как дополнительное средство анализа исторической информации в условиях ее неполноты, нечеткости и неточности.

Построение геохронологического трека исторического объекта на основании фрагментарной исходной информации

Класс специализированных методов и ГИС-средств интеллектуальной поддержки принятия решений исследователя при проведении компьютерной реконструкции тех или иных исторических процессов в геопространстве (Например, движение войск, перемещение исторической личности и пр.) сегодня объективно не достаточен. В силу этого факта актуальна разработка интеллектуального ГИС-инструментария, относящегося именно к такому классу. Наибольшую эффективность такого

инструментария в гуманитарных исследованиях обеспечивается сочетанием геоинформационных технологий с возможностями современных систем геопространственно-временного имитационного моделирования протекания процессов.

Основным конструктивом такого инструментария является механизм интеграции хронологических и геопространственных данных в виде геохронологического трека. Исходя из энциклопедического понимания слова “трек” как ряда точек на траектории движения, вереницы событий, можно трактовать “Геохронологический трек” – как совокупность параметров (данных), описывающих ряд последовательных событий в жизни индивида (группы, некоторой исторической общности) с привязкой ко времени и месту появления этих событий. На географической карте такой трек будет представлять кривую соединяющую географические точки нахождения исторической личности (группы и пр.) с цвето-градиентной привязкой к хронологии событий. Существо описанной идеи геохронологического трека показано на рисунке 6.

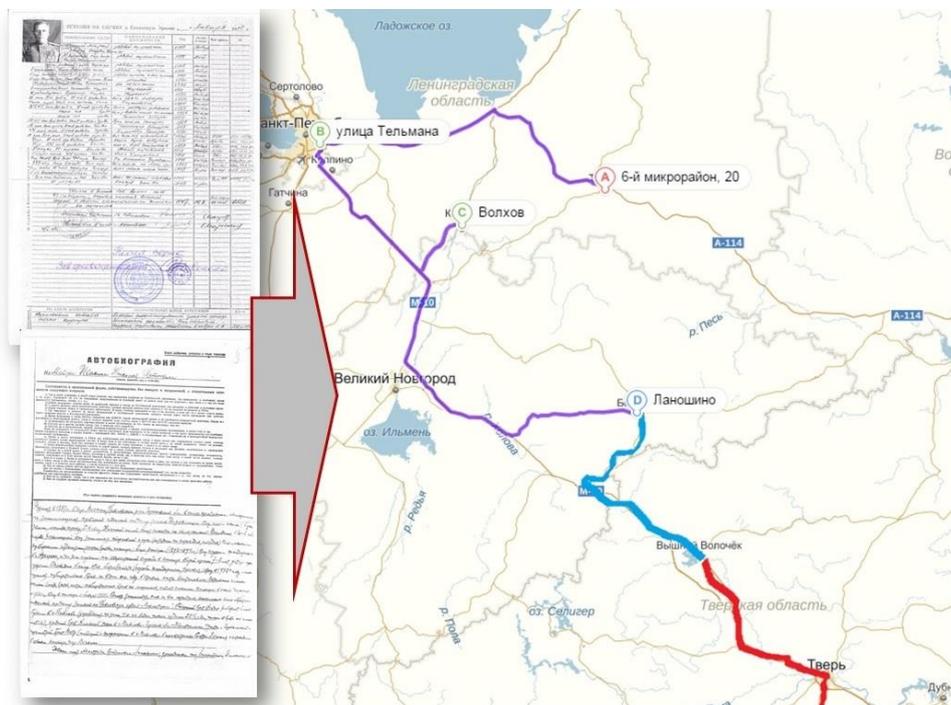


Рис. 6. Пример геохронологического трека
Fig. 6. Example of the geochronological track

Для математическо-алгоритмической и программной реализации построения такой кривой, в условиях объективной фрагментарности исходной историко-архивной информации,

необходимо методами имитационного моделирования решить ряд частных задач:

- вероятностная оценка и учет при отображении трека не равномерного характера

перемещений исторических личностей во времени и пространстве (математически: отсутствия непрерывности и равномерности приращений перемещений исторических личностей или групп);

- учет неопределенности, неточности имеемой исторической информации о перемещениях исторических личностей в географическом пространстве, о местоположении тех или иных исторических событий в виде соответствующих доверительных интервалов и доверительных вероятностей;

- учет влияния изменений самого географического пространства (ландшафта протекания исторических процессов) во времени;

- оценка влияния специфики поиска и подготовки исходных исторических и геопространственных данных для построения трека;

- и ряд других подобных задач.

- Разработка алгоритмических и программных механизмов построения и корректного отображения геохронологических треков для отдельных исторических личностей, членов малых социальных групп и пр. позволяет добиться снижения неопределенности (неточности) исторического знания при решении таких типов исторических задач как:

- установление возможности встреч, зависимости исторических событий и пр.;

- выявление и дезавуирование исторических фальсификаций;

- уточнение компьютерных реконструкций в историко-географическом плане, и т.п.

Заключение

Применение интеллектуализированных ГИС в сочетании с современными средствами интеграции и слияния информации дает возможность повысить эффективность научных исследований в самых различных сферах, в том числе связанных с гуманитарным знанием, к которому можно отнести историю, этнографию, антропологию и другие.

Резюмируя описание новых возможностей, которые дает интеграция методов и средств искусственной интеллектуальности, слияния информации и геоинформационных технологий, можно сформулировать ряд качественно-новых отличий интеллектуализированных ГИС, ориентированных на исторические исследования. Такая современная интеллектуальная геоинформационная система должна обеспечивать:

- возможность разработки тематических карт для исследуемой предметной области, с использованием соответствующих средств визуализации, специализированных нотаций условных графических знаков, соответствующих средств редактирования, специализированных онтологий и типов данных;

- визуальную разработку моделей протекания историко-географических пространственных процессов (сценариев протекания) для осуществления имитационного моделирования в ГИС;

- проигрывание (симуляцию) сценариев протекания историко-географических пространственных процессов в реальном и произвольном масштабе времени с наглядным отображением в виде условных знаков на фоне электронной карты;

- выдачу рекомендаций лицам, принимающим исследовательские решения, в случае выявления по ходу розыгрыша сценариев очевидных нестыковок учитываемых фактов при проведении исследовательского моделирования, имитационных игр и анализа ситуаций;

- представление географических (пространственно-координированных данных) для пользователя в традиционных качественных категориях предметной области деятельности;

- интеллектуальный анализ пространственно-временной деятельности объектов и др.

Предлагаемый в данной статье подход к применению интеллектуализированных ГИС-технологий в исторических и этнографических исследованиях предусматривает для различных категорий пользователей возможность параметризации и наращивания номенклатуры видов моделей протекания историко-географических пространственных процессов, изменения дисциплины осуществления анализа положения на электронной карте, что позволяет говорить о его универсальности и широкой научно-исследовательской применимости.

Поддержка исследований

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-07-00127 «Интеллектуальная поддержка принятия решений при геопространственной реконструкции динамики историко-географических процессов»).

Список литературы

1. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. М.: ГИС-Ассоциация, 1999. 204 с.
2. Ивакин Я.А., Ивакин В.Я. Новые возможности исторических исследований при использовании ГИС-технологий интеграции информации // Историческая информатика. 2013. № 4(6). С. 62-71.
3. Кротов П.А. Осударева дорога 1702 года: пролог основания Санкт-Петербурга. СПб.: Издательство «Историческая иллюстрация», 2011. 310 с.
4. Логинов А.В. Власть и вера: Государство и религиозные институты в истории и современности. М.: Большая Российская энциклопедия, 2005. 496 с.
5. Логинов А.В. Россия и Евразия. Евразийский вектор: поиски российской цивилизационной идентичности в XX столетии. М.: Большая Российская энциклопедия, 2013. 551 с.
6. Попович В.В. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки / Под общ. ред. Юсупова Р.М. и Поповича В.В. СПб.: Наука, 2013. 284 с.

References

1. Geoinformatics. Explanatory Dictionary of Key Terms / Baranov Yu.B., Berlyant A.M., Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Serapinas B.B., Filippov Yu.A. Moscow: GIS-Associacija, 1999. 204 p.
2. Ivakin Ya.A., Ivakin V.Ya. 2013. New Features of Historical Research Using GIS Technology of the Information Integration. Historical informatics. Volume 4(6), Pp. 62-71.
3. Krotov P.A. Sovereign's Road in 1702: the Prologue of Foundation of St. Petersburg. St. Petersburg: Izdatel'stvo «Istoricheskaja illjustracija». 2011. 310 p.
4. Loginov A.V. Power and Faith: The State and Religious Institutions in the History and the Present. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya Enciklopediya, 2005. 496 p.
5. Loginov A.V. Russia and Eurasia. Eurasian Vector: the Search for the Russian Civilizational Identity in the XX Century. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya Enciklopediya. 2013. 551 p.
6. Popovich V. Intelligent Geographic Information Systems for the Marine Environment Monitoring. Edited by Yusupov R.M. and Popovich V.V. St. Petersburg: Nauka, 2013. 284 p.

УДК 658.51.012

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-31-45

Пигнастый О.М.

**СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ МНОГОРЕСУРСНОЙ ПОТОЧНОЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ**

профессор кафедры компьютерного мониторинга и логистики, доктор технических наук, доцент
Национальный Технический Университет «ХПИ», ул. Пушкинская, д. 79-2, г. Харьков, 61102, Украина
e-mail: pom7@bk.ru

Аннотация

В статье рассмотрен механизм переноса технологических ресурсов на предмет труда в результате воздействия технологического оборудования. Проанализирована структура производственного цикла и технологических ресурсов. Основываясь на определениях составных частей технологического процесса показана структура эффективного времени обработки предмета труда. Рассмотрены составные части процесса переноса технологических ресурсов на предмет труда в результате воздействия технологического оборудования. Исследованы законы распределения случайных процессов переноса технологических ресурсов для простых технологических схем обработки предмета труда. Рассмотрен принцип формирования обобщенной единицы технологического оборудования и показан механизм построения производственных функций обобщенной единицы технологического оборудования для последовательной и параллельной схемы расположения оборудования. Рассмотрен принцип построения сетевой модели производственной линии для многономенклатурного производства.

Ключевые слова: технологический процесс; технологическая операция; предмет труда; средства труда; свойства и параметра изделия; тип производства; методы организации; PDE-модели поточных линий; система управления поточным производством; статистические модели производственных систем.

UDC 658.51.012

Pihnastyi O.M.

**THE NETWORK MODEL OF THE MULTIPLE RESOURCES FLOW
MANUFACTURING LINE**

Doctor of Engineering, Professor. Department of Computer Monitoring and Logistics, National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute» 79-2 Pushkinskaya, Kharkov, 61102, Ukraine.
e-mail: pom7@bk.ru

Abstract

The article describes the transfer of the technological resources on the subject of labor as a result of the impact of technological equipment. The paper analyzes the structure of the production cycle and technological resources. It shows the structure of effective processing time of the subject of labor. The author considers the laws of distribution of random processes of transfer of technological resources for simple flow schemes of processing the subject of labor. The article describes the principle of formation of a generalized production unit and demonstrates the mechanism of building production functions of the generalized production unit for sequential and parallel arrangement of equipment. The article also demonstrates the principle of construction of a network model of the production line for multiproduct production.

Keywords: process; process operation; subject of labor; means of labor; properties and parameters of the product; type of production; methods of organization; PDE-model production lines; production management system; statistical models of manufacturing systems.

Введение

Одной из основных тенденций развития современного промышленного производства является то, что при постоянном сокращении продолжительности жизненного цикла изделий основная его часть приходится на переходной неустановившийся режим функционирования производственных линий. В связи с этим при проектировании систем управления производственными линиями для переходных режимов в последнее десятилетие особое внимание уделяется использованию совершенно новых типов моделей управляемых производственных процессов, а также программ и алгоритмов управления ими [1]. Подробный обзор моделей, используемых при проектировании систем управления производственными линиями, представлен в работе [2]. Анализ моделей переходных управляемых производственных процессов выполнен в [3]. Существенный интерес среди рассмотренных моделей представляет класс моделей производственных поточных линий, использующих уравнения в частных производных [1]. Данный класс моделей, получивших название PDE-моделей, позволяет проектировать системы управления производственными поточными линиями, функционирующими в квазистационарных и переходных режимах. Впервые замкнутые балансовые уравнения в частных производных, которые использованы в PDE-моделях поточных линий, получены с обоснованием условий их применения в рамках статистической теории производственных систем [4]. Анализ принципов и методов построения систем управления производственным процессом представлен в работе [5]. Настоящий материал посвящен обсуждению процесса переноса технологических ресурсов на предмет труда.

Производство представляет собой сложный процесс превращения сырья, материалов и полуфабрикатов в готовую продукцию. При воздействии технологического оборудования на предмет труда в процессе выполнения операции осуществляется перенос технологических ресурсов. На каждой операции неизбежно проявляются колебания, как времени выполнения [6], так и количества перенесенных за это время на предмет труда ресурсов, что обусловлено комплексом действующих на производстве случайных и систематических факторов. Эти факторы приводят к отклонениям параметров предмета труда от номинальных значений [7].

Ограничения возможностей метода изготовления изделия, замена при технологических расчетах точных формул приближенными, неточность изготовления оснастки, деформация и износ оборудования, температурные воздействия на деталь или рабочий инструмент в зоне обработки вызывают систематические погрешности. Случайные технологические погрешности определяются неоднородностью сырья, отклонениями параметров комплектующих изделий, колебаниями параметров режима обработки. В ходе технологической обработки на предмет труда одновременно воздействуют разные производственные факторы, определяющие закон распределения значений его параметров в виде композиции нескольких законов распределения [8].

Структура производственного цикла и технологических ресурсов [9-11]

Технологический процесс определяется как процесс перехода предметов труда из одного состояния в другое в результате воздействия технологического оборудования [12-14]. Процесс переноса ресурсов на предмет труда является случайным процессом [7, 8]. Сечение случайного процесса переноса технологических ресурсов на предметы труда в каждый момент времени определяется состоянием параметров N предметов труда [13, 15]. В результате выполнения m -ой ($m=1, \dots, M$) операции на предметы труда переносятся ресурсы стоимостью $\Delta S_{m, \psi}$ [15, 16], структура которой представлена на рис. 1:

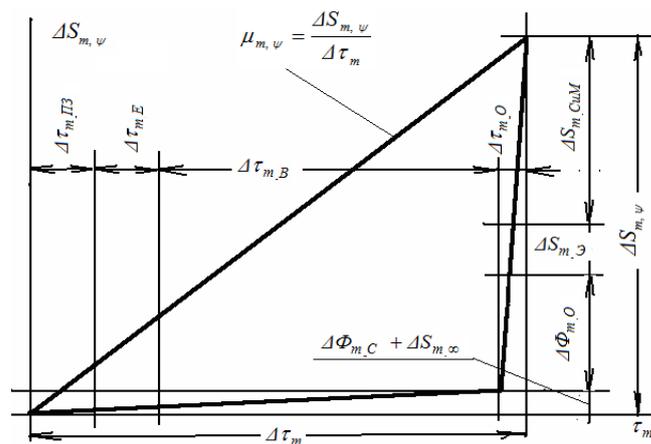


Рис. 1. Процесс переноса стоимости ресурсов на предмет труда

Fig. 1. The process of transferring the cost of resources on the subject of labor

$$\Delta S_{m, \psi} = \Delta S_{m, CuM} + \Delta S_{m, \varepsilon} + \Delta \Phi_{m, O} + \Delta \Phi_{m, C} + \Delta S_{m, \infty}, \quad (m=1..M), \quad (1)$$

где $\Delta S_{m, CuM}$ (грн.) – стоимость затрат на основной и вспомогательный материалы, полуфабрикаты и комплектующие;

$\Delta S_{m, \varepsilon}$ (грн.) – стоимость затрат энергоресурсов;

$\Delta \Phi_{m, O}$ (грн.) – стоимость затрат фонда оплаты труда основных рабочих;

$\Delta \Phi_{m, C}$ (грн.) – стоимость затрат фонда оплаты труда неосновных и вспомогательных рабочих,

связанных с обслуживанием технологического процесса на m -ой операции [15, 16];

$\Delta S_{m, \infty}$ (грн.) – стоимость прочих затрат, связанных с выполнением m -ой операции.

Стоимость технологических ресурсов $\Delta S_{m, \psi}$ (1) переносится на предмет труда за эффективное время обработки (EPT, Effective Processing Times) $\Delta \tau_m$ [15-20], структура которого может быть представлена как (рис. 2)

$$\Delta \tau_m = \Delta \tau_{m, O} + \Delta \tau_{m, B} + \Delta \tau_{m, IB} + \Delta \tau_{m, E}, \quad (m=1..M), \quad (2)$$

где $\Delta \tau_{m, O}$ (час) – норма основного времени, необходимого для достижения цели операции по качественному и количественному изменению состояния предмета труда;

$\Delta \tau_{m, B}$ (час) – норма вспомогательного времени, требуемого для осуществления действий, создающих возможность выполнения;

$\Delta \tau_{m, E}$ (час) – норма времени на выполнение естественных процессов;

$\Delta \tau_{m, IB}$ (час) – норма операции подготовительно-заключительного времени (подготовка средств производства к выполнению операции и приведение их в первоначальное состояние после ее окончания).

Базовые составляющие стоимости перенесенных ресурсов (1) и эффективного времени обработки (2) являются условными и определяются особенностями конкретного технологического процесса. Интенсивность переноса оборудованием ресурсов $\Delta S_{m, \psi} = \Delta S_{m, \psi}(t)$ за эффективное время обработки $\Delta \tau_m = \Delta \tau_m(t)$ на j -й предмет труда, находящийся в межоперационном заделе на m -ой операции, является случайным процессом $\mu_{m, \psi}(t)$ [21, 22], значение которого в момент времени $t = t_0$ определяется случайной величиной $\mu_{m, \psi} = \mu_{m, \psi}(t_0)$:

$$\mu_{m, \psi} = \frac{\Delta S_{m, \psi}}{\Delta \tau_m} = \frac{\Delta S_{m, CuM} + \Delta S_{m, \varepsilon} + \Delta \Phi_{m, O} + \Delta \Phi_{m, C} + \Delta S_{m, \infty}}{\Delta \tau_{m, O} + \Delta \tau_{m, B} + \Delta \tau_{m, IB} + \Delta \tau_{m, E}}. \quad (3)$$

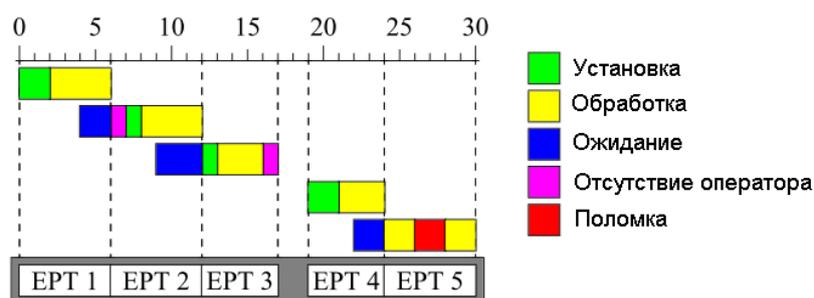


Рис. 2. Эффективное время обработки (EPT) [18-20]

Fig. 2. Effective Processing Time (EPT) [18-20]

Предполагаем, что за время выполнения технологической операции $\Delta \tau_m$ ресурсы от оборудования полностью переносятся на N_m предметов труда, расположенных в межоперационном заделе m -ой операции. Стоимость ресурсов $\Delta S_{m, CuM}(t)$, $\Delta S_{m, \varepsilon}(t)$,

$\Delta \Phi_{m, O}(t)$, $\Delta \Phi_{m, C}(t)$, $\Delta S_{m, \infty}(t)$ (1) и составляющие величины $\Delta \tau_{m, O}(t)$, $\Delta \tau_{m, B}(t)$, $\Delta \tau_{m, E}(t)$, $\Delta \tau_{m, IB}(t)$ эффективного времени обработки (EPT) являются случайными процессами с непрерывным временем и непрерывными состояниями [22]. Значения случайных процессов в фиксированный момент времени определяются случайными

величинами стоимости перенесенных ресурсов (1) и составляющих эффективного времени обработки (2) [23]. Сечение случайного процесса интенсивности переноса ресурсов на предмет труда при фиксированном значении аргумента t представляет случайную величину $\mu_{m,\psi}$ с плотностью распределения $\psi_m(t, \mu_{m,\psi})$:

$$\int_0^{\infty} \psi_m(t, \mu_{m,\psi}) d\mu_{m,\psi} = 1, \quad m = 1, \dots, M, \quad (4)$$

которая может быть записана через плотности распределения $\psi_{\Delta S_{m,\psi}}(\Delta S_{m,\psi})$, $\psi_{\Delta \tau_m}(\Delta \tau_m)$ случайных величин $\Delta S_{m,\psi}$ и $\Delta \tau_m$ [21]:

$$\psi_m(t, \mu_{m,\psi}) = \int_0^{\infty} \Delta \tau_m \cdot \psi_{\Delta S_{m,\psi}}(\Delta \tau_m \cdot \mu_{m,\psi}) \cdot \psi_{\Delta \tau_m}(\Delta \tau_m) d(\Delta \tau_m) \quad (5)$$

Если $\Delta S_{m,\psi}$ или $\Delta \tau_m$ является детерминированной величиной, то случайная величина $\mu_{m,\psi}$ выражается через функциональную зависимость $\mu_{m,\psi} = \varphi_S(\Delta S_{m,\psi})$ и $\mu_{m,\psi} = \varphi_{\tau}(\Delta \tau_m)$ ($\Delta \tau_m$ или $\Delta S_{m,\psi}$ детерминирована) с плотностью распределения:

$$\psi_m(t, \mu_{m,\psi}) = \psi_{\Delta S_{m,\psi}}(\Delta \tau_m \cdot \mu_{m,\psi}) \cdot \Delta \tau_m, \quad \mu_{m,\psi} = \varphi_S(\Delta S_{m,\psi}), \quad (6)$$

$$\psi_m(t, \mu_{m,\psi}) = \psi_{\Delta \tau_m}\left(\frac{\Delta S_{m,\psi}}{\mu_{m,\psi}}\right) \cdot \frac{\Delta S_{m,\psi}}{\mu_{m,\psi}^2}, \quad \mu_{m,\psi} = \varphi_{\tau}(\Delta \tau_m). \quad (7)$$

Законы распределения случайных процессов $\Delta S_{m,CuM}(t)$, $\Delta S_{m,\varepsilon}(t)$, $\Delta \Phi_{m,O}(t)$, $\Delta \Phi_{m,C}(t)$, $\Delta S_{m,\infty}(t)$ и $\Delta \tau_{m,O}(t)$, $\Delta \tau_{m,B}(t)$, $\Delta \tau_{m,E}(t)$, $\Delta \tau_{m,IB}(t)$ зависят от факторов технологии производства, связаны с формами организации производства, методами обработки предметов труда и контроля их качества, механизмами переноса ресурсов на предмет труда в результате воздействия оборудования [20, 24, 25]. Равномерный закон распределения возникает в ходе обработки предмета труда средствами труда, оснащенными контрольными приборами с грубыми делениями [21]. К операциям, в ходе выполнения которых составляющие случайных процессов (1) и (2) могут иметь равномерный закон распределения, относятся токарная обработка заготовки, порезка заготовки в размер по технологической линейке. Нормальный закон распределения возникает при выполнении операции, на результат которой оказывают влияния много независимых или слабо зависимых случайных факторов. Показательное распределение тесно связано с простейшим

(стационарным пуассоновским) потоком событий. Случайные процессы переноса стоимости ресурсов $\Delta S_{m,\varepsilon}(t)$, $\Delta \Phi_{m,C}(t)$, $\Delta S_{m,\infty}(t)$ часто представляют линейной зависимостью от эффективного времени обработки $\Delta \tau_m(t)$ [19]:

$$\Delta S_{m,\varepsilon}(t) = k_{m,\varepsilon} \cdot \Delta \tau_m(t), \quad \Delta \Phi_{m,C}(t) = k_{m,\Phi_c} \cdot \Delta \tau_m(t), \quad \Delta S_{m,\infty}(t) = k_{m,\infty} \cdot \Delta \tau_m(t) \quad (8)$$

где $k_{m,\varepsilon}$, k_{m,Φ_c} , $k_{m,\infty}$ – интенсивность использования соответствующего ресурса, необходимого для обслуживания технологического процесса на m -ой операции. В большинстве практических случаев $k_{m,\varepsilon}$, k_{m,Φ_c} , $k_{m,\infty}$ неслучайные величины, определяются на производственном предприятии порядком разнесения затрат по видам изделий. Случайный процесс $\Delta \Phi_{m,O}(t)$ для сдельной $\Delta \Phi_{m,O}(t) = r_{m,\Phi_o}(t)$ и почасовой $\Delta \Phi_{m,O}(t) = k_{m,\Phi_o} \cdot \Delta \tau_{m,O}(t)$ форм оплаты труда выражается через нормированную расценку r_{m,Φ_o} за выполнение операции и нормированную стоимость единицы рабочего времени k_{m,Φ_o} , затраченного на выполнение m -ой операции. Сборочные и упаковочные операции характеризуются переносом на предмет труда детерминированной стоимости ресурсов $\Delta S_{m,CuM}$. В результате выполнения операции предмет труда дополняется комплектующими, изделиями и сборочными единицами заданной стоимости. В производственной практике встречается преобладание стоимости одних технологических ресурсов, перенесенных на предмет труда в ходе выполнения операции, над другими. Для выполнения сборочной операции характерно $\Delta S_{m,\psi} \cong \Delta S_{m,CuM} = const$. Для операции тестирования, настройки и контроля параметров изделия основными затратами являются затраты фонда оплаты труда $\Delta S_{m,\psi} \cong r_{m,\Phi_o} = const$ (для сдельной оплаты), $\Delta S_{m,\psi} \cong k_{m,\Phi_o} \cdot \Delta \tau_m$ (для почасовой оплаты). Энергоемкие операции (термообработка, закалка, хромирование, никелирование, литье, прессование пластических масс [21]) характеризуются преобладанием составляющей $\Delta S_{m,\varepsilon}$ $\Delta S_{m,\psi} \cong \Delta S_{m,\varepsilon}$.

Если в заделе перед m -ой технологической операцией поточной линии находится N_m продуктов труда, один из которых обрабатывается на оборудовании, то

$\Delta\tau_{m,Prj} = \sum_{k=2}^{N_{\psi,m}} \Delta\tau_{mj-k+1}$ соответствует времени ожидания обработки (времени пролеживания) предмета труда в межоперационном заделе [19], $\Delta\tau_{mj} = \Delta\tau_m(t_j)$ – эффективное время обработки j -ого предмета труда, поступившего на обработку в момент времени t_j . Для партии последовательно обрабатываемых предметов труда (правило FIFO) общее время обработки j -ого предмета труда $\Delta\tau_{m,\Sigma_j}$ с момента поступления его в очередь межоперационного задела m -ой операции до момента окончания обработки оборудованием есть величина

$$\Delta\tau_{m,\Sigma_j} = \Delta\tau_{mj} + \Delta\tau_{m,Prj} = \sum_{k=1}^{N_{\psi,m}} \Delta\tau_{mj-k+1},$$

$$\Delta\tau_{m,Prj} = \sum_{k=2}^{N_{\psi,m}} \Delta\tau_{mj-k+1}. \quad (9)$$

Если в межоперационном заделе перед m -ой операцией находится большое количество предметов труда $N_m \gg 1$, то на основании центральной предельной теоремы [22] независимо от закона распределения случайной величины $\Delta\tau_m$ случайная величина $\Delta\tau_{m,\Sigma_j}$ будет распределена по нормальному закону. Плотность распределения $\psi_m(t, \mu_{m,\psi})$ случайной величины $\mu_{m,\psi}$ для m -ой операции может быть записана через плотности распределения случайных величин $\Delta S_{m,\psi}$ и $\Delta\tau_m$ (5). В общем случае необходимо строить эмпирическую статистическую функцию распределения случайной величины [21], которая может быть выровнена специально подобранной аналитической функцией [21], определяющей существенные черты статистического материала. Задача сводится к замене гистограммы плавной кривой, имеющей достаточно простое аналитическое выражение, с последующим использованием его в качестве плотности распределения случайной величины $\Delta S_{m,\psi}$ и $\Delta\tau_m$. Вопрос о том, в каком классе функций искать наилучшее приближение, решается исходя из особенностей производственной задачи. Часто вид выравнивающей кривой для плотности распределения случайной величины выбирается исходя из условий возникновения случайной величины [26]. Распространенным методом выравнивания является метод моментов. Как правило, моменты выше четвертого порядка не

используют [21]. Даже для простых случаев распределения случайных величин $\Delta S_{m,\psi}$ и $\Delta\tau_m$ закон распределения случайной величины $\mu_{m,\psi}$ имеет сложный аналитический вид, может быть полезен только для качественного анализа параметров производственного процесса. Целесообразно при построении функция переноса технологических ресурсов (5) использовать плотности распределения случайных величин $\Delta S_{m,\psi}$ и $\Delta\tau_m$ с шагом группированного статистического ряда [21], обеспечивающим требуемую точность численного интегрирования. Полученная численным способом плотность распределения $\psi_m(t, \mu_{m,\psi})$ на m -ой операции выравнивается одним из известных законов распределения случайной величины $\mu_{m,\psi}$. Для плотности распределения $\psi_m(t, \mu_{m,\psi})$ справедливо качественное поведение:

$$\lim_{\mu_{m,\psi} \rightarrow 0} \psi_m(t, \mu_{m,\psi}) \rightarrow 0, \quad \lim_{\mu_{m,\psi} \rightarrow \infty} \psi_m(t, \mu_{m,\psi}) \rightarrow 0 \quad (10)$$

что является следствием переноса конечного количества технологических ресурсов за конечное время обработки предмета труда на m -ой технологической операции.

Производственная функция обобщенной технологической единицы [6, 27]. Трудность реализации математических моделей операций связана с отсутствием уравнений состояния, характеризующих физический процесс преобразования ресурсов в ходе выполнения операции, а при наличии уравнений состояния – с отсутствием необходимых значений физических констант для конкретных коэффициентов в таких уравнениях. Это приводит к введению упрощениям при описании операции и существенным отклонениям от реальной технологии производства. Подавляющее число прикладных задач по моделированию технологических процессов являются оптимизационными, учитывающими ограничения, связанные с реализацией поставленной задачи. Моделирование должно осуществляться на базе глубокого физического анализа операции, так как в основе операций лежат физические или механические процессы (нагрев, охлаждение, резанием, давление, пространственные перемещения). Эти процессы описываются обыкновенными или в частных производных дифференциальными уравнениями, имеющими множество решений [28]. Для получения решения, обеспечивающего единственное поведение исполнительных

механизмов при выполнении операции, необходимо задать граничные и начальные условия. После установления единственности решения возникает задача обеспечения требуемой технологической точности [29].

Общей чертой моделирования операций является то, что большинство разработчиков новых технологических процессов продолжают пользоваться дорогостоящим методом проб и ошибок из-за отсутствия строгих математических зависимостей. Другая группа трудностей, снижающая точность решения технологических задач даже при наличии достаточно строгих законов (уравнение теплопроводности), определяющих физический процесс, вызвана отсутствием достоверных физических коэффициентов. Причины, связанные с использованием не вполне корректных в физическом смысле для конкретного случая моделирования основных уравнений или входящих в них коэффициентов, требуют необходимую экспериментальную проверку и корректировку вычислений. Для повышения точности решений на практике требуются физические эксперименты. Принятые с большими допущениями параметры в модели операции рассматривают как неизвестные. Для их определения пользуются экспериментом данными [29].

При построении производственной функции обобщенной технологической единицы будем подразумевать выполнение одной обобщенной операции на одном обобщенном оборудовании (рис. 3). Введем обозначения для ресурсов капитала k_m , энергоресурсов e_m и трудовых ресурсов l_m для m -ой агрегированной операции:

$$\langle \Delta S_{m_{\psi}} \rangle = k_m + e_m + l_m, \quad k_m = \langle \Delta S_{m_{CuM}} + \Delta S_{m_{\infty}} \rangle, \\ e_m = \langle \Delta S_{m_{\varepsilon}} \rangle, \quad l_m = \langle \Delta \Phi_{m_{O}} + \Delta \Phi_{m_{C}} \rangle, \quad (11)$$

При построении производственных функций подразумеваем, что продолжительность интервала времени T , для которого строится производственная функция, значительно превышает длительность изготовления изделия

$T \gg \sum_{m=1}^M \Delta \tau_m$, что позволяет сгладить влияние

начальных условий. Для линии "Intel" с количеством операций $M \approx 100.500$ [19], [30] и средним количеством предметов труда $\langle N_m \rangle \approx 1000$ [19] в межоперационном заделе,

получаем оценку: $\left(\frac{\langle \Delta \tau_m \rangle}{T} \right) \approx 10^{-5}$.

Технологические процессы, включающие операции кузнечно-прессового или литейного производства, имеют в межоперационном заделе $\langle N_m \rangle \approx 10^4 \div 10^6$ предметов труда. Таким образом, статистическое распределение параметров случайных процессов $\Delta S_{m_{CuM}}$, $\Delta S_{m_{\varepsilon}}(t)$, $\Delta \Phi_{m_{O}}(t)$, $\Delta \Phi_{m_{C}}(t)$, $\Delta S_{m_{\infty}}(t)$ и $\Delta \tau_{m_{O}}(t)$, $\Delta \tau_{m_{B}}(t)$, $\Delta \tau_{m_{E}}(t)$, $\Delta \tau_{m_{IB}}(t)$ в фиксированный момент времени не зависит от начального состояния, так как влияние начального состояния в течение достаточно большого промежутка времени t вытеснено влиянием других случайных факторов. Если статистическое распределение случайного процесса, например, $\Delta S_{m_{\psi}}(t)$, известно, то возможно вычислить средние значения технологических параметров и величин $f(\Delta S_{m_{\psi}})$, зависящих от $\Delta S_{m_{\psi}}(t)$:

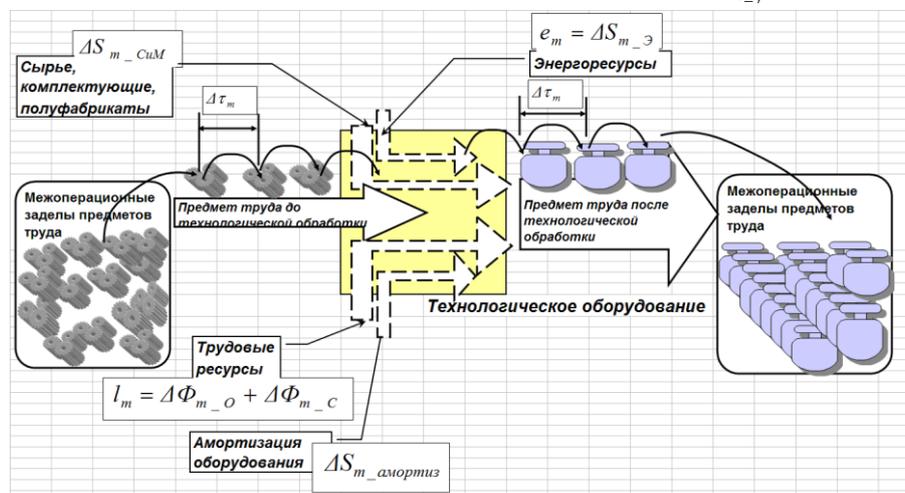


Рис. 3. Схема переноса технологических ресурсов на предмет труда
Fig. 3. Scheme of transferring technology resources on the subject of labor

$$\langle f(\Delta S_{m-\psi}) \rangle = \int_0^{\infty} f(\Delta S_{m-\psi}) \cdot \psi_{\Delta S_m}(\Delta S_{m-\psi}) \cdot d(\Delta S_{m-\psi}),$$

$$\int_0^{\infty} \psi_{\Delta S_m}(\Delta S_{m-\psi}) \cdot d(\Delta S_{m-\psi}) = 1 \quad (12)$$

Введем вероятность того, что реализация случайного процесса в течение времени T отслеживания параметра системы $\Delta S_{m-\psi}$ будет находиться в промежутке $(\Delta S_{m-\psi 0}, \Delta S_{m-\psi 0} + \delta(\Delta S_{m-\psi}))$ время δT :

$$dW_{\Delta S_m} = \psi_{\Delta S_m}(\Delta S_{m-\psi}) \cdot d(\Delta S_{m-\psi}). \quad (13)$$

В силу определения статистическое усреднение эквивалентно усреднению по времени.

$$\langle \Delta S_{m-\psi}(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \Delta S_{m-\psi}(t) dt. \quad (14)$$

С другой стороны

$$\langle \Delta S_{m-\psi}(t) \rangle = \int_0^{\infty} \Delta S_{m-\psi} \cdot \psi_{\Delta S_m}(\Delta S_{m-\psi}) \cdot d(\Delta S_{m-\psi}). \quad (15)$$

Таким образом, давая возможность вычислять средние значения величин случайных процессов, статистика позволяет делать предсказания, оправдывающиеся с большой точностью для любого промежутка времени, настолько большого, чтобы полностью сгладить влияние начальных условий. При построении производственной функции для m -ой агрегированной операции рассмотрим процесс переноса ресурсов $dR_{m-\psi} = dK_{m-\psi} + dL_{m-\psi} + dE_{m-\psi}$ капитала $dK_{m-\psi}$, энергоресурсов $dE_{m-\psi}$ и трудовых ресурсов $dL_{m-\psi}$ за время dt . Будем полагать, что за рассматриваемый промежуток $dt \gg \langle \Delta \tau_m \rangle$ произошло достаточное большое число реализаций случайного процесса $\Delta \tau_m(t)$. Тогда количество перенесенных ресурсов $dR_{m-\psi} = \langle \mu_{m-\psi} \rangle \cdot dt$ за время dt можно определить следующим образом:

$$\langle \mu_{m-\psi} \rangle = \frac{\langle \Delta S_{m-\psi} \rangle}{\langle \Delta \tau_m \rangle} = \int_0^{\infty} \psi_m(\mu_{m-\psi}) \cdot \mu_{m-\psi} d\mu_{m-\psi},$$

$$\langle \Delta \tau_m \rangle = \int_0^{\infty} \Delta \tau_m \cdot \psi_{\Delta \tau_m}(\Delta \tau_m) \cdot d(\Delta \tau_m). \quad (16)$$

Статистически усредненная величина $\langle \Delta S_{m-\psi} \rangle$ задана технологией производства норма расходов ресурсов на выполнение операции, а статистически усредненная величина $\langle \Delta \tau_m \rangle$ обратно пропорциональна темпу работы оборудования:

$$\frac{dR_{m-\psi}}{dt} = [\chi]_{\psi} \cdot r_m, \quad \langle \Delta S_{m-\psi} \rangle = k_m + e_m + l_m = r_m,$$

$$\langle \Delta \tau_m \rangle = \frac{1}{[\chi]_{\psi}}, \quad (17)$$

$$\frac{dK_{m-\psi}}{dt} = [\chi]_{\psi} \cdot k_m, \quad \frac{dL_{m-\psi}}{dt} = [\chi]_{\psi} \cdot l_m,$$

$$\frac{dE_{m-\psi}}{dt} = [\chi]_{\psi} \cdot e_m.$$

Принимая во внимание (17), следует

$$[\chi]_{\psi} = \frac{1}{k_m} \cdot \frac{dK_{m-\psi}}{dt}, \quad [\chi]_{\psi} = \frac{1}{e_m} \cdot \frac{dE_{m-\psi}}{dt},$$

$$[\chi]_{\psi} = \frac{1}{l_m} \cdot \frac{dL_{m-\psi}}{dt}, \quad (18)$$

$$e_m = f_m(k_m, [\chi]_{\psi}), \quad l_m = g_m(k_m, [\chi]_{\psi}) \quad (19)$$

Блок технологических коэффициентов [19] определяет технологию обработки предмета труда оборудованием как множество способов производства, задает отношения между интенсивностью потреблением ресурсов капитала $dK_{m-\psi}$, энергоресурсов $dE_{m-\psi}$ и трудовых ресурсов $dL_{m-\psi}$. Для обобщенной технологической единицы, состоящей из двух последовательно расположенных единиц оборудования (рис. 4), каждое из которых характеризуется статистически усредненной нормой расходов ресурсов $\langle \Delta S_{m1-\psi} \rangle$ и $\langle \Delta S_{m2-\psi} \rangle$ за эффективное время выполнения операции $\langle \Delta \tau_{m1} \rangle$ и $\langle \Delta \tau_{m2} \rangle$, производственная функция примет вид:

$$\frac{dR_{m-\psi}}{dt} = \frac{r_m}{[\chi]_{\psi}}, \quad \langle \Delta S_{m1-\psi} \rangle + \langle \Delta S_{m2-\psi} \rangle = \langle \Delta S_{m-\psi} \rangle = r_m,$$

$$\langle \Delta \tau_{m1} \rangle + \langle \Delta \tau_{m2} \rangle = \langle \Delta \tau_m \rangle = \frac{1}{[\chi]_{\psi}} \quad (20)$$

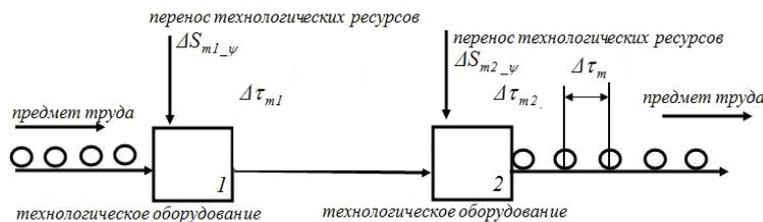


Рис. 4. Схема обобщенной единицы технологического оборудования
Fig. 4. Scheme of generalized production unit

При обработке предмета труда на одной из единиц оборудования, входящих в состав обобщенного оборудования, остальные единицы простаивают. Повышение производительности достигается параллельным расположением оборудования или разделением обобщенной операции на несколько операций (рис. 5), каждая из которых снабжена межоперационным накопителем. Если обобщенная технологическая единица состоит из двух параллельно работающих единиц (рис. 5), то темп обработки определяется темпами обработки параллельно расположенного оборудования, выполняющего операцию одним и тем же или разными способами. Количество перенесенных ресурсов

$\langle \Delta S_{m_\psi} \rangle$ за эффективное время обработки $\langle \Delta \tau_m \rangle$ определим из системы уравнений:

$$\begin{cases} [\chi]_{\text{лп}} = [\chi]_{\text{л1}_\psi} + [\chi]_{\text{л2}_\psi}, \\ \langle \Delta S_{m_\psi} \rangle \cdot [\chi]_{\text{лп}} = \langle \Delta S_{m1_\psi} \rangle \cdot [\chi]_{\text{л1}_\psi} + \langle \Delta S_{m2_\psi} \rangle \cdot [\chi]_{\text{л2}_\psi}, \end{cases}$$

$$[\chi]_{\text{л1}_\psi} = \frac{1}{\langle \Delta \tau_{m1} \rangle}, \quad [\chi]_{\text{л2}_\psi} = \frac{1}{\langle \Delta \tau_{m2} \rangle}, \quad (21)$$

$$\langle \Delta S_{m_\psi} \rangle = \frac{\langle \Delta S_{m1_\psi} \rangle \cdot \langle \Delta \tau_{m2} \rangle + \langle \Delta S_{m2_\psi} \rangle \cdot \langle \Delta \tau_{m1} \rangle}{\langle \Delta \tau_{m1} \rangle + \langle \Delta \tau_{m2} \rangle},$$

$$\langle \Delta \tau_m \rangle = \frac{\langle \Delta \tau_{m1} \rangle \cdot \langle \Delta \tau_{m2} \rangle}{\langle \Delta \tau_{m1} \rangle + \langle \Delta \tau_{m2} \rangle}. \quad (22)$$

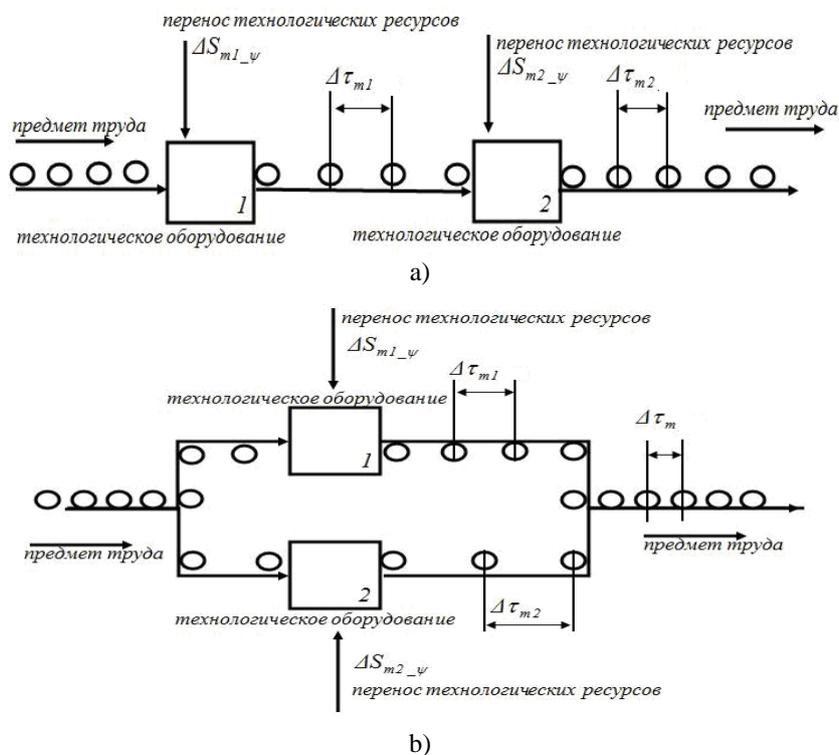


Рис. 5. Схема расположения обобщенных единиц оборудования:
a – последовательное расположение; b – параллельное расположение

Fig. 5. Location scheme of generalized production units:
a – sequential arrangement; b – parallel arrangement

Если обобщенная единица представляет технологический участок с расположенным вдоль технологического маршрута большим количеством параллельно и последовательно расположенных единиц оборудования, то объединяя последовательно или параллельно расположенные единицы оборудования в одну обобщенную, может быть получена производственная функция обобщенной единицы. Обобщенной единице соответствует статистически усредненная норма расходов ресурсов и эффективное время выполнением операций.

Сетевая модель многономенклатурной производственной линии

Первичным звеном в организации производственного процесса является рабочее место, представляющее производственную

площадь, оснащенную оборудованием и инструментом, при помощи которых работник выполняет отдельные технологические операции. Совокупность рабочих мест для выполнения операций образуют пространственную структуру производства. Различают три основные пространственные структуры производства – технологическую, предметную и смешанную. Поточные линии, как правило, имеют предметную структуру (рис. 6). Так как движение предметов труда в процессе производства осуществляется в пространстве и времени, то при проектировании систем управления поточными линиями необходимо учитывать временную и пространственную структуру производственного процесса. При этом актуальность приобретают вопросы создания обобщенных агрегированных моделей операций [29].

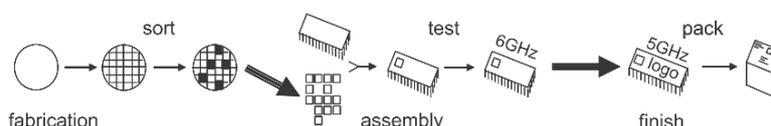


Рис. 6. Типовой технологический маршрут полупроводникового производства [30]

Fig. 6. Typical manufacturing route in the production of semiconductors [30]

Алгоритм построения модели производственного процесса на основе понятий обобщенной операции и обобщенного технологического маршрута заключается в дроблении производственного цикла на более мелкие интервалы. Изменение интервала обобщения приводит к изменению состава и числа обобщенных операций, составляющих процесс производства изделий [20]. Увеличение интервала ведет к укрупнению обобщенных операций и сокращению их количества. В обобщенную операцию объединяются операции в выбранном интервале обобщения [20], очередность выполнения которых определяется последовательностью интервалов обобщения. Группа оборудования, на котором выполняется обобщенная операция, является обобщенным оборудованием. При построении модели обобщенной операции анализируют конструкторско-технологические связи между операциями.

Многономенклатурное производство представляет собой сложный ориентированный гиперграф (V, E) , узлы которого представлены

обобщенными единицами оборудования $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_{23}, V_{24}\}$, а ребра $E = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_6\}$ определяют обобщенные маршруты $E_1 = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$, $E_2 = \{V_1, V_2, V_3, V_{16}\}$, ..., используемые для производства изделий разной номенклатуры (рис. 7). Расположение вершин V_q задано схемой расстановки оборудования на участке. Пересечение ребер E_p и E_r определяет общее оборудование V_q , используемое для производства изделия p -ой и r -ой номенклатуры. Обработка изделия p -ой или r -ой номенклатуры определяется приоритетом обслуживания смежных операций. Реализация гиперграфа определяет способ производства изделия p -ой номенклатуры, задает ориентированную сеть обобщенных маршрутов, представленных последовательностью операций, ограниченных конструкторско-технологическими связями с большим количеством циклов и петель (рис. 8).

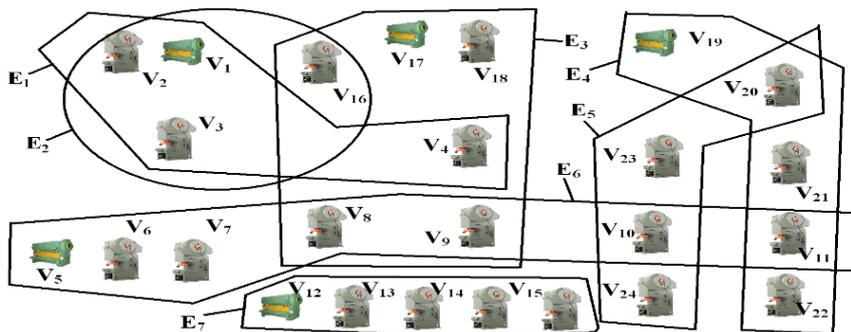


Рис. 7. Гиперграф многономенклатурного производства
Fig. 7. Hypergraph of multiproduct manufacture

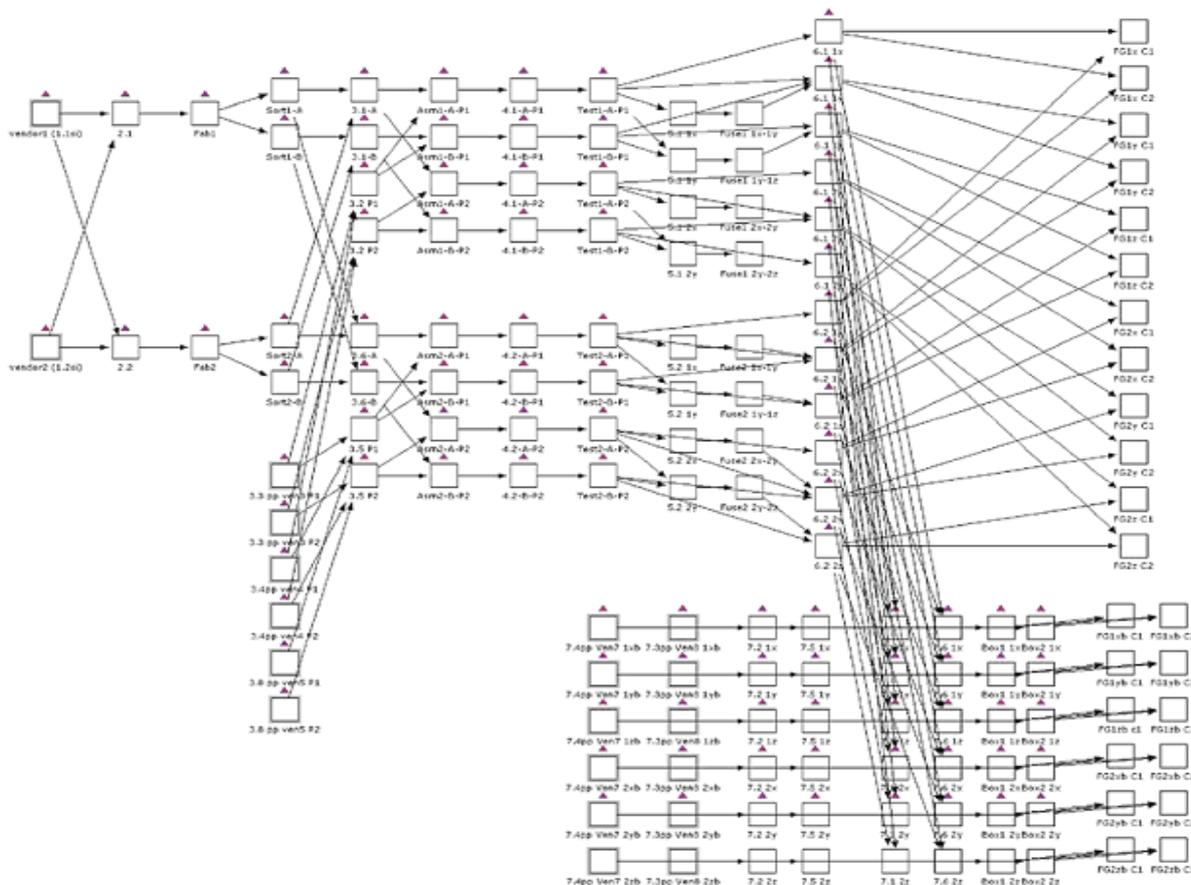


Рис. 8. Сетевой график обобщенных технологических маршрутов [31]
Fig. 8. Network diagram of technological routes [31]

Коэффициент связности для обобщенной операции учитывает конструкторско-технологические связи между операциями, необходимые для определения обобщенного технологического маршрута производства изделия с допустимой степенью точности [20]. Недостатком агрегированной схемы планирования является то, что состояние производственных мощностей входящего в состав обобщенной операции оборудования учитывается

косвенно, без учета ограничений. Чем ближе модель к реальному объекту, тем больше обобщенных операций и взаимосвязей между ними она отражает, и тем сложнее ее реализация. Построение производственных функций (производственных способов) для обобщенного оборудования, связывающих количество обработанных предметов труда с затратами ресурсов, является центральным вопросом моделирования производственных систем.

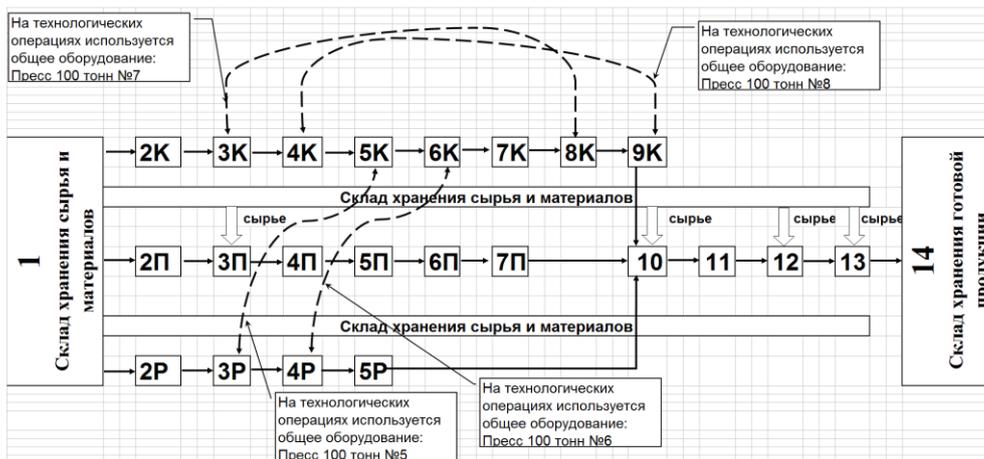


Рис. 10. Сетевой график изготовления изделия
Fig. 10. Network diagram of product manufacture

Рассмотрим построение производственных функций для технологического процесса с ведущим изделием «П» (рис. 11). В технологическом процессе «П» используются ресурсы: сырье, комплектующие, материалы, энергоресурсы, труд. Затраты ресурсов в единицу времени и темп обработки предметов труда при выполнении технологической операции определяются техническими показателями оборудования, на основании которых возможно дать описание технологического процесса, сформулировать производственную функцию для каждой единицы обобщенного технологического оборудования. Нормативы, рассчитанные на основе технологических данных, характеризуют предельные возможности оборудования. Соответствующие производственные функции

описывают идеальное производство. В действительности качество сырья непостоянно, технологические параметры оборудования зависят от факторов внешней среды, которые вызывают случайные колебания производительности и интенсивности потребления технологических ресурсов на каждой операции. В реальных условиях производительность и затраты могут значительно отличаться от нормативных. Проблема усложняется, если в производственном процессе важную роль играет квалификация рабочих. При этом существенное влияние оказывают организационные и социально-экономические факторы, в основе которых лежит система стимулирования производства [23].

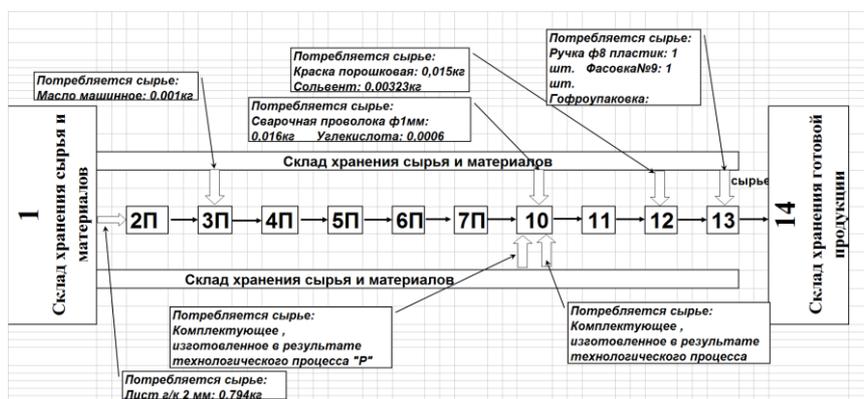


Рис. 11. Сетевой график технологического процесса с ведущим изделием «П»
Fig. 11. Network diagram of the process with the leading product "P"

При построении производственной функции для отдельного оборудования часто возникают вопросы, не связанные с технологией производства, требующие анализа социально-

экономических факторов. Существует зависимость интенсивности обработки предмета труда на отдельной операции технологического маршрута от качества и количества трудовых

ресурсов. Распределение работников с различной производительностью труда по операциям определяет темп работы поточной линии. Учет социально-экономических факторов в процессе производства осуществляется путем введения в производственную функцию переменных стохастической природы. Построение теоретической производственной функции, опирающейся на предположение о рациональной организации производства, позволяет создать представления об идеально функционирующей производственной системе, оценить ее возможности и выявить потери, возникшие из-за недостатков экономического механизма регулирования производственной деятельности.

График теоретической производственной функции совпадает с множеством эффективных точек производственных возможностей. Учет стохастических социально-экономических и производственно-технических факторов является одним из основных путей построения теоретически и практически обоснованных производственных функций. Для описания производственного процесса использовано понятие производственного способа, что позволило рассмотреть в сетевой модели разные способы производства в зависимости от значений параметров производственной линии. После выбора ведущего изделия типовой сетевой график технологического маршрута представлен в виде трех поточных линий, синхронизированных на операции «П10» (рис. 11). Узлы, изготовленные на параллельных синхронизированных технологических линиях «К» и «Р» поступают в межоперационный задел, цель которого является ликвидация асинхронности в производительности поточных линиях «П», «К» и «Р». При моделировании поточной линии с ведущим изделием «П» узлы «К» и «Р» условно представлены как комплектующие, поступающие со склада. Количество узлов «К» и «Р» регламентируется складским критическим запасом. Поступление узлов «К» и «Р» синхронизированы балансовыми соотношениями с параметрами поточной линии ведущего изделия. Сетевой график технологического процесса в зависимости от требуемой точности описания представлен в виде детализации операции на технологические и вспомогательные переходы, позиции и установки, рабочие и вспомогательные хода, технологические приемы. Операция может быть разбита на составные части или укрупнена в более масштабные. Моделируемая поточная

линия представляется в виде совокупности большого числа обобщенных единиц, каждая из которых описывается своей производственной функцией. Вопрос о том, в виде какой совокупности обобщенных единиц представить производственную линию решается в зависимости от поставленной задачи.

Заключение

Перенос технологических ресурсов на предмет труда в результате воздействия технологического оборудования является случайным процессом. Закономерности, характеризующие данный процесс, значительным образом влияют на потоковые характеристики производственных линий. Однако, несмотря на свою важность, данные закономерности достаточным образом не исследованы. Как правило, исследователи ограничивались построением производственных функций для производственной системы в целом, не рассматривая структуры времени выполнения технологической операции и структуры технологических ресурсов, переносимых на предмет труда в результате выполнения технологической операции. Разработке детального предметно-технологического описания управляемого производственного процесса, основанного, на стохастическом механизме переноса технологических ресурсов на предмет труда в результате воздействия оборудования в ходе выполнения технологической операции, должно уделяться.

В статье приведен краткий обзор различных подходов, используемых при построении модели переноса технологических ресурсов на предмет труда. Особое внимание уделяется структуре времени технологической обработки предмета труда и структуре технологических ресурсов, переносимых на предмет труда.

Список литературы

1. Пигнастый О.М. 2014. О новом классе динамических моделей поточных линий производственных систем. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Белгород: БГУ, 31/1: 147-157.
2. Пигнастый О.М. 2015. Обзор моделей управляемых производственных процессов поточной линии производственных систем. Научные ведомости Белгородского государственного университета. 34/1: 137-152.
3. Пигнастый О.М. 2015. Анализ моделей переходных управляемых производственных

процессов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. 35/1: 133-144.

4. Пигнастый О.М. 2007. Статистическая теория производственных систем. Х., ХНУ, 388 с.

5. Пигнастый О.М. 2016. Анализ принципов и методов построения систем управления производственным процессом. Научные ведомости Белгородского государственного университета. 37: 152-161

6. Пигнастый О.М. 2007. О построении целевой функции производственной системы. Доповіді Національної академії наук України. 5: 50-55.

7. ГОСТ 15467.79. 2001. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 25.

8. ГОСТ 50779.10.2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 38.

9. Демуцкий В.П., Пигнастая В.С., Пигнастый О.М., 2005. Стохастическое описание экономико-производственных систем с массовым выпуском продукции. Доповіді Національної академії наук України. 7: 66-71.

10. Демуцкий В.П., Пигнастый О.М. 2007. Теория функционирования производственного процесса с серийным или массовым выпуском продукции. Математичні моделі та інформаційні технології в сучасній економіці. 62-98.

11. Пигнастый О.М. 2009. Расчет производственного цикла с применением статистической теории производственно-технических систем. Доповіді Національної академії наук України. 12: 38-44.

12. Локтев И.И. 2005. Вопросы моделирования технологического процесса. Известия Томского политехнического университета. 308(6): 90 – 94.

13. Петров Б.Н. 1978. Теории моделей в процессах управления. М.: Наука. 224.

14. Якимович С.Б. 2003. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок. Лесной вестник. 3: 149-160.

15. Летенко В.А. 1979. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием. М., Высшая школа. 232.

16. ГОСТ 3.1109.82. 2003. Термины и определения основных понятий. М., Госстандарт России. 15.

17. Holt C.C., Modigliani F., Muth J.F. 1960. Planning Production: Inventories and Work Force. Prentice-Hall. 419.

18. Jacobs J.H., Campen E.J., Rooda J.E. 2003. Characterization of the operational time variability using effective processing times. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing. 16(3): 511-520.

19. Lefebvre E., Berg R.A., Rooda J.E. 2004. Modeling, Validation and Control of Manufacturing. Proceeding of the 2004 American Control Conference. 4583-4588.

20. Шкурба В.В., Болдырева В.А., Вьюн А.А. 1975. Планирование дискретного производства в условиях АСУ. К., Техника. 296.

21. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. 2000. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М., Высшая школа. 480.

22. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. 2000. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М., Высшая школа. 383.

23. Вейнберг А.М., Данилочкина Н.Г. 1989. Совершенствование проектирования трудовых процессов. Рига: Зинатне. 86

24. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 356 с.

25. Первозванский А.А. Математические методы в управлении производством / А. А. Первозванский. – М.: Наука, 1975. – 616 с.

26. Zhang Liang. 2009. System-theoretic properties of Production Lines. A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Michigan. 289.

27. Пигнастый О.М. 2005. Инженерно-производственная функция предприятия с серийным или массовым выпуском продукции. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Харьков: НАКУ. 42(3): 111 – 117.

28. Митрофанов С.П. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С. П. Митрофанов, Д.Д. Куликов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

29. Тихонов А.Н. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении / А. Н. Тихонов, В.Д. Кальнер, В.Б. Гласко. – М.: Машиностроение, 1990. – 264 с.

30. Tian F. 2011. An iterative approach to item-level tactical production and inventory planning. International Journal of Production Economics. 133: 439-450.

31. Simon J.T., Hopp J. 1991. Availability and Average Inventory of Balanced Assembly. NFORM Global. 161-168.

References

1. Pihnastyi O.M. A New Class of Dynamic Models of Flow Lines of Production Systems // Nauchnye vedomosti BelGU. 2014. No 15 (186). Pp. 147-157.

2. Pihnastyi O.M. Review of Governance Models of Production Lines Manufacturing Systems // Nauchnye vedomosti BelGU. 2015. No 7 (204). Pp. 137-152.

3. Pihnastyi O.M. Analysis of the Models of Transition Processes Controlled Manufacture // Nauchnye vedomosti BelGU. 2015. No 13(210). Pp. 133-144.

4. Pihnastyi O.M. Statistical Theory of Production Systems. Kh.: HNU. 2007. 388 p.

5. Pihnastyi O.M. Analysis of the Principles and Methods of Construction Control Systems of Technological Process // Nauchnye vedomosti BelGU. 2016. No 2(223). Pp. 152-161

6. Pihnastyi O.M. The Construction of the Objective Function of the Production System // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2007. No 5. Pp. 50-55.
7. GOST 15467.79. 2001. Quality Management. Basic concepts. Terms and Definitions. M.: Gosstandart of Russia. 25 p.
8. GOST 50779.10-2000. Statistical Methods. Probability and Statistics Basics. Terms and Definitions. M.: Gosstandart of Russia. 38 p.
9. Demuckij V.P., Pihnastaja V.S., Pihnastyi O.M. Stochastic Description of the Economic and Production Systems with Mass Production // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2005. No 7. Pp. 66-71.
10. Demuckij V.P., Pihnastyi O.M. The Theory of Operation of the Production Process with a Serial and Mass Production // Mathematical models and information technology in the modern economy. 2007. Pp. 62-98.
11. Pihnastyj O.M. The Calculation of the Production Cycle with the Use of the Statistical Theory of Technological Systems // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2009. No 12. Pp. 38-44.
12. Loktev I.I. Questions of Modeling Process // Bulletin of the Tomsk Polytechnic. 2005. No 308(6). Pp. 90-94.
13. Petrov B.N. Theories of Models in Management Processes. M.: Nauka. 1978. 224 p.
14. Jakimovich S.B. Statement and Solution of the Problem of Synthesis of Optimal Control and Process Logging // Lesnoj Vestnik. 2003. No 3. Pp. 149-160.
15. Letenko V.A. Organisation, Planning and Management of a Machine Builder. M., Vysshaja shkola. 1979. 232 p.
16. GOST 3.1109.82. 2003. Terms and Definitions of Basic Concepts. M.: Gosstandart of Russia. 15 p.
17. Holt C.C., Modigliani F., Muth J.F. Planning Production: Inventories and Work Force. Prentice-Hall. 1960. 419 p.
18. Jacobs J.H., Campen E.J., Rooda J.E. Characterization of the operational time variability using effective processing times. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing. 2003. No 16(3). Pp. 511-520.
19. Lefebvre E., Berg R.A., Rooda J.E. Modeling, Validation and Control of Manufacturing // Proceeding of the 2004 American Control Conference. 2004. Pp. 4583-4588.
20. Shkurba V.V., Boldyreva V.A., V'jun A.A. Planning Digital Production in ACS. K.: Tehnika. 1975. 296 p.
21. Vencel' E.S., Ovcharov L.A. Theory of Probability and its Engineering Applications. M.: Vysshaja shkola. 2000. 2-e izd. 480 p.
22. Vencel' E.S., Ovcharov L.A. The Theory of Random Processes and its Engineering Applications. 2000. 383 p.
23. Vejnberg A.M., Danilochkina N.G. Perfection Design of Work Processes. Riga: Zinatne. 1989. 86 p.
24. Buslenko N.P. Modeling of Complex Systems. M.: Nauka. 1978. 356 p.
25. Pervozvanskij A.A. Mathematical Methods in Production Management. M.: Nauka, 1975. 616 p.
26. Zhang Liang. System-theoretic Properties of Production Lines. A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Michigan. 2009. 289 p.
27. Pihnastyi O.M. Engineering and Manufacturing Businesses Function with Serial and Mass Production // Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov. Kh: NAKU. 2005. No 42(3). Pp. 111-117.
28. Mitrofanov S.P., Kulikov D.D. Technological Preparation of Flexible Manufacturing systems. L.: Mashinostroenie, 1987. 352 p.
29. Tihonov A. N., Kal'ner V.D., Glasko V.B. Mathematical Modeling of Technological Processes and the Method of Inverse Problems in Engineering. M.: Mashinostroenie. 1990. 264 p.
30. Tian F. An Iterative Approach to Item-level Tactical Production and Inventory Planning // International Journal of Production Economics. 2011. No 133. Pp. 439-450.
31. Simon J.T., Hopp J. Availability and Average Inventory of Balanced Assembly. NFORM Global. 1991. Pp. 161-168.

УДК 519.718.7

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-46-51

**Константинов И.С.
Гумберидзе М.Э.
Жуков А.В.**

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В МАГИСТРАТУРЕ

- 1) проректор по научной и инновационной деятельности, доктор технических наук, профессор. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85. *e-mail: konstantinov@bsu.edu.ru*
- 2) старший преподаватель кафедры математического и программного обеспечения информационных систем. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85. *e-mail: gumberidze@bsu.edu.ru*
- 3) аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем НИУ БелГУ, заместитель исполнительного директора ООО «Бюджетные и Финансовые Технологии», 308001, г. Белгород, пл. Литвинова, 9. *e-mail: Zhukov_A@bsu.edu.ru*

Аннотация

В работе говорится о важности внедрения информационных технологий в образовательный процесс. Рассматриваются проблемы, которые возникают из-за новых вызовов современного информационного общества. На примере работы, которая внедрена на кафедре математического и программного обеспечения информационных систем мы предлагаем комплексный подход к организации учебного процесса по дисциплине «Избранные вопросы математической логики».

Актуальность данной статьи в том, что проверка и оценка знаний, умений и навыков владения математической логикой студентами технических специальностей в вузе является очень важной и необходимой составной частью учебного процесса, а овладение методикой проверки знаний является одной из важных и трудных задач, стоящих перед преподавателем. Авторы, пользуясь современными образовательными технологиями упрощают эту проблему, при этом качество остаточных знаний и адаптация к среде и профессии дают положительный и качественный результат.

Ключевые слова: информация; отражение; актуальность; проблема; дисциплина; знания; коммуникативные действия; самоактуализация; профессионал.

UDC 519.718.7

**Konstantinov I.S.
Gumberidze M.E.
Zhukov A.V.**

CHARACTERISTICS OF ORGANIZATION OF EDUCATIONAL PROCESS FOR MASTER DEGREE STUDENTS

- 1) Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: konstantinov@bsu.edu.ru
- 2) Gumberidze Marianna Elgudzhевна, Senior Teacher, Department of Mathematical and Software Support of Information Systems, Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: gumberidze@bsu.edu.ru
- 3) Zhukov Alexey Vladimirovich, Post-graduate Student, Department of Mathematical and Software Support of Information Systems, Deputy Executive Director of “The Budget and Financial Technologies” Ltd., 9 Litvinova St., Belgorod, 308001, Russia. *e-mail: Zhukov_A@bsu.edu.ru*

Abstract

The article discusses the importance of introduction of information technologies in educational process. The article covers the problems which arise due to new challenges of the modern information society. On the example of the work which is introduced at the Department of Mathematical and Software Support of Information Systems, the authors offer an integrated

approach to the organization of educational process for the discipline "Selected questions of mathematical logic". The article is of immediate interest due to the fact that evaluation and assessment of knowledge and skills of mathematical logic in university students of technical specialties is a very important and necessary component of educational process. Mastering a technique of assessment of knowledge is one of the important and difficult tasks of any teacher. Using modern educational technologies, the authors solve this problem, at that, the quality of residual knowledge and adaptation to a professional environment produce a positive and qualitative result.

Keywords: information; answer; relevance; problem; discipline; knowledge; communicative actions; self-updating; professional.

Современное исследование феномена информации – признание всеобщности Информации. В самом общем виде предполагается, что информация, также, как и энергия, существует во всех сферах и фрагментах мироздания, является характеристикой всех материальных систем. Понятие информации отражает как объективно-реальное, не зависящее от субъекта свойство объектов неживой и живой природы, общества, так и свойства познания, мышления. Разнообразии объективной реальности отражается сознанием человека, и в этом смысле оно становится отраженным разнообразием, свойством сознания. Информация, таким образом, присуща как материальному, так и идеальному. Она применима и к характеристике материи, и к характеристике сознания. Если объективная (и потенциальная для субъекта) информация может считаться свойством материи, то идеальная, субъективная информация есть отражение объективной, материальной информации [9].

Информация превратилась в экономическую категорию, так как быстро развивается информационный рынок и бизнес. Всеобщий характер информатизации общества и проникновение во все сферы жизни связаны с развитием компьютерных сетей и цифровых технологий.

Формируется новая научная парадигма и методология научных исследований.

Возникает новый комплекс проблем информационной безопасности, о которых человечество ранее не имело ни малейшего представления.

Все эти проблемы еще не нашли отражения в массовом сознании, которое существенным образом отстает от темпов развития цивилизации [3].

Важность изучения фундаментальных проблем информации в системе образования еще недостаточно осознана, хотя актуальность такого изучения не вызывает сомнений.

Две проблемы: обеспечение доступности информации для всех членов общества и овладения информацией являются сегодня принципиально важными и имеющими стратегический статус для развития страны.

Проблема владения информацией, ее стратегическая важность для развития общества нам представляется недооценена.

Высокие технологии, используемые в производстве, повышают эффективность производства, внедрение высоких технологий в энергетике дает существенную отдачу в энергосбережении, а также в области безопасности сложных технологических объектов и систем.

Таким образом, информационные аспекты инновационного развития играют важную, и даже ключевую, роль в решении стратегических задач системной модернизации любого государства.

Характер проблематики наук об овладении современных накопленных знаний требует необходимость комплексного изучения данной проблемы не только в рамках академической науки, но также и в системе образования. Современное состояние в математике и информатике не оставляет сомнений в том, что можно сформулировать математически большинство положений, связанных с передачей информации. В настоящее время наиболее быстрые способы обучения, использующиеся в промышленности, основаны на специально разработанных методиках и соответствующих им математическим моделям. Компьютерное обучение операторов на автоматизированных тренажерных системах полностью изучено, разработаны теоретические, систематические, количественные методы, позволяющие в короткие сроки обучить операторов разных промышленных оборудовании действиям в штатных и нештатных ситуациях и довести эти умения до автоматизма. Этому способствует простота модели обусловленное небольшим числом параметров, ситуаций, высокой степени

мотивации обучаемого. Наиболее эффективны компьютерные обучающие системы тогда, когда речь идет об обучении определенным навыкам. Используемые при этом компьютерные обучающие системы являются автоматизированными, в простейших случаях они выполнены с помощью обычной автоматики, в сложных - основаны на использовании компьютеров. Широко используются тренажерные системы и в области образования. Общие методологические принципы и подходы для изучения сложных систем и этапы их исследования требуют особого подхода в технологии образования.

«Целью научных знаний должно быть направление ума таким образом, чтобы он выносил прочные и истинные суждения о всех встречающихся предметах» и «Мало иметь хороший ум, главное – хорошо его применять» [10]. Как же прав и современен Рене Декарт и сегодня!

Математическая логика как раздел математики является одной из дисциплин, обеспечивающих фундаментальность образования инженера.

Данная дисциплина рекомендована для подготовки специалистов по направлениям «Прикладная информатика», «Информационные системы и технологии», «Математика», «Программная инженерия», «Математическая лингвистика» и т.д.

Дисциплина «Избранные вопросы математической логики» является логической основой понимания сущности доказательств и их логического строения, изучения аксиоматических математических теорий из разных областей математики, а также теоретической основой логической составляющей обучения математике. Изучение дисциплины является базой для дальнейшего освоения студентами курсов профессионального цикла. Знания, умения и навыки, полученные студентами в результате усвоения материала дисциплины, могут быть использованы ими во всех видах деятельности в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

Цели и задачи учебной дисциплины – требования к результатам освоения дисциплины: ознакомление студентов с её важнейшими разделами математической логики для применения полученных знаний в решении практических задач, повышение уровня математической культуры, развития логичности и

конструктивности мышления, формирования систематизированных знаний в области математической логики, представлений о проблемах оснований математики и роли математической логики в их решении; развитие логического мышления, логической культуры, логической интуиции.

Работа, которая ведется авторами на базе НИУ БелГУ, Института информационных технологий и естественных наук, кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, попытка внедрения новых образовательных технологий в образовательный процесс. Дисциплина «Избранные вопросы математической логики» включена в математический и общий естественнонаучный цикл программы магистрантов по специальности «Математика и компьютерные науки». Данную дисциплину на кафедре ведут преподаватели: д.т.н., профессор Константинов И.С. (ведущий преподаватель), ст. преподаватель Гумберидзе М.Э. и аспирант Жуков А.В.

Задачи дисциплины «Избранные вопросы математической логики»:

- освоение методологии исследования математической теории с точки зрения математической логики и решение широкого круга задач компьютерных наук;

- формирование представлений о противоречивости, непротиворечивости, полноте математической теории, зависимости или независимости положений, положенных в основу, рассматриваемой теории

- формирование современного взгляда на основания математики;

- освоение методологии исследования формальных доказательств;

- формирование и развитие логического мышления;

- освоение магистрантами математического аппарата, применяемого в теории логического вывода, машинного доказательства теорем, для проектирования логических устройств в некоторых специальных дисциплинах.

Мы постарались в работе следовать классическим традициям российской математической школы, не забывая, при этом новые образовательные стандарты и информационные технологии.

Так нами запланированы съемки мини фильмов (видеороликов), где ведущий преподаватель кратко знакомит с основными

задачами, которые он определяет на предстоящее лекционное занятие. Наличие внутренней сети университета позволяет выполнить рассылку всем студентам группы. Предполагается, что студенты, будучи оповещены о теме лекции, постараются познакомиться с материалом, подготовить, вопросы по текущей проблеме.

В современной педагогике приоритетом общего образования становится развитие личности через формирование универсальных учебных действий.

Коммуникативные действия обеспечивают возможности сотрудничества: умение слышать, слушать и понимать партнёра, планировать и согласованно выполнять совместную

деятельность, распределять роли, взаимно контролировать действия друг друга, уметь договориться, вести дискуссию, правильно выражать свои мысли, оказывать поддержку друг другу и эффективно сотрудничать как с преподавателем, так и со сверстниками [1].

Для успеха студентам необходимо уметь, при планировании учебного сотрудничества: задавать вопросы, необходимые для организации собственной деятельности и сотрудничества с партнером; определять цели, функции участников, способы взаимодействия; договариваться о распределении функций и ролей в совместной деятельности.



Рис. Виды коммуникативных действий
Fig. Types of communication activities

В плане инициативного сотрудничества: ставить вопросы, обращаться за помощью, формулировать свои затруднения; предлагать помощь и сотрудничество; проявлять активность во взаимодействии для решения коммуникативных и познавательных задач.

В рамках взаимодействия: формулировать собственное мнение и позицию, задавать

вопросы; строить понятные для партнера высказывания; строить монологическое высказывание; вести устный и письменный диалог в соответствии с грамматическими и синтаксическими нормами родного языка, слушать собеседника.

В рамках сотрудничества: определять общую цель и пути ее достижения; осуществлять

взаимный контроль; прогнозировать возникновение конфликтов при наличии разных точек зрения; разрешать конфликты на основе учета интересов и позиций всех участников; координировать и принимать различные позиции во взаимодействии [4].

Во время чтения лекций, преподаватель может выбрать пользоваться ли ему возможностями современной электронной доски (так как на базе университета есть несколько аудиторий предоставляющие эту возможность и подготовлены презентации) или выбрать аудиторию, где есть возможность классическим способом проводить объяснение изучаемой темы (в связи с этим заранее планируется проводить часть практических занятий в компьютерных классах).

На практических занятиях студентам предоставляется больше свободы общения и выбора из базы задач по текущему материалу (задачи рассылаются по электронной почте группе), какие именно будут рассмотрены с преподавателем. Обычно, студенты сами решают и выбор падает на задачи, вызвавшие затруднения при самостоятельном решении.

Нередко, лектор во время проведения занятия, использует заранее подготовленные вопросы, которые представлены в виде небольшого формата раздаточного материала (не более 3 вопросов). Вопросы, составлены по текущей лекции и преподаватель, достаточно быстро получает информацию о том, насколько внимательно аудитория слушала новый материал и насколько хорошо он был усвоен. Работая в тесном сотрудничестве с преподавателем, который ведет практические занятия и аспирантом, который отвечает за создание базы задач в электронном виде, тестов и т.д., ведущий преподаватель может достаточно гибко менять свое направление, не выходя за рамки рабочей программы, уделять больше времени и закрепить типовыми задачами новый материал во время практических занятий.

На практических занятиях используем групповые формы работы. Студентов формируем в группы и это дает возможность ребятам научиться совместному решению поставленных задач. Включаем соревновательные элементы. Баллы, полученные на таких практических занятиях, учитываются во время зачета.

Подготовлен материал для выполнения работ с привлечением ПК. Тесты в электронном и бумажном виде. Тестирование проводится после

завершения изучения каждого нового раздела дисциплины.

Теория излагается преднамеренно кратко, в многочисленных примерах обобщаются и развиваются ключевые идеи курса и каждая глава снабжена приложением теории к практике. Приложения наглядно демонстрируют как математическая логика решает задачи компьютерных наук.

Цель дальнейшего совершенствования работы-мотивация самоэффективности магистранта.

Поле – это сочетание факторов внешней и внутренней ситуации, то есть окружения и субъекта [6, С. 76-79]. К. Левин считал, что потребности личности всегда находятся в связи друг с другом. При этом квазипотребности могут обмениваться энергией, являясь коммуникацией заряженных систем. Такая коммуникация способна делать поведение человека более гибким, помогает в разрешении конфликтов, преодолении различных барьеров и в нахождении выходов из трудных ситуаций [7, С. 156-158]. Познание сложный путь, мы стремимся в своей работе не только обучить, но и помочь понять магистранту причину, понимание своих способностей и как энтузиазм, настойчивость, заинтересованность влияет на дальнейшую его деятельность. Мы хотим своей работой выполнить роль «пускового механизма» для процесса самоактуализации [5, С. 105-107].

При изучении дисциплины- внимание учащегося обращено на её прикладной характер, на то, где и когда изучаемые теоретические положения, и практические навыки могут быть использованы в будущей практической деятельности.

Так как магистр должен быть готов к выполнению исследовательской деятельности в областях, использующих математические методы и компьютерные технологии, созданию математических моделей процессов и объектов, разработке программ решения соответствующих задач естествознания, техники и управления, проектно-конструкторской, экономической, а также должен быть готов к деятельности, требующей углубленной фундаментальной и профессиональной подготовки, мы сталкиваемся с необходимостью включать информационные аспекты инновационного обучения. При малом количестве аудиторных занятий планирование образовательного процесса становится одной из ключевых задач учебного процесса.

Многие студенты могут выбрать своей дальнейшей профессией педагогическую деятельность. Процесс выявления комплекса условий необходимых для этого также стоит во главе задач, которые мы определяем для себя. Мы применяем в образовательной практике следующие педагогические условия: осознание будущей профессиональной деятельности, развитие личности и обучение носит междисциплинарный характер [8].

Вызовы современного активно развивающегося мира заставляют нас все время находить новые образовательные технологии, учитывать особенности нового двухуровневого стандарта высшей школы и не забывать о том, что организация учебного процесса должна обеспечить переход обучающегося из позиции студента в позицию профессионала, «трансформацию учебной деятельности в профессиональную» [2].

Список литературы

1. А.Г. Асмолов, Г.В. Бурменская, И.А. Володарская и др. Как проектировать универсальные учебные действия в начальной школе: от действия к мысли: пособие для учителя / под ред. А.Г. Асмолова. – М.: Просвещение, 2010.
2. Выготский Л.С., Бакшеева Н.А. Развитие мотивации студентов в контекстном обучении. – М., 2000, С.79.
3. Колин К.К. Информационные технологии – катализатор процессов развития современного общества. / К.К. Колин // Информационные технологии. – 1995, – № 10. – С. 2-8.
4. Корсакова И.В., Гумберидзе М.Э. Использование информационных технологий для обучения детей младших классов общеобразовательных учреждений Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2015. С. 74-76.
5. Крайг, Г. Психология развития / Г. Крайг – СПб.: Изд-во «Питер», 2000. – 992 с.
6. Макклелланд, Д. Мотивация человека / Макклелланд Д. – СПб.: Изд-во «Питер», 2007. – 672 с.

7. Маклаков, А.Г. Общая психология / А.Г. Маклаков. – СПб.: Изд-во «Питер», 2001. – 592 с.

8. Смирнов, В.И. Общая педагогика в тезисах, дефинициях, иллюстрациях/В.И. Смирнов. – М.: Педагогическое общество России, 1999. – 416 с.

9. Урсул А.Д. Природа информации. Философский очерк / А.Д. Урсул. – М.: ПОЛИТИЗДАТ. – 1968. – 288 с. (Немецкий перевод: Ursul A.D. Information. Einephilophische Studie. Berlin: Dietz Verlag. 1970).

10. Афоризмы великих людей. URL: <http://www.wisdoms.ru/pavt/p73.html>. (дата обращения 10.05.2016)

References

1. Asmolv A.G, Burmenskaya G.V., Volodarskaya I.A. et al. How to Plan Universal Learning Activities in Primary Schools: from Action to Thought: A Guide for Teachers / Ed. by A.G. Asmolv. M.: Education, 2010.
2. Vygotsky L.S., Baksheeva N.A. Development of Aspirations of Students in Contextual Training. M. 2000. P.79.
3. Colin K.K. Information Technology – the Catalyst of Processes of Development of the Modern Society. / K.K. Colin // Information Technologies. 1995. № 10. Pp. 2-8.
4. Korsakova I.V., Gumberidze M.E. The Use of Information Technology for Education of Children of Junior Classes of Educational Institutions. Collection of Scientific Papers on the Results of the International Scientific-Practical Conference. 2015. Pp 74-76.
5. Craig, G. Developmental Psychology / T. Krayg-SPb Univ. Of «Peter», 2000.992 p.
6. McClelland. Human Motivation D / D. McClelland-Petersburg Univ. Of "Peter", 2007. 672 p.
7. Maklakov A.G. General Psychology / A.G. Maklakov. SPb Univ. Of «Peter», 2001. 592 p.
8. Smirnov V.I. General Pedagogy in Theses, Definitions, Illustrations / V.I. Smirnov. M.: Russian Society of Teachers. 1999. 416 p.
9. Ursul A.D. The Nature of the Information. Philosophical Essays / A.D. Ursul. M.: Politizdat. 1968. 88. (transl. from German: Ursul A.D. Information. Einephilophische Studie Berlin: Dietz Verlag in 1970.).
10. Aphorisms greats. URL: <http://www.wisdoms.ru/pavt/p73.html>. (date of access: May 10, 2016).

УДК 666.293.35, 004.896

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-52-59

Илюнин О.О.
Гахов Р.Р.
Шамраев А.А.**НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ
ПОЛОСОВОЙ СТАЛИ**

1) аспирант кафедры электронных вычислительных машин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники: пр. Науки, 14, г. Харьков, 61166, Украина
e-mail: ilyunin67@mail.ru

2) зав. кафедрой информационных систем, кандидат технических наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия.

e-mail: gahov@bsu.edu.ru

3) доцент кафедры информационных систем, кандидат технических наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия.

*e-mail: shamraev@bsu.edu.ru***Аннотация**

В работе рассмотрены методы и подходы интеллектуального управления технологическим процессом травления холоднокатаной полосовой стали с элементами компараторной идентификации дефектов, основанные на использовании радиально-базисных (RBF) сетей с гауссовыми функциями активации (GRB). Предложен критерий оценки качества процесса травления по остаточным дефектам полосы на выходе из установки. Представлены гиперповерхность процесса изменения параметров травильного раствора и MISO-модель стабилизации параметров процесса в оптимальной области по стоимостному критерию. Предложен метод нечеткой цветовой идентификации дефектов стальной полосы по яркостной компоненте и их позиционной сегментации; изложен подход к построению нечеткого регулятора давления в соплах гидравлического блока предварительного орошения дефектов полосы. Для исследования процесса и синтеза классификатора и регулятора использованы данные, полученные в ходе технологического эксперимента на производстве.

Ключевые слова: компараторная идентификация; радиально-базисные сети; гауссовы функции активации; MISO-модель.

UDC 666.293.35, 004.896

Илюнин О.О.
Gakhov R.P.
Shamraev A.A.**NEURO-FUZZY CONTROL OF CONTINUOUS STEEL STRIP PICKLING**

1) Postgraduate Student, Department of Digital Electronic Computers,

Kharkov National University of Radioelectronics, 14 Nauky Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
e-mail: ilyunin67@mail.ru

2) PhD in Technical Sciences, Associate Professor Head of Department of Information Systems, Belgorod State National Research University. 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia.

e-mail: gahov@bsu.edu.ru

3) PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems, Belgorod State National Research University. 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia.

*e-mail: shamraev@bsu.edu.ru***Abstract**

The paper covers the methods and approaches of intelligent process control of pickling cold rolled steel strip with elements of comparator defect identification, based on the use of radial-basis (RBF) networks with Gaussian activation functions (GRB). The authors offer a criterion for assessing the quality of the process of etching the residual defects of the strip at the exit from the

installation. The hypersurface of the process parameters' change of the etching solution and MISO-model stabilization of process parameters in an optimal area for cost criteria are presented. The method of fuzzy color identification of defects on the steel strip by luminance component segmentation and positioning, and the approach to the construction of a fuzzy regulator of pressure in the nozzles of the hydraulic unit prior irrigation strip defects are offered. To study the process and the synthesis of the classifier and controller the authors used the data obtained in the course of the experiment in the production process.

Keywords: comparator identification; radial-basis networks; activation Gaussian function; the MISO-model.

Оценивание качества работы контуров регулирования технологического процесса (ТП) травления холоднокатаной стали в непрерывном травильном агрегате (HTA) является нетривиальной задачей. Процедура основана на оценивании средних значений остатков нормированной величины \bar{x}_n (доли площади остаточных дефектов) и их отклонений [2]. Средние значения каждой суммарной статистики обновляются по следующему правилу:

$$\bar{x}_n = \lambda \bar{x}_{n-1} + (1 - \lambda)x_n, \quad (1)$$

где \bar{x}_n – рассчитанное по n точкам среднее значение остатка; x_n – данные для новой точки; λ – фильтрующий коэффициент.

Рассчитанные относительные изменения средних значений остатков и их отклонений могут быть использованы в качестве входных сигналов нейронной сети для классификации локального дефекта качества (Q_n) и при формировании управляющих воздействий в ТП. Этот коэффициент предлагается вычислять следующим образом:

$$Q_n(t) = F_{\text{ИНС}}(\sigma_n(t), \bar{x}_n(t)), \quad (2)$$

где $F_{\text{ИНС}}$ – нейросетевая модель; $\sigma_n(t)$ и $\bar{x}_n(t)$ – соответственно среднеквадратичное отклонение и среднее значение остатка в рабочем окне n (рассчитанное по n точкам в момент времени t). Оценка средних значений нормированных по площади остатков дефектов поверхности полосы и их отклонений предложена как критерий оперативного контроля качества ТП.

В [1] была формализована задача травления и предложен нечеткий классификатор дефектов (D): систематических по краям рулона стальной полосы и несистемных ($HД$) в виде окалины различных толщин d_n и оттенков серого цвета. Идентификацию цвета D предложено

осуществлять по яркостной компоненте, формула перехода к которой представлена в [12]:

$$Y = R*0.299 + G*0.587 + B*0.114, \quad (3)$$

где Y – яркость в оттенках серого цвета; R, G, B – цветовые составляющие в диапазоне 0÷255.

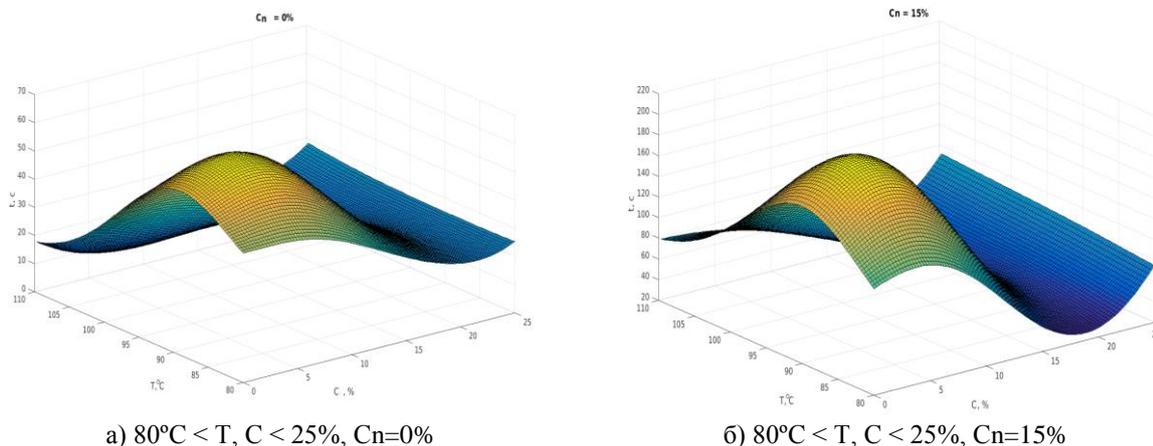
Скорость травления стальной полосы – t_p в сернокислотных травильных растворах (ТР) нелинейно связана уравнением Аррениуса [3] со следующими управляемыми параметрами ТП: T – температурой раствора, C – концентрацией травильного раствора (КТР) серной кислоты, Cn – концентрацией мультигидратов сульфата железа в ТР. ТП травления полосовой стали как типичная конвейерная линия [9], может быть формализован нечеткой MISO – моделью вида $X \rightarrow Y$.

Гиперповерхность модели $t_p = f(T, C, Cn)$, для которой из аналитических зависимостей известны значения (X, Y) , строится по m опорным точкам измерений параметров, принятых в качестве центров-медиан классов. Фрагменты гиперповерхности представлены на рисунке 1. Аналогично процедуре, приведенной в [11] для построения нейронной RBF-сети в каждом из m классов определена GRB-функция активации:

$$y = f(X) = y_0 \exp\left\{-\sum_{i=1}^3 \frac{(x_i - c_i)^2}{2\delta_i^2}\right\}. \quad (4)$$

На выборке экспериментальных данных с учетом рекомендаций, приведенных в [10], были проведены настройка центров c_i и величин охвата ветвей δ_i путем последовательного «обучения сети с учителем» [7].

Построенная RBF-сеть дефазифицирует входные параметры методом одноточечных множеств, определяя оптимальные стратегии ТП травления металла при регламентных ограничениях по срезу (T, C), и поддерживает скорость травления на заданном уровне.



а) $80^{\circ}\text{C} < T, C < 25\%, C_n=0\%$

б) $80^{\circ}\text{C} < T, C < 25\%, C_n=15\%$

Рис. 1. Гиперповерхность модели $t_p = f(T, C, C_n)$

Fig. 1. The model's hypersurface $t_p = f(T, C, C_n)$

Для достижения качественного травления, температуры растворов должны постоянно поддерживаться на таком уровне, чтобы показатель времени травления t_p был максимален в каждой травильной ванне. Определение оптимальных температур TP зависит от сортамента и качества полосы проката, условий ведения процесса, и скорости потери активности TP .

Оптимальная стратегия $ТП$ травления холоднокатаной стали заключается в том, что постепенное снижение KTP компенсируется повышением температуры в ваннах до максимального предела, определенного регламентом (от 88°C до 99°C). Управление параметрами осуществляется по критерию, применяемому к (4):

$$\arg \min_x f(X). \quad (5)$$

Критерий приведен к стоимостной шкале в упрощенной аддитивной форме введением скаляра нормированных коэффициентов удельных затрат E на изменение каждого из управляемых параметров ΔX , и имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \arg \min_x t_p \\ \text{for } E_1 \cdot \Delta T + E_2 \cdot \Delta C + E_3 \cdot \Delta C_n \rightarrow \min \end{array} \right. \quad (6)$$

Определение значений E , с учетом взаимного влияния элементов X на ход $ТП$, проводилось в виде экспертной процедуры, предложенной в [8]. Скорость реакции травления – t_p зависит от: стартовой энергии активации травильного раствора – E_a , прямо пропорциональна корню касательного напряжения потока травильного раствора – $\sqrt{\tau_{cm}(P_i)}$, создаваемого на поверхности дефекта давлением потока P_i с расстояния от сопла до поверхности l [1]:

$$E_a \approx l \cdot k \cdot \sqrt{\tau_{cm}(P_i)}. \quad (7)$$

Этот эффект использован для гидравлического смыва дефектов [4] в 1-ой ванне HTA , с предварительной идентификацией их характеристик: координат и цветовой RGB-оценки, которая нечетко определяет величину давления, с которой подается TP на дефектную область полосы. Управление давлением TP , подаваемого из сопла, производится по закону вида $P_i = f(d_n)$.

В отличие от зарубежных аналогов, описанных в [1], где накапливалась статистика $НД$ на выборке из партии рулонов стальной полосы, и отсутствовал выходной контроль Im^{out} , в [4] была предложена схема HTA с компараторной идентификацией дефектов, представленная на рисунке 2.

Устройство содержит: 1 – травильный агрегат с узлами нагрева, рекуперации и регенерации травильного раствора; 2 – металлическую полосу; 3 – блок регулирования давления P_i травильного раствора в соплах устройства гидравлического орошения несистемных дефектов, расположенных по N единиц по обеим сторонам плоскости движущейся металлической полосы; 4 – оптический датчик выходного контроля качества травления металлической полосы с обеих сторон; 5 – блок обработки оптической информации и управления технологическим процессом; 6 – дозатор; 7 – оптический датчик входной идентификации и позиционирования несистемных дефектов металлической полосы с обеих сторон; 8 – ванна орошения травильного агрегата; 9 – второй дозатор; 10 – комплекс погружных травильных ванн (или одну травильную ванну).

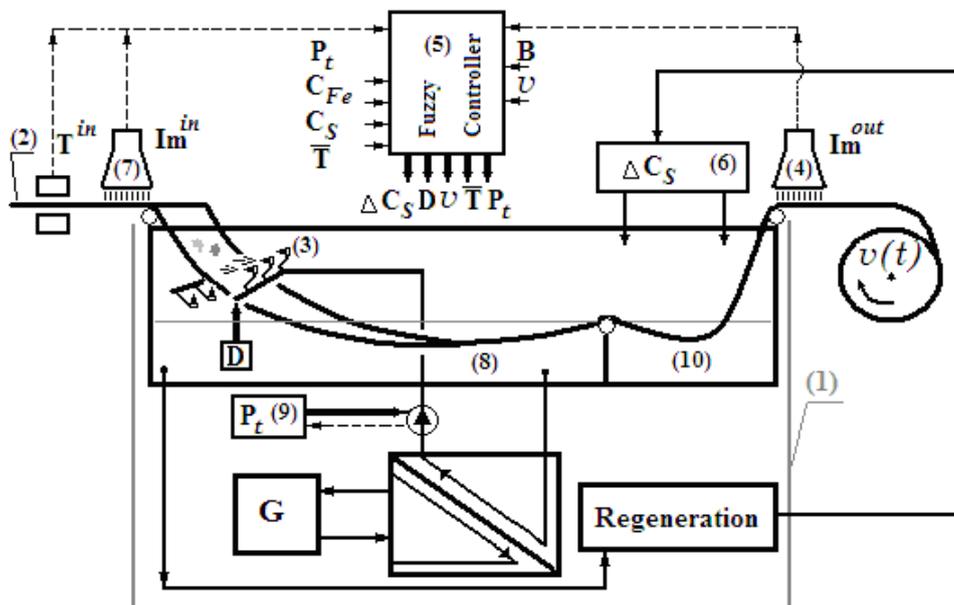


Рис. 2. Схема НТА с идентификацией и позиционированием несистемных дефектов полосы проката
Fig. 2. Scheme of CPA with the identification and positioning of rolled strip's non-system defects

Процесс обработки поверхности полосы происходит следующим образом. Получая данные от (7) контроллер (5) определяет позиционные координаты m -го дефекта D^m в виде прямоугольника с координатами диагональных вершин (x_1^m, y_1^m) и (x_2^m, y_2^m) , и формирует сигнал на (3) для включения сопел N_j ($j=i, i+1, \dots, k$) на период времени $T_j = (y_2^m - y_1^m) / v(t)$. Причем область орошения сопел N_j покрывает дефект D^m на участке полосы шириной $[x_1^m, x_2^m]$. Контроллер (5) формирует сигнал (9) для изменения номинала площади проходного сечения A_j сопла, с целью достижения на выходе сопла N_j давления травильного раствора P_t в соответствии со значением функции возможности $\pi_n(X_m = \text{«Цвет»})$. Интерпретируемое управляющее воздействие – изменение сечения сопла (давления) подачи травильного раствора P_i в i -м сопле орошения, позиционно покрывающим область координат дефекта (с уточнением ΔP_t в процессе обучения синтезируемого нечеткого регулятора). Логическое правило управления (ЛПУ) селективным травлением полосы формируется следующим образом:

ЕСЛИ (Цвет = X_m & D^m) ТО ((включить N_j сопла, $j=i, i+1, \dots, k$) & (изменить площади сечений $A_j, j=i, i+1, \dots, k$ в соответствии $\pi_n(X_m)$)). (8)

Дефазифицируя ЛПУ, получим:
ЕСЛИ ($X_m(t_i)$ & $D^m(t_i)$) ТО [$A_j(t_i) = A_j(\pi(X_m(t_i)))$ & $A_j(t_i + T_j) = A_j(\pi(X_m(t_i + T_j)))$], (9)

где $t_i = t_i - \tau_{on} + (L_{7-3} / V(t))$, для $j=i, \dots, k$ – момент реального времени включения сопла; L_{7-3} – длина участка проката с учетом петли от точки входной идентификации (датчика 7), которую точка до сопел (3) преодолевает за время t_{7-3} со скоростью сматывания полосы $V(t)$ (максимум 120 м/с); τ_{on} – время задержки системы управления для изменения площади проходных сечений A_j ; T_j – период времени включения сопла для обработки дефекта $D^m(X_m(t_i))$.

Отсутствие априорной информации об НД (количестве, форме, размерах) приводит к методике применения нечеткой кластеризации входных данных Im^m . Для минимизации ошибки неразличимости НД, находящихся в геометрической близости друг от друга [5] при влиянии фоновых ошибок телеметрической аппаратуры, предложен метод входной сегментации НД.

По наборам позиционных координат части НД относят к разным сегментам S_j полосы проката. Ширина сегмента S_j соответствует по размеру орошаемой части полосы поверхности проката соплом A_j в момент отработки управляющего воздействия. ЛПУ давлением P_t для сопла A_j с учетом (8) можно представить в виде:

$$A_j(t_i): P_j(t_i) (R \{X_m(t_i) | D^m(t_i) \in S_j\}), \quad (10)$$

где R – определяющее правило преобладающей альтернативы. Физически обусловленные ограничения на количество сопел N приводят к неоднозначностям управляющих воздействий для обработки НД. В секторе S_j обработки

поверхности соплом A_j могут одновременно находиться дефекты с различными цветовыми характеристиками X_m . Отношение R , определяющее предпочтительную ветвь алгоритма управления, задает правило воздействия на сектор: минимальное, усредненное или максимальное изменения

давления в сопле или KTP , и устраняет нечеткость управления. Рисунок 3 иллюстрирует правило R : $\max(P_i)$ для сопла $A2$ на временном отрезке $(t_1; t_4)$. При дефаззификации ЛПУ функция $\pi(X_m(t_i))$ заменяется числовой оценкой цвета дефекта по формуле (3).

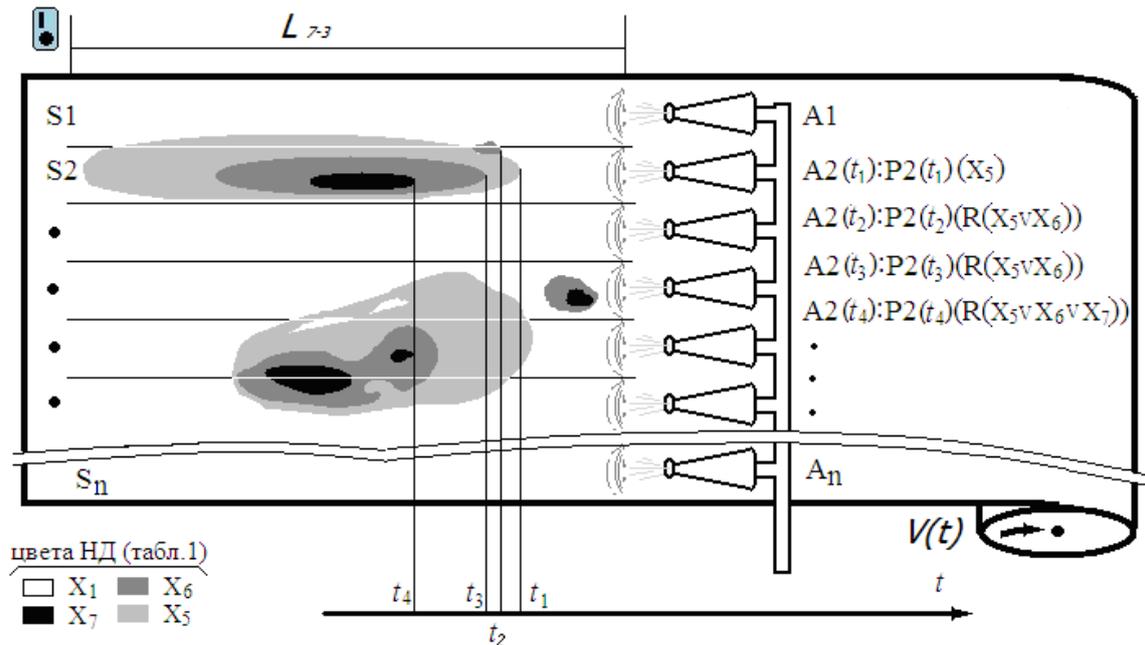


Рис. 3. Входная сегментация несистемных дефектов полосы проката
Fig. 3. The input segmentation of rolled strip's non-system defects

Экспертами электротехнической и химической лабораторий завода экспериментально был составлен классификатор с параметрами управляющих воздействий, приводящих к полному удалению НД при предварительном входном гидравлическом воздействии с давлением подачи TP на сопла $P_i=(0; 6)$ МПа и последующем прохождении ими всех ванн НТА.

В качестве исполнительного устройства применялся титановый клапан типа H331g диаметром сечения 5мм с равномерной линеаризованной характеристикой, оснащенный редукторным электрическим приводом ANT 5 производства фирмы AS Shneider.

Время полного хода шпинделя от закрытого состояния клапана до открытого составляет $t_f=5c$. Значения времени хода шпинделя от закрытого состояния клапана до открытых состояний с достижением соответствующих значений P_i приведены в таблице 1. На примыкающих отрезках зависимости $t_{f(i,i+1)}=F(P_{i(i,i+1)})$ проявляются линейно для $i=1, \dots, n$.

Таблица 1

Классификатор НД и параметры управляющих воздействий

Table 1

Qualifier of non-system defects and control actions parameters

n	X_m =Цвет дефекта	d_n ,мк	Y	Y_i	P_i , МПа	t_f , c
1	Матовый алюминий	0,1÷0,4	227 ÷ 231	229	0	0
2	Бледно-голубой	5÷10	218 ÷ 226	223	1,8	1,1
3	Светло-серый	13÷15	200 ÷ 217	209	3,6	2,2
4	Серый	14÷25	189 ÷ 206	198	3,9	3,0
5	Темно-серый	24÷36	137 ÷ 148	142	4,5	4,0
6	Темно-серый матовый	38÷32	45 ÷ 82	67	4,8	4,2
7	Почти черный	34÷40	3 ÷ 39	21	6,0	5,0

Характеристика зависимости давления от времени хода шпинделя ΔP_i (Δt_i) линеаризована на участках $(P_i(i); t_i(i)) - (P_i(i+1); t_i(i+1))$ за счет сложной геометрии камеры игольчатого клапана. Направление отработки движения $A(\Delta Y)$ шпинделя клапана определяется знаком отклонения оценки $Y(D_m(t_{i+1}))$, полученной в момент t_{i+1} :

$$A(\Delta Y) = \text{sign}(Y(D_m(t_{i+1})) - Y(D_m(t_i))). \quad (11)$$

Величина хода иглы клапана зависит от длительности времени включения электропривода, приводящего в движение шпиндель.

Решение основано на FCM-методе кластеризации [10] характеристики P_i (Па) от яркостной оценки цвета дефекта – Y . Область определения $Y=[0; 231]$ разделяется на n неравных подобластей-кластеров с центрами-медианами назначаемыми в опорных точках с известными характеристиками (Y_n, P_{in}) .

Интерполяция $P_i(Y)$ внутри класса осуществляется с помощью GRB-функций аналогично (4). При этом Y_i и Y_{i-1} принимаются как центры соседних кластеров. Текущее значение оценки $Y(t)=y_j$ относят к i -му классу по критерию минимума Евклидова расстояния от оцениваемого объекта до центра i -го кластера Y_i . Для каждого i -го кластера ($i=1,2,3,\dots,7$) строятся несимметричные функции принадлежности типа:

$$\mu_{pi1}(y(t)) = \exp\left\{-\frac{(Y_i - y(t))^l}{2(\omega \cdot \delta_i^+ + (1-\omega)\delta_i^-)^l}\right\}, \quad (12)$$

где l – настраиваемый степенной показатель, влияющий на сглаживание функции, принят равным 4; δ – настраиваемая величина отклонения функции принадлежности к кластеру, к реализации принята равной 0,3 минимального расстояния до центра ближайшего кластера; ω – логическая переменная типа:

$$\omega = \begin{cases} 1 & \text{for } Y_i \leq y(t) \leq Y_{i-1} \\ 0 & \text{in other cases} \end{cases} \quad (13)$$

Для $i=1$ область определения $y(t) \leq 231$, поэтому для $i=2$ функция принадлежности принимает вид в соответствии с параметрами из таблицы 1:

$$\mu_{pi2}(y(t)) = \exp\left\{-\frac{(223 - y(t))^4}{2(\omega \cdot 2 + (1-\omega) \cdot 4.667)^4}\right\}, \quad (14)$$

где $\omega=1$ для $223 < y(t) \leq 229$ и $\omega=0$ для других значений $y(t)$. Аналогично строится функция для $i=7$.

На рисунке 4 представлен график $t_f(P_i)$. Предложенное решение позволяет нечетко вычислять необходимые значения $P_i(y(t))$ в каждый момент времени для сопла A_j . Время задержки системы управления для изменения площади проходного сечения сопла τ_{on} определяется по линейному закону, адаптивно изменяющемуся на разных отрезках ΔP_i .

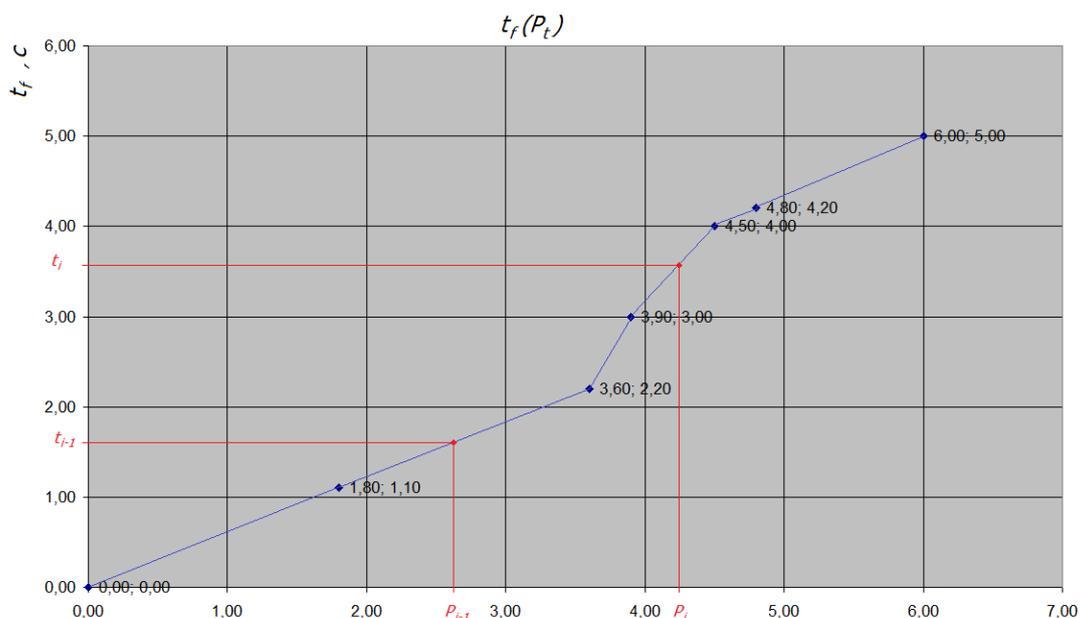


Рис. 4. Скорость изменения площади проходного сечения сопла $t_f(P_i)$
Fig. 4. The change rate of flow section of the nozzle square $t_f(P_i)$

Непрерывная функция $t_f(P_i)$ кусочно линеаризуется на области определения $P_i \in (0; 6)$ с разбиением на n неравных классов, границы которых обозначены соседними синими точками на рисунке 4, с условно постоянными законами $t_f(P_i)$ внутри подобластей. С целью изменения давления на величину ΔP_i , время включения электропривода Δt_f изменяется по пропорциональному закону с коэффициентом k_n внутри n -го класса:

$$k_n = \frac{t_{f_n} - t_{f_{n-1}}}{P_{t_n} - P_{t_{n-1}}} \quad (15)$$

Принадлежность величины $P_i(t_i)$ n -му классу определяется неравенством $P_{t_{n-1}} \leq P_i(t_i) \leq P_{t_n}$ и, при известном линейном законе $t_f(P_i)$, внутри классов, t_{fi} определяется по адаптивному закону управления:

$$t_{fi} = \frac{P_i(t_i) - P_{t_{n-1}}}{k_n} \quad \forall P_i(t_i) \quad (16)$$

$$P_{t_{n-1}} \leq P_i(t_i) \leq P_{t_n}$$

При известном значении предыдущей итерации $t_f(i-1)$ время задержки по управлению определяется как:

$$\tau_{on} = \|t_f(i) - t_f(i-1)\|, \quad (17)$$

а момент реального времени включения сопла:

$$t_i^* = t_i - \tau_{on} + (L_{7-3}/V(t)). \quad (18)$$

Длительность периода времени включения определена как $T_j = (y_2^m - y_1^m)/v(t)$, направление вращения определяется по формуле (11).

Недостатком предложенного решения является большое время обратной связи (около 60с) по сравнению с временем управляющего воздействия (до 1с). Это препятствие в управлении ТП устраняется созданием запаса стальной полосы в петлевой яме (до 120м при максимальной скорости полосы 2 м/с). Расширение пространства аргументов модели до $t_{f(i+1)} = F(C, T, Y, P_{t(i+1)})$, позволит синтезировать более корректный нейронечеткий регулятор.

Список литературы

1. Илюнин О.О. Идентификация несистемных дефектов в непрерывном технологическом процессе травления стального проката / Вестник Херсонского национального технического университета №1(46). – Херсон: НТУ, 2013. С. 394–396.
2. Илюнин О.О., Удовенко С.Г., Шамраев А.А. Метод оценки качества работы контуров регулирования процессов производства листовой стали / Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления: материалы научно-технической конференции, 25–27 марта 2014 г. Днепропетровск: НМетАУ, 2013 – С. 79.

3. Нечеткая процедура оценивания предельно допустимой концентрации сульфата железа в травильных растворах / Илюнин О.О., Перевертайленко А.Ю., Селяков А.М., Шамраев А.А. // Интегрированные технологии и энергосбережение № 4, ежеквартальный научно-практический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ» – 2014. – С.120–124.

4. Патент Украины 104710, МПК (2014.01) C23G 3/00, B08B 1/02, C23G 1/08, B08B 3/08, C23F 1/08, B08B 13/00. Устройство для непрерывного травления проката листовой углеродистой стали / Арсеньева О.П., Илюнин О.О., Перевертайленко А.Ю., Подпужников П.М., Селяков А.М., Тимофеев В.А.; реестровый № u 2012 09428; заявл. 02.08.12; опублик. 25.02.2014, Бюл. № 4. URL: <http://uapatents.com/5-104710-pristriij-dlya-bezperernogo-travlennya-prokatu-smugi-vuglecevo-stali.html>

5. Фомин Я.А. Распознавание образов: теория и применения. М.: ФАЗИС, 2014. 429 с.

6. Haykin, S., Neural Networks. A Comprehensive Foundation. 2-nd ed., Prentice Hall, Inc, 1999, ISBN 0-13-273350-1, 1101 p.

7. Modified criterion for economic efficiency estimation of heat pumps / Stanislav Boldyryev, Andrey Garev, Oleg Pulin, Anatolij Shamraev, Olexandr Selyakov, Olena Leshchenko, Petro Kapustenko // Chemical engineering transactions. – 2013 – VOL.35. – p. 475–481. Available at URL: <http://www.aidic.it/cet/13/35/079.pdf> (accessed 12.10.2013).

8. Matia F. Fuzzy Modeling and Control. Theory and Applications / Matia F., Marichal G.N., Jiménez E. (eds.) – Atlantis Press, 2014. – 291pp.

9. Piegat, A., Fuzzy Modeling and Control, Physica-Verlag, A Springer-Verlag Company, Heidelberg, 798 p, 2011.

10. Rudenko, O.G., Bezsonov, A.A., Liashenko, A.S., Sunna, R.A. Approximation of Gaussian basis functions in the problem of adaptive control of nonlinear objects. Cybernetics and Systems Analysis. – 2011, V.47(1), pp 1–10.

11. David Salomon, Data compression – The Complete Reference, 4th Edition. Springer, 2007, ISBN 978-1-84628-602-5, pp. I-XXV, 1–1092.

References

1. Ilyunin O.O. The Identification of Non-system Defects in the Continuous Process of Rolled Steel Pickling / Bulletin of Kherson National Technical University №1 (46). Kherson: NTU. 2013. Pp.394-396.
2. Ilyunin O.O., Udovenko S.G., Shamraev A.A. The Method of Quality Evaluation of Loops Work in the Sheet Steel Production Process Control / Modern trends of development of information and communication technologies and management tools: Materials of Science and Technology Conference, 25–27 March 2014 Dnepropetrovsk: NMetAU, 2014. P. 79.
3. The Fuzzy Procedure of Estimation of the Maximum Allowable Concentration of Iron Sulfate in

Pickling Solutions / Илунин О.О., Perevertaylenko A.Yu., Selyakov O.M., Shamraev A.A. // Integrated technologies and energy saving, number 4, a quarterly scientific journal. Kharkov: NTU "KPI". 2014. P.120-124.

4. Patent of UKRAINE 104710, IPQ (2014.01) C23G 3/00, B08B 1/02, C23G 1/08, B08B 3/08, C23F 1/08, B08B 13/00. Device for the Continuous Pickling of Rolled Carbon Steel Sheet / Arsenyeva O.P., Илунин О.О., Perevertaylenko A.Yu., Podpruzhnikov P.M., Selyakov O.M., Timofeyev V.A.; roster number: u 2012 09428; appl. 02.08.12; publ. 02.25.2014, Bull. № 4. URL: <http://uapatents.com/5-104710-pristriij-dlya-bezperernogo-travlennya-prokату-smugi-vuglecevo-stali.html>

5. Fomin Ya.A. Pattern Recognition: Theory and Application. M.: FAZIS, 2014. 429 p.

6. Haykin, S., Neural Networks. A Comprehensive Foundation. 2nd ed., Prentice Hall, Inc, 1999, ISBN 0-13-273350-1, 1101 p.

7. Modified criterion for economic efficiency estimation of heat pumps / Stanislav Boldyryev, Andrey Garev, Oleg Ilunin, Anatolij Shamraev, Olexandr Selyakov, Olena Leshchenko, Petro Kapustenko // Chemical engineering transactions. – 2013 – VOL. 35. – p. 475–481. – Available at URL: <http://www.aidic.it/cet/13/35/079.pdf> (date of access: November 12, 2013).

8. Matía F. Fuzzy Modeling and Control. Theory and Applications / Matía F., Marichal G.N., Jiménez E. (eds.) – Atlantis Press, 2014. – 291p.

9. Piegat, A., Fuzzy Modeling and Control, Physica-Verlag, A Springer-Verlag Company, Heidelberg, 798 p, 2011.

10. Rudenko, O.G., Bezsonov, A.A., Liashenko, A.S., Sunna, R.A, Approximation of Gaussian basis functions in the problem of adaptive control of nonlinear objects. Cybernetics and Systems Analysis. – 2011, V.47(1), pp 1–10.

11. David Salomon, Data compression – The Complete Reference, 4th Edition. Springer, 2007, ISBN 978-1-84628-602-5, pp. I-XXV, 1–1092.

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 621.377.2

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-60-63

Ушакова Н.Н.
Винтаев В.Н.

**БЫСТРЫЕ ВАРИАНТЫ ОПЕРАЦИЙ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ
КОМПЬЮТЕРНОЙ АРИФМЕТИКИ**

1) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия
e-mail: natush2006@yandex.ru

2) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия
e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru

Аннотация

В работе приводится способ построения быстрых модификаций операций и алгоритмов поточной обработки данных при деконволюции космического изображения высокого разрешения в представлении деконволюции в проблемно-ориентированной компьютерной арифметике.

Ключевые слова: конволюция; деконволюция; проблемно-ориентированная компьютерная арифметика; обобщенная бинарная билинейная операция.

UDC 621.377.2

Ushakova N.N.
Vintaev V.N.

**RAPID VARIATIONS IN THE OPERATIONS OF PROBLEM-ORIENTED
COMPUTER ARITHMETIC**

1) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
e-mail: natush2006@yandex.ru

2) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru

Abstract

The authors provide a quick way of building modifications, operations and algorithms of mass data processing with deconvolution of satellite images of high resolution in the representation of deconvolution in problem-oriented computer arithmetic.

Keywords: convolute; deconvolution; problem-oriented computer arithmetic; generalized bilinear binary operation.

Введение

Основные процедуры в методе восстановления резкости – преобразования Ван-Циттера, конволюции и деконволюции, инверсная или винеровская с модификациями фильтрации, обработка обобщенным градиентным оператором наиболее оптимально организуются в виде поточных параллельно-конвейерных процессов,

что соответствует применению (особенно в бортовых вариантах модели распределенной среды) [3, 4].

Для пополнения пространства операций задачи восстановления резкости разработана порождающая проблемно-ориентированную компьютерную арифметику (ПОКА) обобщенная бинарная билинейная операция (ОББО) [3,4] со

сплошным спектром состояний, в числе которых свертка позиционных кодов, умножение кодов и промежуточные состояния, управляемая параметром взаимного сдвига частичных результатов в ромбе операции умножения или величиной аддитивного возмущения ее базовой таблицы. Однако вычислительная сложность ОББО соответствует вычислительной сложности операции свертки массивов и требует снижения ее, т.е. организации быстрых модификаций операции. Кроме того, большинство операций, включаемых в набор ПОКА для задач коррекции резкости на изображениях требуют снижения их сложности для повышения вычислительной эффективности решения задачи коррекции.

Реализация быстрых вариантов операций проблемно-ориентированной компьютерной арифметики

Математически ОББО строится как свертка двух Z -преобразований массивов (или как свертка двух полиномов) с формированием классического ромба столбцов с выполнением суммирования вдоль столбцов в ромбе с передачей возможных переносов в старшие по номеру столбцы, если взаимный сдвиг на оси порядков этих столбцов уменьшен. Управление этим сдвигом осуществляется выполнением схемы скалярного перемножения результата свертки с нормирующим вектором $\rho c = \{\beta c i\}$, где i – индекс, и степень вещественного основания βc . Z -преобразование (и полиномы), а также сами массивы представляют собой представление структурированной переменной в позиционной системе. Для операции умножения кортежей A и B , при этом, в соответствии с выше указанным, можно записать

$$AxB = (A ** B, \rho c) \quad (1)$$

и в результате вычисления (1) получим, как принято считать в соответствии с определением скалярного произведения, скаляр $\sum \{A ** B\}_i \{\beta c i\}$, т.е. новый позиционный код из коэффициентов его позиционного представления. Если $\beta c = \beta c 0$, где $\beta c 0$ – основание системы счисления, представляющей кортежи без искажений, записанные в полиномиальной форме $A = \sum \{A\}_i \beta c i 0$ и $B = \sum \{B\}_i \beta c i 0$, то полученный результат и будет результатом выполнения операции умножения. При увеличении неравенства $\beta c > \beta c 0$ достигается состояние ОББО – выполнение свертки, при $\beta c = 1$ – наступает вырожденное состояние ОББО. ОББО – операция со сплошным спектром состояний (включающим состояния: $**$ – свертки, x – умножения и вырожденное состояние при βc (параметр

состояния операции) равно единице). Если операнды ОББО не Z -преобразования и не полиномы, то кортежи $\{A\}_i$ и $\{B\}_i$ в регистрах операндов размещаются в соответствии с принятой арабской позиционной системой, что легко достигается простой переиндексацией элементов кортежей.

При положительно определенной норме возмущения ОББО, будучи введенной в любой алгоритм вместо операции стандартного умножения порождает вариации исходного алгоритма с нарастающим возмущением верхних мод спектра результатов его работы с изображением.

При деконволюции (уменьшении апертуры функции рассеяния точки (ФРТ)) алгоритмы класса Фурье-преобразований, свертки, линейных фильтров, реализуемые в алгебре с операциями «сложить» и «умножить», более эффективно осуществляются на основе операций, таких, например, как, восьми- четырех- или двухточечное преобразование Фурье, Адамара, Уолша, представимых довольно легко таблично и организуемых однократной выборкой значений из таблицы, размещаемой в согласованно структурируемой памяти компьютера [2]. Однако легко заметить, что этим таблицам однозначно соответствуют таблицы восьми-, четырех- или двухточечных свертки векторов соответствующих размерностей. При этом, вычислительное устройство, реализующее вычислительные процессы на основе «классической» арифметики, работает на порядки эффективнее, если в этой арифметической системе заменить двухместную операцию умножения, скажем, на перечисленные выше билинейные, то есть удовлетворяющие условиям дистрибутивности и тому подобным условиям табличные операции. Возврат вычислителя в традиционную арифметическую систему не только реализуется элементарно, но и обеспечивается при этом гораздо более эффективная реализация той же операции умножения. Примером тому теорема о замене классического алгоритма умножения целых чисел (алгоритма сложности n^2 (n – разрядность операции с учетом того, что можно считать разрядности входных операндов одинаковыми, заменяя нулями отсутствующие старшие разряды у «малоразрядного» операнда)) тремя быстрыми преобразованиями Фурье (БПФ) (с вычислительной сложностью результирующей операции $3n \log_2 n$; строго говоря, здесь еще присутствует аддитивная добавка в виде $3n$, где

$2n$ – количество операций при покомпонентном перемножении спектральных образов (достаточно использовать спектры первого и второго квадрантов спектральных координат) и n – вычислительные затраты на использование нормирующего вектора при приведении результата от свертки к умножению, но в данных расчета будем иметь в виду, что размерности решаемых задач не менее $n = 256$, и тогда добавкой в $3n$ можно пренебречь).

При моделировании на ПК двумерной свертки двух изображений размерностью 512×512 пикселей в индексной палитре (глубина цвета 1 байт) с реализацией модели конвейерно-параллельного вычислителя с условным распараллеливанием на 4 ветви, тактовой длиной 512 табличных операций с таблицами арифметической системы, представляющими собой табличные математические процессоры свертки размерностью 2×2 вместо операции умножения, получено сокращение времени процедуры свертки по сравнению с использованием «традиционного» ускорения процедурой 512-точечного БПФ (конвейер в графе Баттерфляй) около 29 раз.

Расчетное сокращение времени составило примерно $3 \times 512 \times 512 \times 16 / (4 \times 256 \times 256) = 48$ раз (в числителе – типовой расчет затрат тактов на использование БПФ, в знаменателе – расчет числа выборок из памяти для восстановления суммированием со сдвигом полноразмерной свертки).

Необходимость распараллеливания конвейерных (поточковых) алгоритмов и спецсредств для операций типа свертки играет важную роль и является одним из основных вычислительных элементов в координируемой коррекции – коррекции по формулам Ван Циттера, в вычислении значений погрешностей на сравниваемых изображениях, в фильтрации и обработке изображений масками. Количество повторений операции огромно, а что касается изображений высокого разрешения, размеры которых в одном спектральном канале (которых может быть десять и десятки) до 10^{12} байт на отображаемую площадь обзора в 10 кв.км, а в системах со сверхразрешением число байт увеличивается на порядок. С учетом того что вычислительная сложность операции свертки имеет вид квадратичной зависимости, то число элементарных умножений байтов друг на друга в свертках достигает значений 10^{26} - 10^{28} . Уровень быстродействия современной элементной базы, для выполнения свертки в обозримое время- 20

минут на Земле и доли секунд на борту, требует высокой степени распараллеливания даже поточно выполняемых операций. Элементная база соответствующего аппаратного средства, построенного на принципе подключения необходимых модулей к конвейерно-параллельному тактируемому коммутатору – регистры с мультиплексными схемами, запоминающие устройства (ПЗУ и ОЗУ), программируемые логические матрицы, т.к. все алгоритмы (включая БПФ) просчитываются с требованием выдачи байтных кодов, т.е. всего 256 различных результатов (независимо от длины алгоритма), которые запоминаются как таблица специальной (однотактной) операции [1,5]. Предлагаемая архитектура обладает высокой степенью живучести за счет коммутируемой взаимозамены модулей, а набор табличных операций позволяет реализовать и «стандартную» арифметическую систему (представлением свертки или умножения табличными Фурье образами или на основе теоремы Рисса-Фреше об операторах и функционалах и рекомендуется в основном для применения в беспилотных авиасредствах.

Заключение

В результате доработки космических изображений с применением обобщенных операций и их эмуляции на ПК повышена их резкость (и, соответственно, реализуемое изображениями пространственное разрешение на местности) строго за счет подавления остаточной ФРТ до 1,2 – 1,4 раз.

Подавлена остаточная ФРТ на изображениях спутников ObrView-3, БКА-1-3, Канопус, «Ресурс-ДК», Ikonos, QuickBird (входящих в ряд разработок мирового уровня: ObrView-3, Spot-5, Pleiades-1A, Pleiades-1B - спутники с технологией сверхразрешения; БКА-1-3, Канопус, «Аркон», «Ресурс-ДК», Ikonos, QuickBird спутники с высоким разрешением).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-07-00171 "Разработка теоретических основ методов моделирования и алгоритмов представления в обобщенных операциях трактов преобразования дистанционных данных с максимизацией эффективности обработки информации (цифровых космических изображений)".

Список литературы

1. Алиева М.А., Винтаев В.Н., Исмаилов К.Х. Моделирование архитектуры бортового процессора с проблемной ориентацией // Исследование Земли из космоса, №2, Москва: Изд. АН СССР, 1987. – С.112-117.
2. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Преобразования и медианные фильтры / Под ред. Хуанга / М.: Радио и связь, 1984. 220 с.
3. Винтаев В.Н. Коррекция резкости космического изображения в проблемно-ориентированной компьютерной арифметике с функционализацией сингулярными на мере нуль функциями // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции 20-21 ноября 2015 года «Инновации в формировании стратегического вектора развития фундаментальных и прикладных научных исследований». Санкт-Петербург. Издательство «КультИнформПресс». – 2015. С. 91-102.
4. Винтаев В.Н., Жиленев М.Ю., Ушакова Н.Н. Обобщенные операции для специальной коррекции космических изображений высокого разрешения и поддержка функциональной полноты специальной коррекции// Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции 2-3 октября 2015 года «Новейшие концепции фундаментальных и прикладных научных исследований: опыт, традиции, инновации, эффективная стратегия развития». Санкт-Петербург. Издательство «КультИнформПресс». – 2015. С. 72-80.
5. Винтаев В.Н., Константинов И.С., Ушакова Н.Н. Процессор целеуказания с матричным сенсорным полем. // Сб. докладов технологического конгресса «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения». Омск, 2001. – С.330-333.

References

1. Alieva M.A., Vintaev V.N., Ismailov K.H. Modeling the Architecture of the Onboard Processor with Problem Orientation // Earth Research from Space, № 2, Moscow: Izd. AN SSSR, 1987. Pp. 112-117.
2. Fast Algorithms in Digital Image Processing. Transform and Median filters/ Edited by Huang. M.: Radio and communication, 1984. 220 p.
3. Vintaev V.N. Correction of Field Space Image in Problem-oriented Computer Arithmetic Functionalization Singular at Zero as the Function// Collection of Scientific Articles on the Results of the International Scientific-practical Conference, November 20-21, 2015 "Innovation in Forming Strategic Direction of Development of Fundamental and Applied Scientific Researches". Saint-Petersburg. Publishing House "KultInformPress". 2015. Pp. 91-102.
4. Vintaev V.N., Gilani M.Yu., Ushakova N.N. Generic Operations for Special Correction of Space Images of High Resolution and Support for Special Functional Completeness Correction// Collection of Scientific Articles on the Results of International Scientific-practical Conference on October 2-3, 2015 "Latest Concepts of Fundamental and Applied Research: Experience, Tradition, Innovation, Effective Strategy Development". Saint-Petersburg. Publishing House "Kultinformpress". 2015. Pp. 72-80.
5. Vintaev V.N., Konstantinov I.S., Ushakova N.N. The Processor Targeting a Sensory Matrix Field. // Reports Technology Congress "Modern Technologies in Creating Products for Military and Civil Purposes". Omsk, 2001. Pp. 330-333.

UDC 621.397

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-64-70

Zhilyakov E.G.
Likholob P.G.
Lichogodina E.S.

STEGANOGRAPHIC METHOD ENCODING OF GEODATA IN THE IMAGES OF THE EARTH'S SURFACE

- 1) Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru
- 2) Senior Lecturer. Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia. *e-mail: likholob@bsu.edu.ru*
- 3) Student. Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia. *e-mail: elza9313@gmail.ru*

Abstract

This article presents the possibility of implementing geodata in images of the earth surface using the methods of steganography. The authors considered the steganographic modified method of Koch-Zhao and proposed a subband method that allows to put geodata in the image, introducing fewer distortions.

Keywords: geodata; steganography; Koch–Zhao method; subband method.

УДК 621.397

Жиляков Е.Г.
Лихолоб П.Г.
Лихогодина Е.С.

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ГЕОДАНЫХ В СНИМКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

- 1) заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, доктор технических наук, профессор. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: Zhilyakov@bsu.edu.ru*
- 2) старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: likholob@bsu.edu.ru*
- 3) студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: elza9313@gmail.ru*

Аннотация

В данной статье рассматривается возможность внедрения геоданных в снимки земной поверхности при помощи методов стеганографии. Рассмотрен стеганографический модифицированный метод Коха-Жао, а также предложен субполосный метод кодирования информации, позволяющий помещать геоданные в изображение с внесением меньшего числа искажений.

Ключевые слова: геоданные; стеганография; метод Коха-Жао; субполосный метод.

Images, obtained with the help of aerial photographs and artificial satellites, play a significant role in modern cartography. Increasingly, they are used to find the optimal route, analyzing the state of the objects and their identification. Currently, the use of imagery of the earth surface is typical for different spheres of human activities: nature management, agriculture, environmental safety, the land registry, navigation, modeling, cartography, monitoring, energy, etc. Images, obtained with the help of aerial

photographs and artificial satellites for analysis added to the database, comparing them with geo-information. Geo-information is the information about geographic location and condition of features, as well as about changes in their condition.

Existing technologies of storage geo-information using database and the corresponding image noticeably increase the traffic to mobile devices when using geo-information. Thus, it seems reasonable to store the image information (geodata) in the image,

using secretive coding, without introducing any user-visible distortion and without affecting the system of

automatic identification. Methods to carry out covert encoding are called steganography [1, 2].

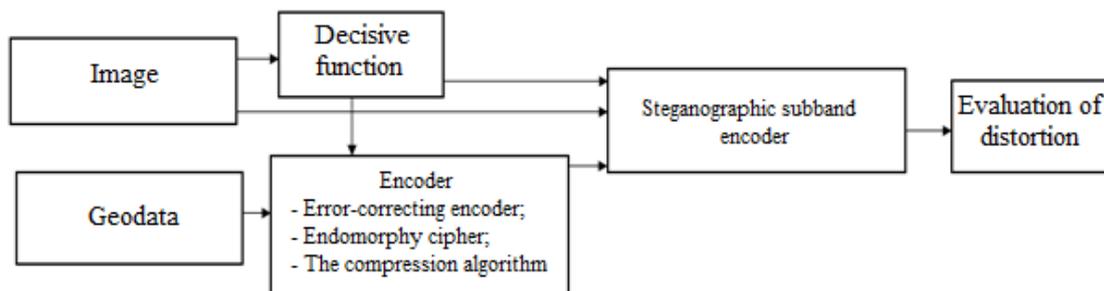


Fig. 1. The scheme of encoding information

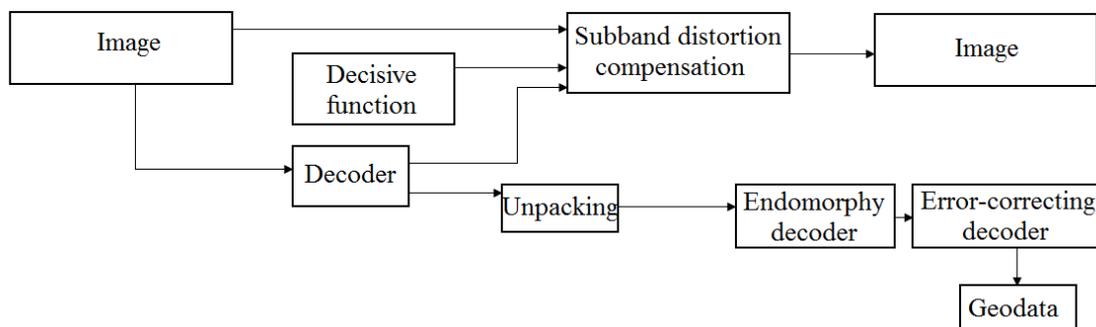


Fig. 2. The scheme of decoding information

Figures 1 and 2 represent a scheme of encoding and decoding geodata in the image.

For concealing information for coding in the image will be used matrix notation, the model is presented below.

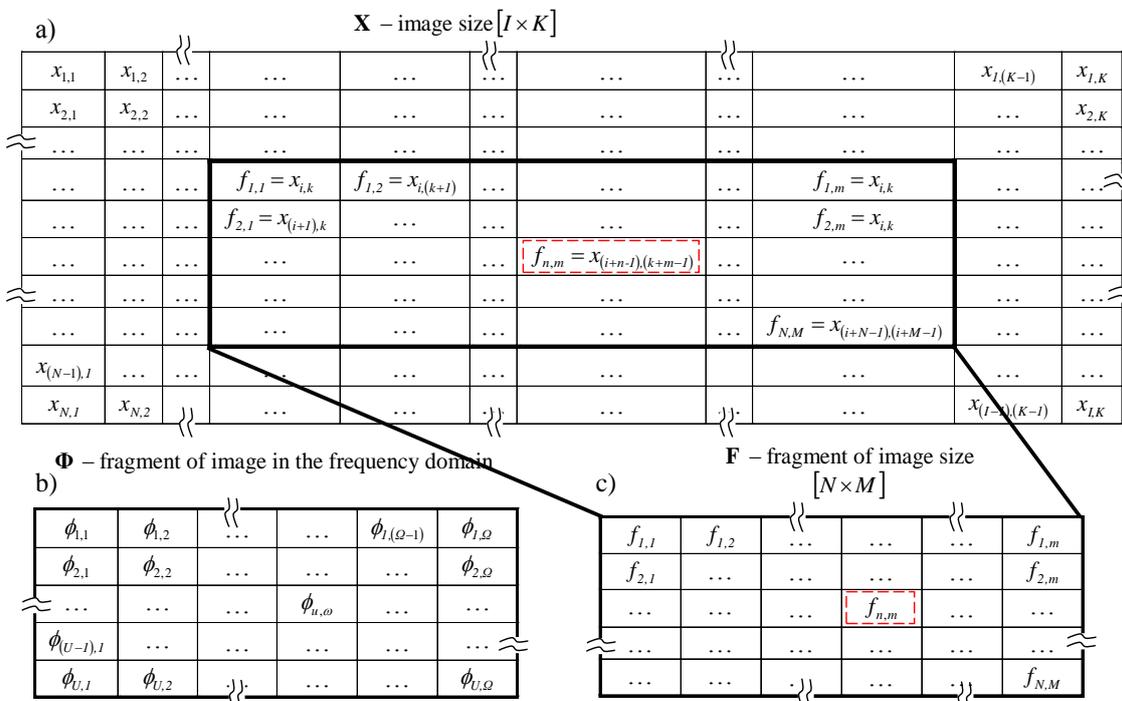


Fig. 3. Matrix representation of image: a) image; b) the fragment of image in frequency representation; c) fragment of image size

Figure 3a presents in numerical form, the result of the registration of energy [3] from the visual image of an object or phenomenon, stored, transmitted or used for further reproduction in the form of pixels. The pixel means the smallest indivisible element of the registered image in the spatial domain, which is a quantitative estimate of the energy in the recorded frequency band.

In practice of digital image processing [4-7] there are methods based not on the image itself, but on its discrete cosine transform (DCT). There is a direct discrete cosine transform and an inverse discrete cosine transform [8-11].

Direct DCT:

$$\Phi = \mathbf{D} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{D}^T \quad (1)$$

$$d(u, \omega) = \frac{1}{\sqrt{N \times M}} C(u) C(\omega) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \cos \left[\frac{\pi(2n+1)u}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi(2m+1)\omega}{2M} \right], \quad (3)$$

where u, ω – step selectable frequencies $u=1,2,\dots,U, \omega=1,2,\dots,\Omega$; $C(l)$ – coefficients:

$$C(l) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, l=1 \\ 1, l>1 \end{cases}, \text{ where } l \text{ corresponds } u \text{ or } \omega. \quad (4)$$

The method of steganography of Koch-Zhao is based on this mathematical technique. The method consists in encoding bits of information by replacing a valid value of the DCT coefficients selected after preliminary analysis of the frequency domain of the image. The preliminary analysis allowing selecting frequency coordinates is known before a decisive rule. Encoding and decoding are performed in the DCT coefficients.

where F – a block image size $[N \times M]$, with pixel values $f_{n,m}$;

Φ – a block of DCT coefficients size $[U \times \Omega]$, with values $\phi_{u,\omega}$;

D – a DCT matrix, $\mathbf{D} = \{d_{u,\omega}\}$, $u=1,2,\dots,U, \omega=1,2,\dots,\Omega$.

Inverse DCT:

$$\hat{\mathbf{F}} = \mathbf{D}^T \cdot \Phi \cdot \mathbf{D}, \quad (2)$$

where F – a block of image retrieved from the frequency coefficients of DCT.

The matrix D stores a set of cosine functions in the discrete form, which are necessary to carry out an orthogonal transformation image F (1) and (2) to DCT.

Figure 4 represents a known frequency image model, which carried out the separation of the matrix of coefficients of DCT on the frequency domain. Thus, the lowest frequency is located in the upper left corner of the image, and the highest – in the lower right. It is known that the most effective is the encoding of information in the field of mid frequencies, because low frequencies contain the most part of the energy of the image, and high frequencies – are most susceptible to the distortion of a communications channel and more easily influenced during processing.

Evaluation of the distortions introduced in the image after secretive encoding are determined by the correlation equation (5) that evaluates the similarity measure between the initial image fragment and the fragment with the covertly encoded information.

$$\rho = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(F_{n,m} - \frac{1}{N \cdot M} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F_{n,m} \right) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(\hat{F}_{n,m} - \frac{1}{N \cdot M} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \hat{F}_{n,m} \right)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(F_{n,m} - \frac{1}{N \cdot M} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F_{n,m} \right)^2 \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(\hat{F}_{n,m} - \frac{1}{N \cdot M} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \hat{F}_{n,m} \right)^2}} \quad (5)$$

where $F_{n,m}$ – a pixel of the original image fragment \mathbf{F} ;

$\bar{F}_{n,m}$ – a pixel with the covertly encoded information in the image fragment $\bar{\mathbf{F}}$;

ρ – the degree of correlation between the image \mathbf{F} and the image $\bar{\mathbf{F}}$.

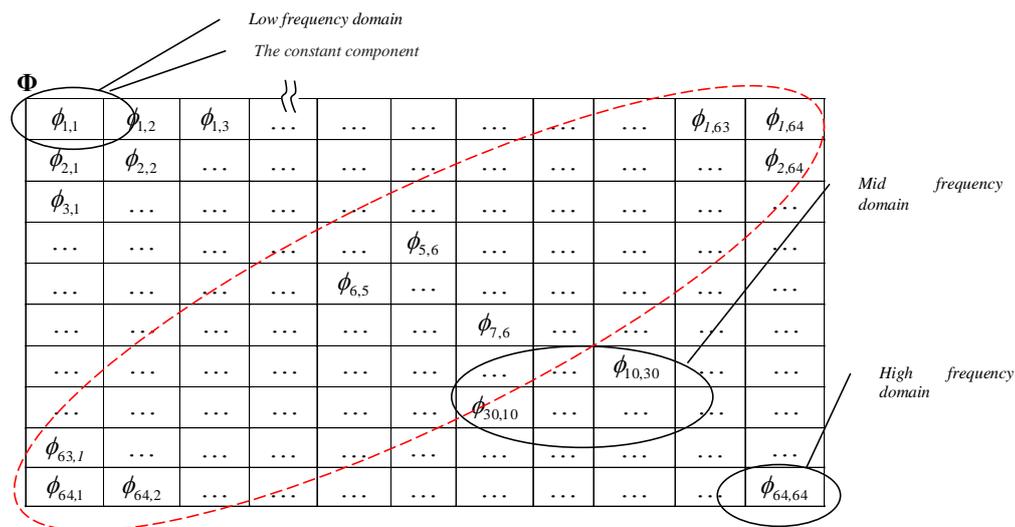


Fig. 4. Frequency model of image

The results of calculations are presented in table 1. The main drawback of the method and, in general, the methods used to encode the frequency region, is the use of DCT for all pixels of the image that does not allow spatial selectivity. As can be seen in figure 5, when changing the coefficients located in the low frequency region, and with increasing frequency

encoding (Fig. 5 b-d) in the image there appears a significant distortion, such as blemishes and ripples. Since the ratio (1; 1) contains information about the constant component of the signal, as it changes the image into a completely shaded one (Fig. 5b). This feature is connected with the energy distribution in the image.

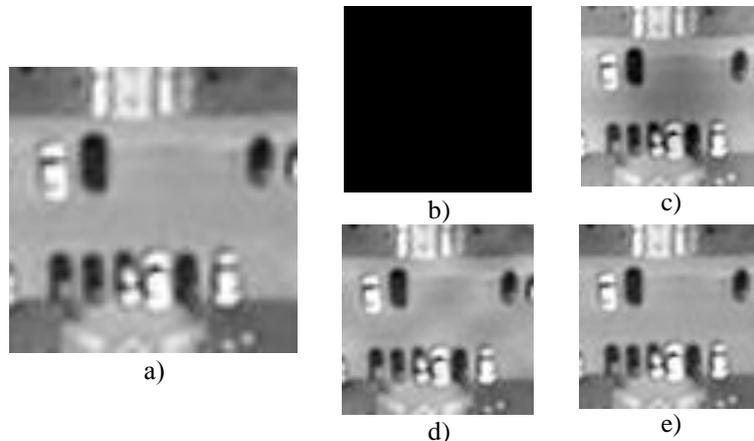


Fig. 5. The fragment of image: a) input; b) by inverting the DCT coefficients with coordinates (1,1); c) by inverting the DCT coefficients with coordinates (3,1); d) by inverting the DCT coefficients with coordinates (6,7); e) by inverting the DCT coefficients with coordinates (45,46)

In the process of the preliminary research, it was noted that the information encoded in the high frequency and mid-frequency regions is less resistant to external influences compared with information encoded in the low frequency region. However, as can be seen in table 1 and the previously shown Fig. 5 b-d, distortion in the high frequency and mid-frequency regions is significant. Therefore, it is necessary to develop a more selective method of encoding covert, in which all transformations and

analysis will occur in a spatial region with minimal losses.

The mathematical basis of the proposed method is a subband transformation [3, 4].

The direct subband transformation is performed by using a receiving subband projection (6), wherein the core of the subband matrix has a form (7). The reverse transformation takes place by a line-by-line scalar product of the transpose of the matrix of eigenvectors for the matrix of subband projection (8).

Table 1
Evaluation of the distortion caused by embedding the information using the Koch-Zhao method

Frequency domain	№ of experiment	Coefficients		Correlation, ρ
		u	ω	
1	2	3	4	5
LF	1	1	2	0.9864
		2	1	
LF	2	1	1	∞
		2	2	
LF	3	1	3	0.8072
		3	1	
LF	4	5	6	0.9699
		6	5	
LF	5	6	5	0.9865
		7	6	
LF	7	9	10	0.9978
		10	9	
MF	6	25	12	0.9981
		26	13	
MF	8	10	30	0.9998
		30	10	
MF	9	37	38	0.9999
		38	37	
HF	10	45	46	Close to 1
		46	45	
HF	11	62	63	Close to 1
		63	62	

The direct subband transformation (generate subband projection):

$$A_r = \langle Q_r, F \rangle, \quad r=1, 2, 3, \dots, R \quad (6)$$

where F – a block of image size $[N \times M]$ with the pixel values $f_{n,m}$;

A_r – a the vector-matrix containing the values of subband projections;

Q_r – the matrix, the rows of which are eigenvectors of the subband matrix [4, 5].

The core of the subband matrix has a form:

String n of image Φ can be presented by α projections

	First frequency band $r=1$	Second frequency band $r=2$	...	...	Last frequency band $r=R$	
	constant component	LF	...	MF	...	HF
$j = 1$	$\alpha_{1,1}$	$\alpha_{2,1}$	...	...	...	$\alpha_{R,1}$
$j = 2$	$\alpha_{1,2}$	$\alpha_{2,2}$	...	...	...	$\alpha_{R,2}$
...
$j = n$	...	...	...	$\alpha_{r,j}$	...	$\alpha_{R,n}$
...
$j = N$	$\alpha_{1,N}$	$\alpha_{2,N}$	...	...	...	$\alpha_{R,N}$

Fig. 6. Model of image in frequency domain

$$B_r = 2 \frac{\sin \left[\frac{v_{2,r} - v_{1,r}}{2} (u - \omega) \right]}{\pi(u - \omega)} \cos \left[\frac{v_{2,r} + v_{1,r}}{2} (u - \omega) \right]$$

(7)

where u, ω – the step of the discrete frequencies $u = 1, 2, \dots, U, \omega = 1, 2, \dots, \Omega$.

$$L_r Q_r = B_r Q_r,$$

where L_r – the matrix of eigenvalues.

Reverse subband transformation:

$$\hat{F} = \sum_{r=1}^R \langle (Q_r)^T, A_r \rangle, \quad (8)$$

where F – a block of image restored from the values of subband projections.

$()^T$ – the transpose operation;

$\langle \rangle$ – the row-wise dot product.

Figure 6 proposes a model image in subband domain, given for one line of the image. To reduce the seepage in the adjacent frequency domain eigenvalues of the subband matrix it is advisable to pick them up in such a way that they would be close to one. Therefore, for the image shown earlier, and the implementation of the encoding in a single string, the frequency band was divided into $R=12$ frequency intervals, with the first two numbers were close to one, respectively, the coding was carried out in the corresponding projections.

The subband method of secretive coding of an image is performed in the spatial domain of the image without transition frequency in (9), but the number of decision rules allows to choose the frequency band for encoding, the degree of infiltration in an adjacent lane, the amount of introduced distortion, as well as to determine the stability of geodata to distortions (e.g., noise).

Decoding is the same in the spatial domain.

It is worth noting that the proposed method of subband coding allows recovering the original pixel values, knowing only decision rules that have been coded. The difference in energy between the restored and original image, according to the experiment is 10^{-16} .

The encoding algorithm:

1. The image represented in a digital form that is split into blocks \mathbf{F} [$N \times M$] pixels.

2. To represent the geodata in the form of symbols $e_w \in \{1, -1\}$.

3. To choose the number of frequency regions R .

4. To calculate the subband matrix $L_r \mathbf{Q}_r = \mathbf{B}_r \mathbf{Q}_r$.

5. To find decomposition of the subband matrix \mathbf{B}_r on the eigenvectors $\mathbf{Q}_r = \{\vec{q}_\omega\}$ and eigenvalues L_r , $r = 2, 3, \dots, R$, $\omega = 1, 2, \dots, \Omega$.

6. To find the projection of the line: $A_r = \langle \mathbf{Q}_r, \mathbf{F} \rangle$, $A_r = \{\alpha_{r,\omega}\}$, $r = 2, 3, \dots, R$, $\omega = 1, 2, \dots, \Omega$.

7. According to several decision rules, to choose subband projection: $\alpha_{r,\omega}$.

8. According to the encoded symbol e_w to encode:

$$\hat{\mathbf{F}} = \mathbf{F} + K \cdot e_w \cdot |\alpha_{r,\omega}| \cdot \vec{q}_{r,\omega}. \quad (9)$$

The decoding algorithm:

1. The image represented in a digital form that is split into blocks \mathbf{F} [$N \times M$] pixels.

2. To represent the geodata in the form of symbols $e_w \in \{1, -1\}$.

3. To choose the number of frequency regions R (must be matched with the encoder).

4. To calculate the subband matrix $L_r \mathbf{Q}_r = \mathbf{B}_r \mathbf{Q}_r$.

5. To find decomposition of the subband matrix \mathbf{B}_r on the eigenvectors $\mathbf{Q}_r = \{\vec{q}_\omega\}$ and eigenvalues L_r , $r = 2, 3, \dots, R$, $\omega = 1, 2, \dots, \Omega$.

6. To find the projection of the line: $A_r = \langle \mathbf{Q}_r, \mathbf{F} \rangle$, $A_r = \{\alpha_{r,\omega}\}$, $r = 2, 3, \dots, R$, $\omega = 1, 2, \dots, \Omega$.

7. According to several decision rules, to choose subband projection: $\alpha_{r,\omega}$.

8. To carry out decoding, \hat{e}_w .

The proposed algorithm allows carrying out the adaptive subband encoding in the specified frequency-spatial domain. It should be noted that for coding information there must be used one-dimensional decomposition. Secretive coding was carried out for all lines, therefore, the throughput of the method above is not less than 64 times more effective in comparison with the method of Koch-Zhao.

Figure 7 and table 2 show the results of a computational experiment for steganographic encoding of information in the image using subband projections. One can see that the distortion is manifested in the form of "ripples" (spatial harmonic signal). The distortion in the form of the ripples increase (figure 7 c, d), and correlation decreases. To minimize these distortions it is necessary to develop additional decision rules, which can realize the selectivity in the spatial domain.

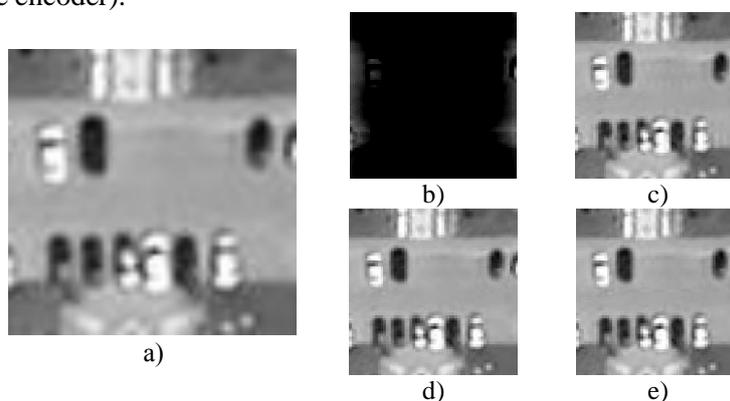


Fig. 7. The fragment of image: a) input; b) by inverting the subband coefficients with coordinates (1,1) – low frequency domain; c) by inverting the subband coefficients with coordinates (10,1) – high frequency domain; d) by inverting the subband coefficients with coordinates (2,1) – low frequency domain; e) by inverting the subband coefficients with coordinates (4,1) – mid-frequency domain

Table 2 presents the results of the experiment for the method of subband projections. By encoding the same portion of an image, distortion in all frequency regions becomes much fewer and, consequently, the correlation increases.

Table 2

Evaluation of the distortion caused by embedding the information using the method of subband projections

Frequency domain	№ of experiment	Coefficients		Correlation, ρ
		r	j	
1	2	3	4	5
LF	1	1	1	0.9164
LF	2	1	2	0.9999
MF	3	4	1	0.9989
MF	4	4	5	0.9987
MF	5	4	10	Close to 1
MF	7	4	30	0.9999
MF	6	6	15	Close to 1
MF	8	6	30	Close to 1
MF	9	6	50	0.9999
HF	10	11	50	Close to 1
HF	11	12	60	Close to 1

Thus, the proposed steganographic method in digital image processing allows for encoding geodata directly in the image without noticeable deterioration of visual quality.

The advantage of the proposed method compared to the existing method is in the increased bandwidth when using fragments greater than 64 pixels, the smaller degree of distortion, the possibility of selectivity in the spatial and frequency domain, inherent in the mathematical model. This is achieved through a mathematical apparatus and the proposed method of encoding.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-07-01570 (Субполосная скрытная интеграция/извлечение дополнительной информации в аудио или видео контенте) / The work is executed with the support of RFBR grant 15-07-01570 (Subband secretive integration/extraction of additional information in audio or video content).

References

1. Zhilyakov E.G. O About the Subband Properties of Images / E.G. Zhilyakov, S.P. Belov, A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2013. №8 (151). V.26/1. Pp. 175-182.
2. Zhilyakov E.G. The Secretive Technology of Encoding Data in Images of the Earth's Surface / E.G. Zhilyakov, T.N. Balabanova, E.S. Likhogodina, P.G. Lykholob // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2016. №2 (223). Pp. 182-190.
3. Zhilyakov, E.G. Optimal Subband Methods for Analysis and Synthesis of Finite-duration Signals // Automation and remote control. 2015. №4 (76). Pp. 589-602.
4. Zhilyakov E.G., Konstantinov I.S., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., The Image Compression Subband Method // International Journal of Soft Computing. 2015. № 10. Pp. 442-447.
5. Fridrich, J. Steganography in digital media: Principles, algorithms, and applications, Steganography in Digital Media. 2012. Pp. 1-441.
6. Kryzhevich L.S., Hahaeva E.V. A method of hiding text information in images using biorthogonal splash transformation/ Auditorium: Electronic scientific journal of the Kursk state University. 2014. № 2. URL: <http://auditorium.kursksu.ru/index.php?page=6&new=2> (дата обращения 22.04.2016).
7. Barni M. Capacity of the watermark-channel: how many bits can be hidden within a digital image? / Barni M, Bartolini F, De Rosa A, Piva A // Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose, Calif, USA, Proceedings of SPIE. January 1999. Pp. 437-448.
8. Christoph Loeffler, Adriaan Lienenberg, and George S. Moschytz. Practical fast 1-d DCT algorithms with 11 multiplications, Acoustics, Speech, and Signal Processing // ICASSP-89, International Conference on IEEE. 1989. pp. 988-991.
9. Edmund Y. Lam, Joseph W. Goodman. A Mathematical Analysis of the DCT Coefficient Distributions for Images // IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, №10 (9). OCTOBER 2000. pp. 1661-1666.
10. Mauro Barni. A DCT-domain system for robust image watermarking / Mauro Barni, Franco Bartolini, Vito Cappellini, Alessandro Piva // Signal Processing 1998, №66 (3). pp. 357-372.
11. Piva A., Barni M., Bartolini F., Cappellini V. DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image // ICIP '97 Proceedings of the 1997 International Conference on Image Processing (ICIP '97). 1997. №3. p. 520.
12. Stanković, S., Orović, I., Sejdić, E. Multimedia signals and systems // Multimedia Signals and Systems. 2012. pp. 1-349.

УДК 621.396.01

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-71-79

Черноморец А.А.
Болгова Е.В.

ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СУБПОЛОСНЫХ СВОЙСТВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1) профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru*

2) аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий. Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия. *e-mail: Bolgova_e@bsu.edu.ru*

Аннотация

В статье приведены основные вычислительные формулы для определения значений долей энергии в заданных подобластях пространственных частот и сосредоточенности долей энергии. Приведены вычислительные эксперименты по оценке субполосных свойств изображений, которые показывают, что сосредоточенность энергии различных изображений может иметь существенно различающиеся значения.

Ключевые слова: субполосная матрица; подобласть пространственных частот; изображения земной поверхности; доли энергии.

UDC 621.396.01

Chernomorets A.A.
Bolgova E.V.

ABOUT EXPERIMENTAL RESEARCH OF SUBBAND PROPERTIES OF EARTH SURFACE IMAGES

1) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru

2) Postgraduate Student. Department of Applied Informatics and Information Technologies. Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia. *e-mail: Bolgova_e@bsu.edu.ru*

Abstract

The authors present the main formulas for calculating the parts of image energy in given subdomains of spatial frequencies. The authors also present the results of computational experiments in evaluation of subband properties of images, which show that the energy concentration of different images can have significantly different values.

Keywords: subband matrix; subdomain spatial frequencies; earth's surface image; shares of energy

Под субполосными свойствами изображений будем понимать характерные особенности в распределении долей энергий изображений в подобластях пространственных частот [1, 2], которые можно использовать для анализа изображений при решении различных задач их обработки, например, при фильтрации, сжатии, внедрении данных и др.

Возможность проведения анализа изображений на основе частотных представлений определяется тем, что в визуальных данных, зачастую, наблюдается периодичность или квазипериодичность

отображаемых процессов. На изображении могут присутствовать повторяющиеся объекты, которые задают некоторую периодичность изменения яркости изображения.

В частотной области традиционно обработка изображений предполагает применение преобразования Фурье,

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{jux} e^{jvy} dx dy. \quad (1)$$

где $f(x, y)$ – некоторая анализируемая функция. $F(u, v)$ – ее трансформанта Фурье.

Одной из наиболее важных и часто определяемых характеристик на основе преобразования Фурье является часть энергии изображения, попадающей в заданную подобласть пространственных частот (ППЧ),

$$E_{sr} = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{(u,v) \in V_{sr}} |F(u,v)|^2 dudv. \quad (2)$$

$$V_{sr} = \{ (u \in [-u_{s,2}, -u_{s,1}] \cup [u_{s,1}, u_{s,2}]) \cap (v \in [-v_{r,2}, -v_{r,1}] \cup [v_{r,1}, v_{r,2}]) \}, \quad (3)$$

$$s = 1, 2, \dots, S, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

$$u_{s,1} = 0, \quad u_{s,2} = \pi, \quad u_{s+1,1} = u_{s,2},$$

$$v_{r,1} = 0, \quad v_{r,2} = \pi, \quad v_{r+1,1} = v_{r,2},$$

выражение (2) может быть преобразовано к виду

$$E_{sr} = \text{tr}(A_s \Phi B_r \Phi^T), \quad (4)$$

где Φ – матрица исходного изображения, функция «tr» – след матрицы, A_s и B_r – соответствующие подобласти V_{sr} субполосные матрицы, размерности $N \times N$ и $M \times M$ соответственно, элементы которых вычисляются на основании соотношений, приведенных в [4].

В процессе анализа изображений целесообразно использовать значения долей P_{sr} энергии изображения [5], соответствующих заданной подобласти ПЧ V_{sr} ,

$$P_{sr} = \frac{\text{tr}(A_s \Phi B_r \Phi^T)}{\text{tr}(\Phi \Phi^T)}.$$

В работе [6] для случая разбиения области ПЧ (2) на равновеликие подобласти вида (3) введено понятие частотной сосредоточенности C_m для доли m энергии изображения как отношение минимального количества l_m подобластей ПЧ, в которых сосредоточено $m \cdot 100$ процентов энергии изображения, к общему числу подобластей ПЧ,

$$0 < m \leq 1, \quad (5)$$

$$C_m = \frac{l_m}{SR}. \quad (6)$$

Алгоритм определения указанного минимального количества l_m подобластей ПЧ приведен в [6].

Обозначим, M_m – множество подобластей ПЧ, соответствующих указанному количеству l_m . Подобласти ПЧ, входящие в множество M_m , в работе [7] названы информационными подобластями пространственных частот.

При описании изображения в виде матрицы $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$, значения элементов которой определяются значениями яркости пикселей изображения и при специально заданной форме подобласти ПЧ V_{sr} [3],

Применение указанных понятий позволяет построить процедуры анализа субполосных свойств изображений земной поверхности, под которыми будем понимать характерные особенности в распределении долей энергий изображений в подобластях ПЧ, которые можно использовать при решении различных задач обработки изображений, например, при внедрении данных.

Размерность анализируемых изображений выбрана равной 256×256 пикселей, разбиение области ПЧ было осуществлено на 64×64 подобластей ПЧ. Выбор указанных параметров не снижает общности полученных результатов.

Анализ разбиения осуществлен на основании значений элементов матрицы долей энергий изображений в соответствующих подобластях ПЧ, а также на основании графиков, отображающих значения элементов матрицы долей энергий, которые расположены на различных строках, столбцах и диагоналях данной матрицы.



Рис. 1. Исходное изображение (И1)
Fig. 1. The original image (I1)

Экспериментальные исследования распределения значений долей энергии изображения, приведенного на рисунке 1, выполнены с целью демонстрации наличия подобластей ПЧ, соответствующих относительно большим значениям долей энергии изображений, и подобластей ПЧ, которым соответствуют доли энергии значительно меньшие по значению, и которыми при решении различных задач обработки изображений можно пренебречь. Анализируемые изображения были выбраны

так, чтобы соответствующие частотные сосредоточенности (6) энергии имели существенно различные значения.

Для изображения И1 (рисунок 1) отдельные фрагменты матрицы $P = (P_{sr})$, $s = 1, 2, \dots, 64$, $r = 1, 2, \dots, 64$, содержащей значения долей энергии, вычисленные при разбиении области ПЧ на 64×64 равновеликих подобласти, приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Доли P_{sr} энергии изображения И1 в ППЧ V_{sr} ($S = R = 64$, $s = 1, 2, \dots, 12$, $r = 1, 2, \dots, 8$)

Table 1

The shares P_{sr} of image energy И1 in SSF V_{sr} ($S = R = 64$, $s = 1, 2, \dots, 12$, $r = 1, 2, \dots, 8$)

$s \backslash r$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5,84E-01	1,40E-01	2,69E-02	1,48E-02	8,60E-03	4,01E-03	2,08E-03	1,63E-03
2	4,36E-02	3,57E-02	6,23E-03	3,95E-03	2,17E-03	3,94E-04	5,09E-04	4,60E-04
3	1,29E-02	4,74E-03	1,94E-03	2,67E-03	1,26E-03	6,40E-04	5,53E-04	4,81E-04
4	5,00E-03	2,61E-03	2,61E-03	3,04E-03	1,14E-03	4,66E-04	7,64E-04	6,05E-04
5	3,51E-03	1,51E-03	2,13E-03	5,30E-04	3,96E-04	2,48E-04	4,78E-04	3,59E-04
6	2,88E-03	1,48E-03	1,13E-03	8,75E-04	1,73E-04	1,35E-04	6,13E-04	2,82E-04
7	1,53E-03	3,41E-04	2,98E-04	6,46E-04	5,43E-04	3,43E-04	4,69E-04	3,34E-04
8	9,73E-04	4,39E-04	2,87E-04	2,75E-04	2,66E-04	3,23E-04	2,60E-04	4,63E-04
9	6,75E-04	2,47E-04	1,60E-04	3,69E-04	1,46E-04	1,98E-04	1,37E-04	2,09E-04
10	7,63E-04	3,46E-04	3,39E-04	2,05E-04	2,07E-04	2,00E-04	1,73E-04	1,40E-04
11	5,88E-04	2,17E-04	1,92E-04	8,07E-05	1,82E-04	9,04E-05	8,05E-05	1,35E-04
12	3,91E-04	1,09E-04	9,53E-05	1,33E-04	8,20E-05	1,01E-04	1,36E-04	1,33E-04

Таблица 2

Доли P_{sr} энергии изображения И1 в ППЧ V_{sr} ($S = R = 64$, $s = 26, 27, \dots, 37$, $r = 26, 27, \dots, 33$)

Table 2

The shares P_{sr} of image energy И1 in SSF V_{sr} ($S = R = 64$, $s = 26, 27, \dots, 37$, $r = 26, 27, \dots, 33$)

$s \backslash r$	26	27	28	29	30	31	32	33
26	4,44E-06	5,35E-06	5,06E-06	9,61E-06	6,64E-06	1,89E-06	2,36E-06	2,32E-06
27	5,93E-06	4,87E-06	1,20E-05	4,27E-06	3,73E-06	7,03E-06	1,69E-06	1,69E-06
28	6,15E-06	4,59E-06	5,64E-06	3,14E-06	5,61E-06	3,67E-06	1,84E-06	2,92E-06
29	6,03E-06	3,04E-06	4,97E-06	1,04E-05	5,34E-06	4,49E-06	1,49E-06	2,24E-06
30	4,53E-06	6,78E-06	1,13E-06	4,64E-06	5,51E-06	2,62E-06	1,46E-06	1,84E-06
31	5,85E-06	2,78E-06	4,24E-06	3,07E-06	2,06E-06	3,28E-06	4,17E-06	1,27E-06

32	8,18E-06	3,72E-06	4,11E-06	2,78E-06	2,10E-06	2,23E-06	1,30E-06	1,30E-06
33	4,36E-06	5,28E-06	2,36E-06	1,87E-06	1,92E-06	2,70E-06	2,51E-06	3,22E-06
34	3,12E-06	5,77E-06	2,79E-06	3,22E-06	2,40E-06	4,32E-06	3,91E-06	2,11E-06
35	3,91E-06	6,20E-06	6,85E-06	3,95E-06	4,23E-06	3,06E-06	3,80E-06	2,86E-06
36	6,16E-06	4,19E-06	2,90E-06	3,44E-06	1,99E-06	1,60E-06	2,93E-06	2,35E-06
37	3,07E-06	2,36E-06	3,93E-06	4,58E-06	3,19E-06	2,89E-06	1,85E-06	1,65E-06

Таблица 3

Доли P_{sr} энергии изображения И1 в ППЧ V_{sr} ($S = R = 64, s = 53,54, \dots, 64, r = 57,58, \dots, 64$)

Table 3

The shares P_{sr} of image energy И1 in SSF V_{sr} ($S = R = 64, s = 53,54, \dots, 64, r = 57,58, \dots, 64$)

$s \backslash r$	57	58	59	60	61	62	63	64
53	1,28E-07	1,91E-07	1,96E-07	1,50E-07	1,13E-07	1,62E-07	1,28E-07	1,41E-07
54	2,67E-07	1,73E-07	1,66E-07	1,80E-07	1,65E-07	1,19E-07	7,73E-08	1,22E-07
55	1,22E-07	1,06E-07	2,48E-07	2,04E-07	2,20E-07	1,17E-07	1,58E-07	2,37E-07
56	1,92E-07	1,62E-07	1,62E-07	1,34E-07	1,48E-07	1,19E-07	1,57E-07	1,65E-07
57	2,03E-07	1,40E-07	8,89E-08	1,52E-07	8,63E-08	1,11E-07	1,26E-07	1,18E-07
58	1,35E-07	9,95E-08	9,93E-08	1,01E-07	1,05E-07	1,16E-07	1,00E-07	1,54E-07
59	1,19E-07	1,20E-07	8,09E-08	1,08E-07	1,38E-07	1,35E-07	1,27E-07	1,40E-07
60	1,95E-07	1,32E-07	1,21E-07	1,09E-07	1,24E-07	6,86E-08	1,22E-07	9,38E-08
61	1,31E-07	1,37E-07	1,29E-07	1,04E-07	5,42E-08	2,00E-07	2,06E-07	1,96E-07
62	1,18E-07	1,28E-07	8,91E-08	1,14E-07	1,26E-07	1,13E-07	8,60E-08	1,43E-07
63	1,63E-07	1,24E-07	8,80E-08	9,55E-08	1,21E-07	8,12E-08	1,13E-07	9,73E-08
64	2,16E-07	1,18E-07	1,10E-07	1,53E-07	1,73E-07	9,30E-08	1,24E-07	5,80E-08

Данные, приведенные в таблицах 1-3, показывают, что подобластям $V_{ik}, i = 1,2, \dots, 9, k = 1,2, \dots, 7$, (таблица 1) соответствуют значительные доли энергии изображения И1 (рисунок 1). При этом в подобластях $V_{ik}, i, k = 26,27,28,29$, (таблица 2) сохраняются относительно большие значения долей энергии, что указывает на наличие на изображении характерных периодически повторяющихся линий; подобластям $V_{ik}, i = 53,54, \dots, 64, k = 57,58, \dots, 64$, (таблица 3) соответствуют доли энергии значительно меньшие по значению, чем в подобластях, приведенных в таблице 1, что позволяет

пренебречь данными значениями при осуществлении различных операций по обработке изображений, например, фильтрации и внедрении данных.

Для более наглядного анализа распределения значений долей энергии изображения И1 (рисунок 1) можно использовать приведенные на рисунке 2 в виде диаграмм значения, соответствующие различным строкам, столбцам и диагоналям матрицы $P = (P_{sr}), s = 1,2, \dots, 64, r = 1,2, \dots, 64$, долей энергии.

На диаграммах, приведенных на рисунке 2, наглядно видно наличие подобластей ПЧ, соответствующих несущественным значениям долей энергии.

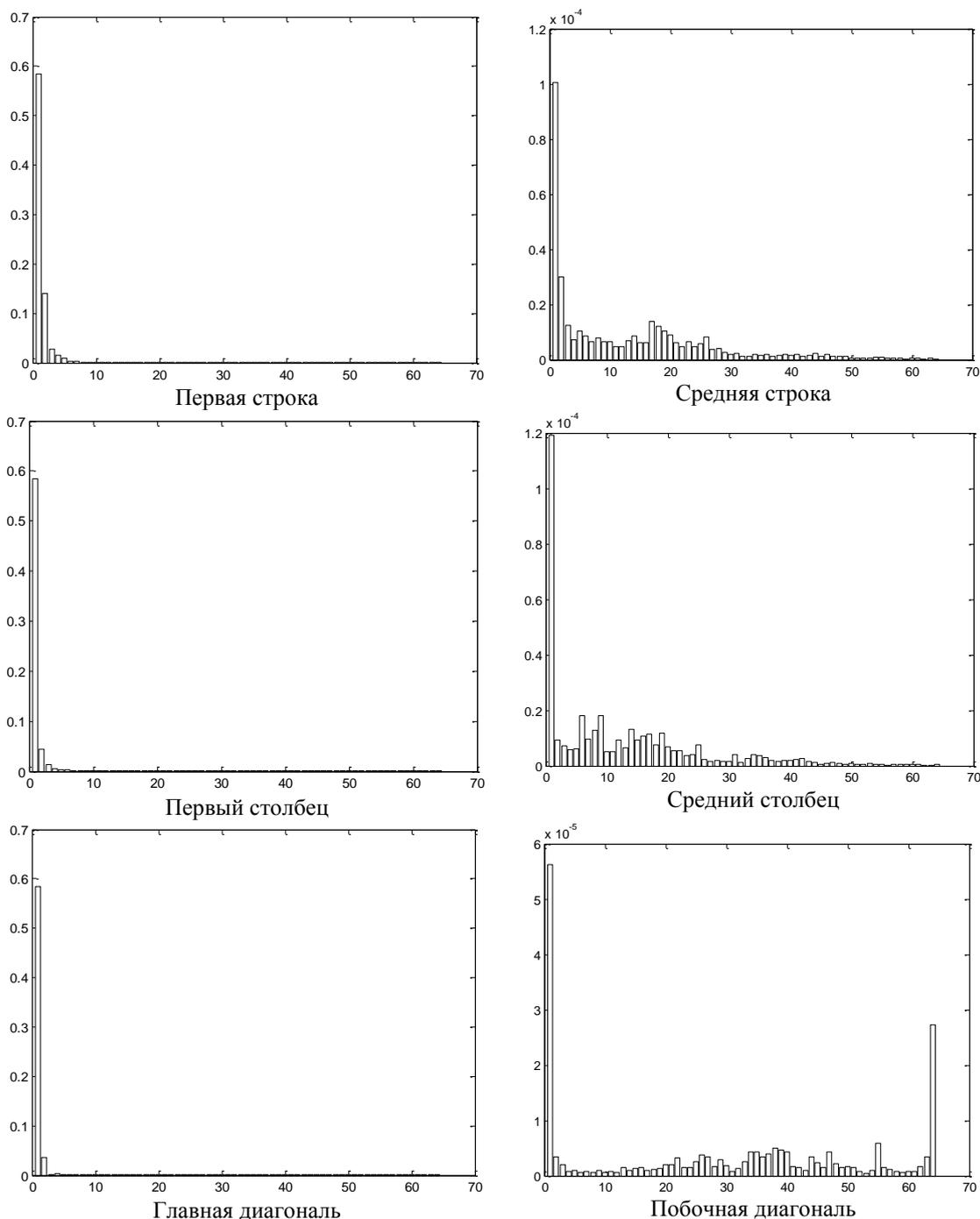


Рис. 2. Доли энергии изображения И1, соответствующие отдельным элементам матрицы долей энергии
Fig. 2. Shares of image energy И1 corresponding to the individual elements of the energy shares of matrix

Аналогичные результаты анализа распределения значений долей энергии получены и для других изображений, что указывает на возможность применения долей энергии для анализа изображений.

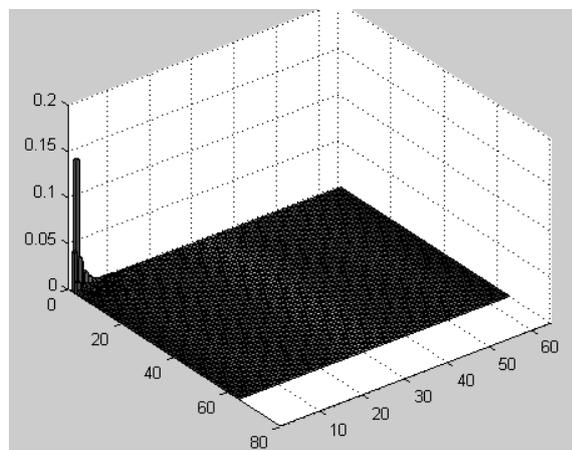
Следующие результаты вычислительных экспериментов показывают возможность применения для анализа изображений значений долей энергии, полученных при

разбиении области ПЧ на различное количество подобластей. Различные разбиения области ПЧ на подобласти позволяют выполнить анализ изображений с различной степенью детализации их частотных свойств.

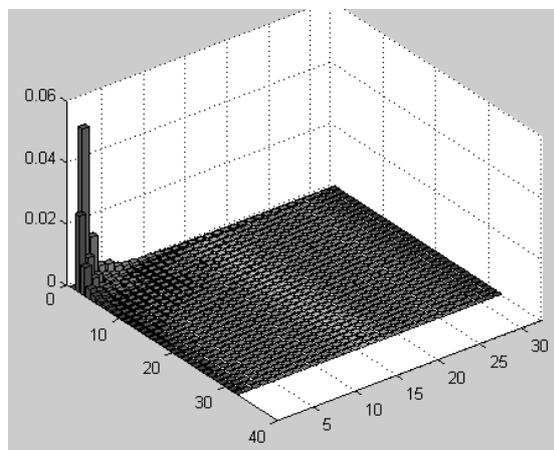
На рисунке 3 приведены диаграммы значений долей энергии изображения И1, приведенного на рисунке 1, при разбиении

области ПЧ на 64×64 , 32×32 , 16×16 и 8×8 равновеликих ППЧ. Для повышения наглядности значение доли энергии в

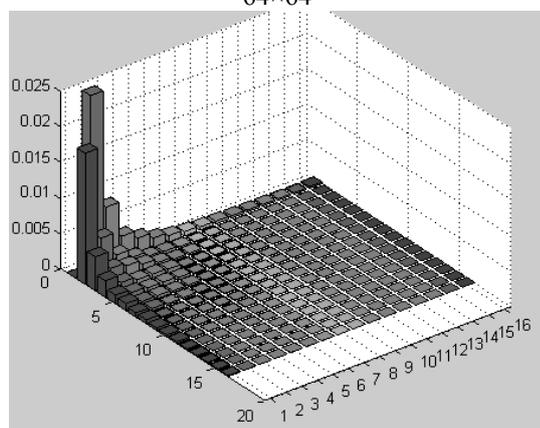
подобласти V_{11} (значительно превышающее другие значения) на диаграммах не отобразено.



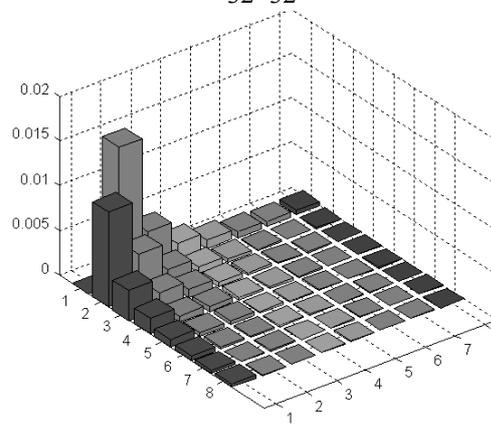
64×64



32×32



16×16



8×8

Рис. 3. Распределение долей энергии изображения И1 при различных разбиениях области ПЧ
Fig. 3. The distribution of the image I1 energy shares in different decompositions of the SF field

Данные, приведенные на рисунке 3, наглядно показывают наличие относительно больших и малых значений долей энергии в различных ППЧ и позволяют с различной степенью детализации анализировать их распределение в области ПЧ.

Аналогичные результаты были получены и для других изображений.

Следующие экспериментальные исследования проведены с целью определения значений сосредоточенности (6) энергии изображений при различных значениях доли

m энергии в зависимости от количества S подобластей ПЧ.

Для изображения И1 (рисунок 1) сосредоточенность определена при значениях доли $m=0,94 \div 0,99$ энергии изображения при разбиении области ПЧ на 64×64 равновеликих подобластей. На рисунке 4 информационные подобласть ПЧ, определяющие значение сосредоточенности и соответствующие заданным значениям доли m энергии изображения, отображены серым цветом.

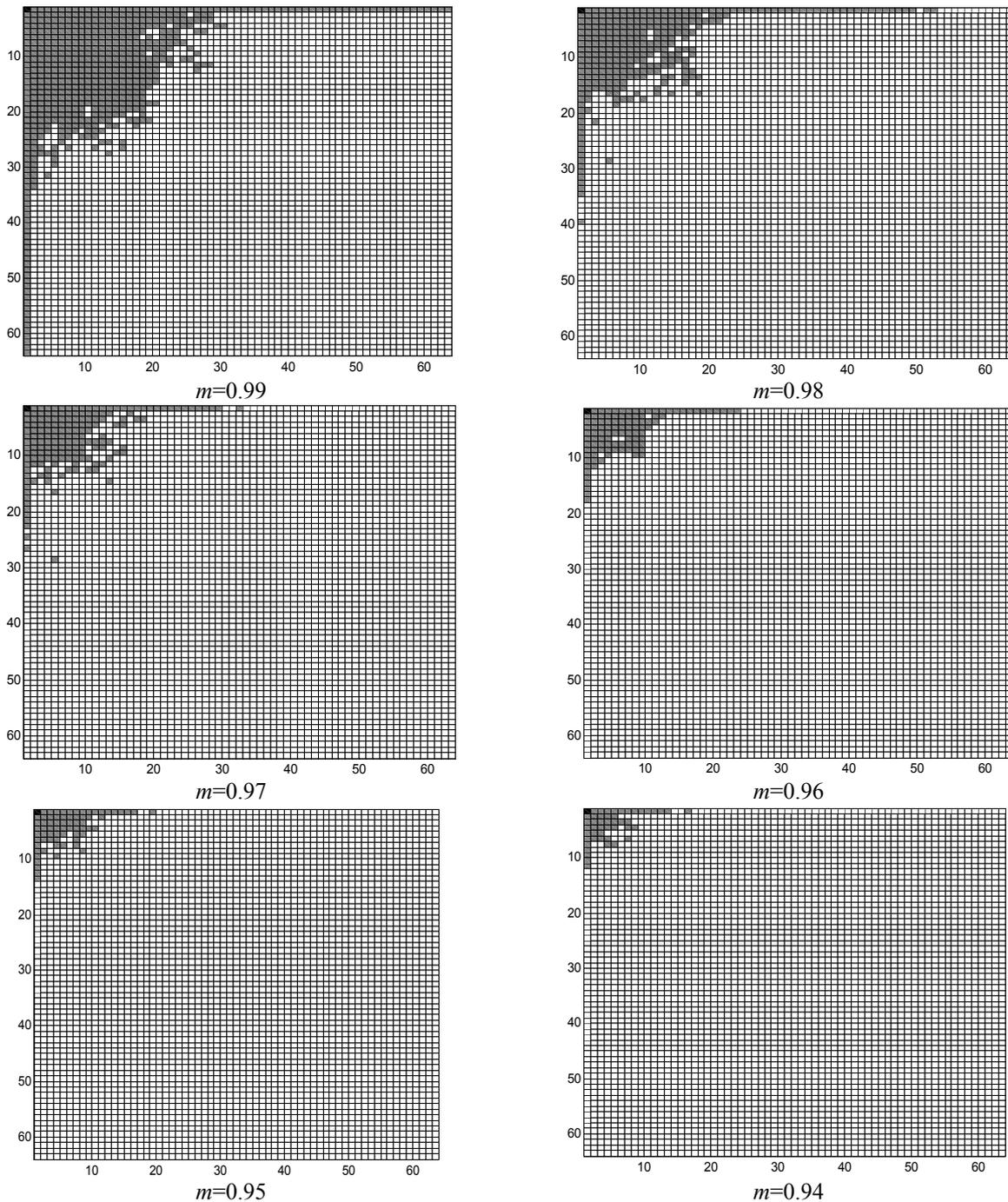


Рис. 4. Информационные подобласти ПЧ, соответствующие заданным значениям доли m энергии изображения И1

Fig. 4. Information subdomains of SF corresponding to given values of the share m of image I1 energy

Изображения подобластей, приведенные на рисунке 4, показывают, что можно указать такие изображения земной поверхности для которых информационными являются подавляющее большинство подобластей ПЧ, что необходимо учитывать, например, при решении задач фильтрации и внедрения данных.

В таблице 4 приведены соответствующие рисунку 4 значения сосредоточенности S энергии изображения И1 и соответствующее количество N_i информационных подобластей ПЧ для различных значений m и при различном разбиении области ПЧ на $S \times R$ подобластей.

Таблица 4
Сосредоточенность энергии изображения И1 и количество информационных под областей ПЧ
Table 4

$S=R$ m		8		16		32		64	
		C	N_i	C	N_i	C	N_i	C	N_i
0,99	0,188	12	0,172	44	0,156	160	0,143	586	
0,98	0,094	6	0,086	22	0,079	81	0,072	296	
0,97	0,063	4	0,047	12	0,045	46	0,042	172	
0,96	0,047	3	0,031	8	0,028	29	0,026	105	
0,95	0,031	2	0,020	5	0,019	19	0,017	70	
0,94	0,016	1	0,016	4	0,013	13	0,012	48	

Из таблицы 4 видно, что на значение сосредоточенности энергии изображения практически не оказывает влияние увеличение числа S под областей ПЧ, на которые разбивается область ПЧ. Эксперименты также показали, что для изображения И1 при уменьшении величины доли m энергии изображения соответствующие значения сосредоточенности и количество информационных

под областей уменьшаются незначительно, что не позволяет иметь широкий выбор ППЧ, например, для внедрения данных.

На основании данных, приведенных в таблице 4, построены отображенные на рисунке 5 графики значений сосредоточенности энергии изображения в зависимости от доли m энергии указанных изображений при различных значениях количества S под областей ПЧ.

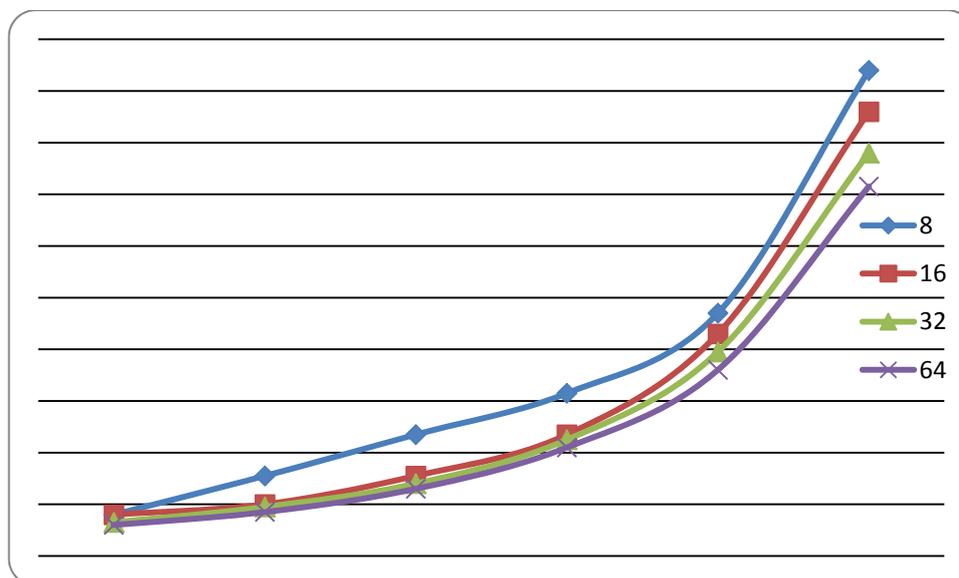


Рис. 5. Сосредоточенность энергии изображения И1
Fig. 5. Energy concentration of image I1

Данные, приведенные в таблице 4, а также на рисунке 5, показывают, что сосредоточенность энергии не превышает 0,19 для изображения И1 при значении доли энергии $m=0.99$.

В ходе проведения вычислительных экспериментов были выполнены аналогичные эксперименты с различными изображениями

земной поверхности. Следует отметить, что подобные распределения значений сосредоточенности энергии характерны для большинства исследованных изображений.

Результаты экспериментов показали, что сосредоточенность энергии различных изображений может иметь существенно различающиеся значения, что, например,

может влиять на объем внедряемых в изображения данных. Полученные результаты вычислительных экспериментов могут служить основой (рекомендациями) для выделения информационных компонент изображений, например, при решении задач фильтрации и внедрения данных.

Проведенный анализ распределения долей энергий изображений в подобластях ПЧ также показал, что имеются отдельные подобласти ПЧ, в которых практически отсутствует энергия изображений, что может быть использовано в задачах обработки изображений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-01570.

Список литературы

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
2. Соيفер, В. А. Методы компьютерной обработки изображений / В. А. Соифер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Жилияков, Е.Г., Черноморец А.А. О частотном анализе изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2010. – Вып. 1. – С. 94-103.
4. Жилияков, Е.Г., Черноморец А.А., Заливин А.Н. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – № 2/52 (563) март-апрель. – 2009. – С. 12-22.
5. Черноморец А.А., Иванов О.Н. Метод анализа распределения энергий изображений по заданным частотным интервалам // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2010. Т. 19. № 16-1. С. 161-166.

6. Черноморец, А.А. Голощапова В.А., Лысенко И.В., Болгова Е.В. О частотной концентрации энергии изображений // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2011. – № 1(96). – Вып. 17/1. – С. 146-151.

7. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Голощапова В.А. Реализация алгоритма внедрения изображений на основе использования неинформационных частотных интервалов изображения-контейнера // Вопросы радиоэлектроники. 2011. Т. 4. № 1. С. 96-104.

References

1. Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing. M.: Tekhnosfera, 2006. 1072 p.
2. Soyfer, V.A. Methods of Computer Image Processing. M.: FIZMATLIT, 2003. 784 p.
3. Zhilyakov, E.G., Chernomorets, A.A. About Frequency Image Analysis. Electronic Engineering. 2010. Part 1. Pp. 94-103.
4. Zhilyakov, E.G., Chernomorets, A.A., Zalivin, A.N. On Efficiency of the Estimation Method of Image Energy Parts Values on the Basis of Frequency Representations. Izvestija Orel State Technical University. Information Systems and Technologies. 2009. No 2/52(563). Pp. 12-22.
5. Chernomorets, A.A., Ivanov, O.N. Method of Analysis of Image Energy Distribution in Specified Frequency Intervals. Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political Science Economics Information Technologies. 2010. No 19(90), Issue 16/1. Pp. 161-166.
6. Chernomorets, A.A., Goloschapova, V.A., Lysenko, I.V., Bolgova, E.V. On Frequency Concentration of Image Energy. Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies. 2011. No 1(96). Issue 17/1. Pp. 146-151.
7. Zhilyakov, E.G., Chernomorets, A.A., Goloschapova, V.A. Computer Implementation of the Image Embedding Algorithm Based on Non-Informative Frequency Intervals of Container Image. Electronic Engineering. 2011. Part 1. Volume 4. Pp. 96-104.