МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

№ 2 (19)
2016

Курск

2016. №2 (19)
Научный рецензируемый журнал

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Основан в 2011 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-44620 от 15.04.11).

Журнал «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» включен в перечень ведущих научных журналов ВАК Минобрнауки России 01.12.2015 по группам научных специальностей:
03.01.00 – физико-химическая биология,
05.11.00 – приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы,
05.12.00 – радиотехника и связь,
05.13.00 – информатика, вычислительная техника и управление,
05.14.00 – энергетика

Редакционная коллегия

С.Г. Емельянов (главный редактор), д-р техн.наук, профессор, ректор ЮЗГУ;
В.С. Титов (заместитель главного редактора), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ;
О.И. Атакищев, д-р техн.наук, профессор;
Н.М. Агарков, д-р мед. наук, профессор;
И.А. Авилова, д-р биол. наук, профессор;
М.В. Бобырь, д-р техн. наук, доцент;
А.А. Бурмака, д-р техн. наук, профессор;
В.Н. Гридин, д-р техн. наук, профессор;

СОДЕРЖАНИЕ

Уважаемые коллеги! 6

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 7

Ткачев П.Ю.
Метод ускоренного вычисления матрицы неполного параллелизма и его программное моделирование 7

Белых В.С., Ефремов М.А., Филист С.А.
Разработка и исследование метода и алгоритмов для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений 12

Бабанин И.Г., Коптев Д.С., Богомазов А.Ю.
Исследование влияния дестабилизирующих факторов в спутниковом радиоканале при приеме сигналов с ФМ-2 и ФМ-4 24

Лисицин А. Л., Зотов И. В.
Особенности автоматизации управления современными сложными системами с использованием систем логического управления 35

Гегерь Э.В., Федоренко С.И.
Информационные системы как способ повышения эффективности управления лечебными учреждениями 39

Картамышев А.В.
Поиск необходимого количества процессоров для обработки данных в мультипроцессорных системах 46

Ватутин Э.И., Титов В.С.
Особенности метаоптимизации алгоритма пчелиной колонии в задаче поиска кратчайшего пути в графе при наличии ограничений на плотность графа 52

С.В. Дегтярев, д-р техн. наук, профессор;
В.Э. Дрейзин, д-р техн. наук, профессор;
Ж.Т. Жусубалиев, д-р техн. наук, профессор;
И.В. Зотов, д-р техн. наук, профессор;
Н.А. Кореневский, д-р техн.наук, профессор;
А.П. Локтионов, д-р техн. наук, доцент;
С.П. Серегин, д-р мед. наук, профессор;
А.С. Сизов, д-р техн. наук, профессор;
А.В. Филонович, д-р техн. наук, профессор;
С.А. Филист, д-р техн. наук, профессор;
Л.В. Шульга, д-р мед. наук, профессор

Адрес редакции:
305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 22-25-26
Факс: (4712) 50-48-00.
E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен Е. В. Мельник

Подписано в печать 19.05.16. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 18,2.
Тираж 1000 экз. Заказ . Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Подписной индекс журнала «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» 44288 в объединенном каталоге «Пресса России»

Хмелевская А.В. , Коптев Д.С., Шевцов А.Н., Щитов А.Н.
Расчёт оптимального количества операторов call-центра на базе приёмной комиссии ЮЗГУ 66

Федоров С.С., Тютюнов Д.Н., Кобелев Н.С., Горностаев С.И., Бойков А.В.
Энергетический баланс системы автоматического регулирования зависимого теплоснабжения 72

Андронов В.Г., Емельянов С.Г.
Автономное определение элементов внешнего ориентирования космических снимков 77

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ 88

Агарков Н.М., Субботина Т.И., Коломиец И.В., Жидких Б.Д.
Фармакоэпидемиология и фармакотерапия гипертонической болезни с использованием математических алгоритмов и многомерного математического анализа 88

ОТОЗВАНА 28-08-2019

Дюдин М.В., Кудрявцев П.С., Подмастерьев К.В., Филист С.А., Шаталова О.В.
Математические модели для интеллектуальных систем классификации рентгенограмм грудной клетки 94

Коровин Е.Н., Новикова Е.И., Сергеева М.А.
Построение дерева решения, обеспечивающего эффективность процесса диагностики гиперпластических процессов эндометрия 108

Старцев Е. А., Кореневская С. Н., Хрипина И. И., Стародубцева Л. В.
Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний водителей, работающих в структуре МЧС 114

Позин А.О., Руденко В.В., Горбатенко С.А., Крупчатников Р.А.
Прогностические и диагностические возможности акупунктуры в агропромышленном комплексе 126

Кореневский Н.А., Шуткин А.Н., Николаев В.Н., Серебровский В.В.
Оценка уровня информативности для плохоформализуемых данных в медицине, психологии и экологии 136

Быков А.В., Кореневский Н.А., Устинов А.Г.
Нечеткий алгоритм прогноза развития ишемической болезни конечностей для различных этапов ведения пациентов 142

К сведению авторов 156

© Юго-Западный государственный университет, 2016

2016. №2(19)
Scientific reviewed journal

PROCEEDINGS

of the SOUTHWEST
STATE
UNIVERSITY
Management, computer facilities,
Computer science. Medical instrument making

Published four a year

CONTENS

Respected colleques! 6

INFORMATICS, COMPUTER SCIENCES 7

Tkachev P.Y.
Method of Accelerated Calculating the Incomplete
Parallelism Matrix and It's Simulation Software 7

Belyh V.S., Efremov M.A., Filist S.A.
Design and Analysis of Method and Algorithms for Intellectual
Classification Systems of Images with Multiply Structure 12

Babanin I.G., Koptev D.S., Bogomazov A.Y.
Study of Destabilizing Factor in the Satellite Radio Channels
When Reception of Signals from the FM-2 and FM-4 24

Lisitsin A. L., Zotov I. V.
Features Automate the Management of Modern Complex
Systems with the Use of Logic Control Systems 35

Geger E.V., Fedorenko S.I.
Information Systems as Means of Control Augmentation
of Medical Treatment Facility 39

Kartamyshev A.V.
Search the Necessary Number of Processors for Optimal
Processing of Data in Multiprocessor Systems 46

Vatutin E.I., Titov V.S.
Features of Meta-Optimization of the Bee Colony Method
in the Shortest Path Problem with Constraints
on the Graph Density 52

Chmielewska A.V., Koptev D.S., Shevtsov A.N., Schitov A.N.
Calculation jf Optimal Number of Operators Call-Centr
on the Basis of a Selection Committee SWSU 66

Fedorov S. S., Tyutyunov D. N., Kobelev N. S., Gornostayev S. I., Boykov A.V.
Energy Balance of System of Automatic Control
of Dependent Heat Supply 72

Andronov V.G., Emelyanov S.G.
Autonomous Determination of the Exterior
Orientation Parameters of Satellite Images 77

MEDICAL INSTRUMENT MAKING 88

Agarkov N. M., Subbotina T. I., Kolomiets I. V., Zhidkikh B.D.
Pharmacoepidemiology and Pharmacotherapy of Hypertension
With the Use of Mathematical Algorithms
and Multi-Dimensional Mathematical Analysis 88

RETRACTED
28-08-2019

Dyudin M.V., Kudryavtsev P.S., Podmastserev K.V., Filist S.A., Shatalova O.V.
Mathematical Model for Intellectual Systems
of the Categorizations X-ray Thorax 94

Korovin E.N., Novikova E.I., Sergeeva M.A.
The Tree Building Solutions Ensuring the Efficiency
of the Process of Diagnosis of Endometrial
Hyperplastic Processes 108

Startsev E.A., Korenevskaya S.N., Khripina I.I., Starodubseva L. V.
Forecasting and Early Diagnosis of Occupational
Diseases of Drivers Working in the Structure
of the Ministry of Emergency Situations 114

Pozin A.O., Rudenko V.V., Gorbatenko S.A., Krupchatnikov R.A.
Prognostic and Diagnostic Capabilities
Acupuncture in Agriculture 126

Korenevskiy N.A., Shutkin A.N., Nikolaev V.N., Serebrovskij V.V.
Assessment of the Level of Awareness for Bad Data
Formalized in Medicine, Psychology and Ecology 136

Bikov A.V., Korenevskiy N.A., Ustinov A.G.
Fuzzy Forecast for the Development of Coronary
Disease Course, for Different Stages of Patient Management ..142

Information for Authors 156

© Southwest State University, 2016

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

В материалах, включенных в новый выпуск научного журнала, освещены актуальные проблемы современного научного знания в области теории управления, вычислительной техники, информатики и медицинского приборостроения.

В разделе «Управление, вычислительная техника, информатика» спектр исследуемых проблем широк, тематика статей разнообразна.

Рассматривается метод вычисления матрицы неполного параллелизма и его программное моделирование, а также разработка и исследование метода и алгоритмов для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений; проведено исследование влияния дестабилизирующих факторов в спутниковом радиоканале при приёме сигналов; представлены особенности автоматизации управления современными сложными системами с использованием систем логического управления и информационных систем как способа повышения эффективности управления лечебными учреждениями; обосновывается поиск необходимого количества процессов для обработки данных в мультипроцессорных системах; рассматриваются особенности метаоптимизации алгоритма пчелиной колонии в задаче поиска кратчайшего пути в графе при наличии ограничений на плотность графа; приведен расчет оптимального количества операторов call-центра на базе приёмной комиссии вуза, а также энергетический баланс системы автоматического регулирования зависимого теплоснабжения.

В разделе «Медицинское приборостроение» в представленных статьях рассматриваются вопросы фармакоэпидемиологии и фармакотерапии гипертонической болезни с использованием математических алгоритмов и многомерного математического анализа; вопросы построения дерева решений, обеспечивающего эффективность процесса диагностики гиперпластических процессов эндометрия; представлены прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний водителей, работающих в структуре МЧС; дана оценка уровня информативности для плохоформализуемых данных в медицине, психологии и экологии; представлен нечеткий алгоритм прогноза развития ишемической болезни конечностей у пациентов.

Журнал отражает достаточно широкий спектр научных результатов. Авторы статей продолжают развивать существующие и выдвигать новые подходы к решению задач в своих предметных областях.

С.Г. Емельянов, д-р техн. наук,
профессор, ректор ЮЗГУ,
главный редактор журнала

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 681.3

П. Ю. Ткачев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)
(e-mail: amdathlon64@yandex.ru)

МЕТОД УСКОРЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ МАТРИЦЫ НЕПОЛНОГО ПАРАЛЛЕЛИЗМА И ЕГО ПРОГРАММНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В статье описывается одна из стадий процесса автоматического распараллеливания последовательных программ со связями по управлению. Использование специализированного вычислительного устройства для параллельного выполнения компиляции и других функций хост-процессора в современных мультипроцессорных системах повышает эффективность работы вычислительной системы за счет более оптимальной загрузки процессоров. Это приводит к уменьшению объема внутренней памяти за счет динамического поступления больших фрагментов программ, что положительно сказывается на выполнении других функций. Однако для повышения скоростных характеристик систем недостаточно выполнять распараллеливание только на уровне команд, необходимо выявлять параллелизм и на уровне данных.

Автоматический распараллеливатель обычно фокусируется на таких управляющих конструкциях, как циклы, поскольку в общем случае большая часть выполнения программы проходит внутри каких-либо циклов. Распараллеливающий компилятор пытается разделить цикл на части так, чтобы его отдельные итерации могли исполняться на разных процессорах одновременно.

В статье предложен метод ускоренного вычисления матрицы неполного параллелизма при распараллеливании последовательных программ со связями по управлению. Метод отличается тем, что за одно действие вычисляется целый столбец матрицы неполного параллелизма, в отличие от традиционного метода, где за одно действие вычисляется один элемент данной матрицы.

Приведенный в статье график показывает, что ускоренный метод вычисления матрицы неполного параллелизма работает в N-1 раз быстрее традиционного метода, что позволяет существенно сократить время распараллеливания исходных линейных участков.

Метод может быть взят за основу при построении специализированного вычислительного устройства распараллеливания циклических участков последовательных программ.

Ключевые слова: *метод, распараллеливание, цикл, программа, многопроцессорная система, оператор.*

***

Автоматическое распараллеливание – это процесс оптимизации программы компилятором, состоящий в автоматическом ее преобразовании в форму, работающую на параллельном компьютере. Целью автоматизации распараллеливания является освобождение программиста от трудоемкого и подверженного ошибкам процесса ручного распараллеливания. Несмотря на то, что качество автоматического распараллеливания улучшалось последние годы, полное распараллеливание последовательных программ остается достаточно сложной задачей, требующей сложных видов анализа программ [1].

Исходная программа представляется в виде последовательности операторов и матрицы следования. Основной задачей при выявлении параллелизма между операторами (могут ли два последовательно идущих оператора выполниться параллельно) является выявление информационной независимости, т.е. не должно одновременно происходить инициирование более чем одной операции записи в ячейку памяти, а также операции чтения и записи в одну и ту же ячейку [2].

Математическая модель метода выявления независимых параллельных участков последовательных программ имеет следующий вид:

$$M_D = F1\left(M_S\right); \quad (1)$$

$$MNP = F2(I, O, M_D); \quad (2)$$

$$Rp_{Yar}^{Br} = \mathrm{F3}(R,\ MNP), \quad (3)$$

где I – матрица входных переменных;

O – матрица выходных переменных;

M_D – матрица достижимости;

M_S – матрица следования;

MNP – матрица неполного параллелизма;

R – множество операторов исходной последовательной программы;

Rp – множество операторов программы, преобразованной к параллельному виду;

Br – множество ветвей параллельного вида программы;

Yar – множество ярусов параллельного вида программы;

функция $F1$ вычисляет матрицу M_D на основании матрицы M_S, функция $F2$ вычисляет матрицу неполного параллелизма MNP на основании матрицы входных переменных I, матрицы выходных переменных O, матрицы достижимости M_D, функция $F3$ преобразует множество R к множеству Rp_{Yar}^{Br} с помощью матрицы MNP.

Наиболее сложным и длительным процессом в данном алгоритме является процесс вычисления матрицы неполного параллелизма MNP.

Каждый элемент матрицы неполного параллелизма вычисляется по формуле

$$F(i,k) = (I_i \wedge O_k) \vee (I_k \wedge O_i) \vee (O_i \wedge O_k), \quad (4)$$

где I_i, O_k – строки матриц входных/выходных переменных соответственно. В ячейках этих матриц ставится 1, если переменная является входной/выходной для оператора i;

F – результат проверки на возможность распараллеливания. Если $F = 0$, то операторы могут выполняться параллельно, т.к. обрабатывают разные данные [3].

Формула (4) вычисляется для каждого единичного элемента матрицы достижимости M_D.

Данная работа является продолжением исследований, начатых в [2, 3].

Суть предлагаемого метода заключается в вычислении целого столбца матрицы неполного параллелизма, соответствующего определенному оператору, за одно действие по следующей формуле:

$$M_{NP} = M_D \wedge (M_{IO} \vee M_{OO} \vee M_{OI1} \vee M_{OI2}), \quad (5)$$

где M_{NP} – столбец матрицы неполного параллелизма;

M_D – столбец матрицы достижимости;

M_{IO} – столбец матрицы входных переменных, соответствующий операнду, который в текущем операторе является выходным;

M_{OO} – столбец матрицы выходных переменных, соответствующий операнду, который в текущем операторе является выходным;

M_{OI1} – столбец матрицы выходных переменных, соответствующий операнду, который в текущем операторе является первым входным;

M_{OI2} – столбец матрицы выходных переменных, соответствующий операнду, который в текущем операторе является вторым входным.

Рассмотрим пример вычисления матрицы неполного параллелизма для алгоритма, приведенного на рисунке 1. Матрица достижимости приведена в таблице 1, матрица входных переменных – в таблице 2, матрица выходных переменных – в таблице 3.

Вычислим первый столбец матрицы MNP, соответствующий первому оператору исходного алгоритма:

$$M_{NP} = M_D \wedge (M_{IO} \vee M_{OO} \vee M_{OI1} \vee M_{OI2}) =$$

$$= (0111111) \wedge ((0110001) \vee (1100100) \vee \quad (6)$$

$$\vee (0000000) \vee (0000000)) = (0110101).$$

Аналогично вычисляем остальные 6 столбцов матрицы MNP. Готовая матрица неполного параллелизма приведена в таблице 4.

Таблица 1

Матрица достижимости

№ оператора	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0
5	1	1	0	1	0	0	0
6	1	1	1	1	1	0	0
7	1	1	1	1	1	1	0

Таблица 2

Матрица входных переменных

Наименование переменных № оператора	a	b	c	d	e	f	g
1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	1	1	0
7	1	0	1	0	0	0	0

Таблица 3

Матрица выходных переменных

Наименование переменных № оператора	a	b	c	d	e	f	g
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	1	0
5	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	1	0	0	0

Таблица 4

Матрица неполного параллелизма

№ оператора	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	1	0	0	0
6	0	0	1	1	0	0	0
7	1	1	0	1	1	0	0

Матрица, вычисленная по предлагаемому методу, полностью совпадает с матрицей, вычисленной по традиционному методу.

Для вычисления одного элемента матрицы неполного параллелизма по формуле (4) выполняются 5 логических операций с векторами, в то время как для вычисления столбца матрицы неполного параллелизма по формуле (5) выполняются 4 логические операции с векторами. В данном примере для вычисления всей матрицы требуется 28 логических операций, что в полтора раза меньше, чем вычисление по традиционному методу (45 логических операций).

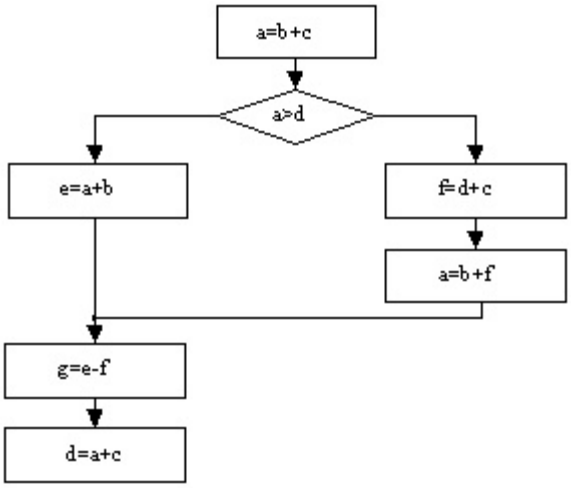


Рис. 1. Алгоритм исходной программы

Для моделирования процесса ускоренного вычисления матрицы неполного параллелизма используется программная модель (рис. 2), обладающая следующи-

ми функциональными возможностями: ввод количества операторов и операндов исходного цикла, автоматическое заполнение исходных матриц следования, достижимости, входных и выходных переменных, вычисление матрицы неполного параллелизма по традиционному способу и вычисление матрицы неполного параллелизма по предложенному ускоренному методу, вывод количества логических операций вычисления матриц неполного параллелизма по каждому из методов для сравнения и анализа результата.

Программа составляет исходные матрицы для линейных участков исходной программы, поэтому матрицы следования и достижимости формируются автоматически и заполняются по одному и тому же шаблону для каждого линейного участка.

Исходные матрицы формируются с учетом следующих правил:

– в строке матрицы I допустимое число единиц не превышает двух;

– в строке матрицы O допустимое число единиц равно 1;

– в матрице следования единицами заполнена диагональ ниже главной, все остальные элементы равны;

– в матрице достижимости единицами заполнены все элементы ниже главной диагонали, все остальные элементы равны нулю.

По исходным данным производится вычисление матриц неполного параллелизма. Результаты моделирования приведены на графике, представленном на рисунке 3 (ряд 1 – результат моделирования традиционного метода, ряд 2 – результат ускоренного метода).

Из анализа графика, представленного на рисунке 3, можно сделать вывод о том, что ускоренный метод вычисления матрицы неполного параллелизма позволяет существенно сократить время распараллеливания исходных линейных участков. Одинаковое количество логических операций, требуемых для вычисления матрицы неполного параллелизма по традиционному и предложенному методу, требуется только при количестве операторов, равном двум.

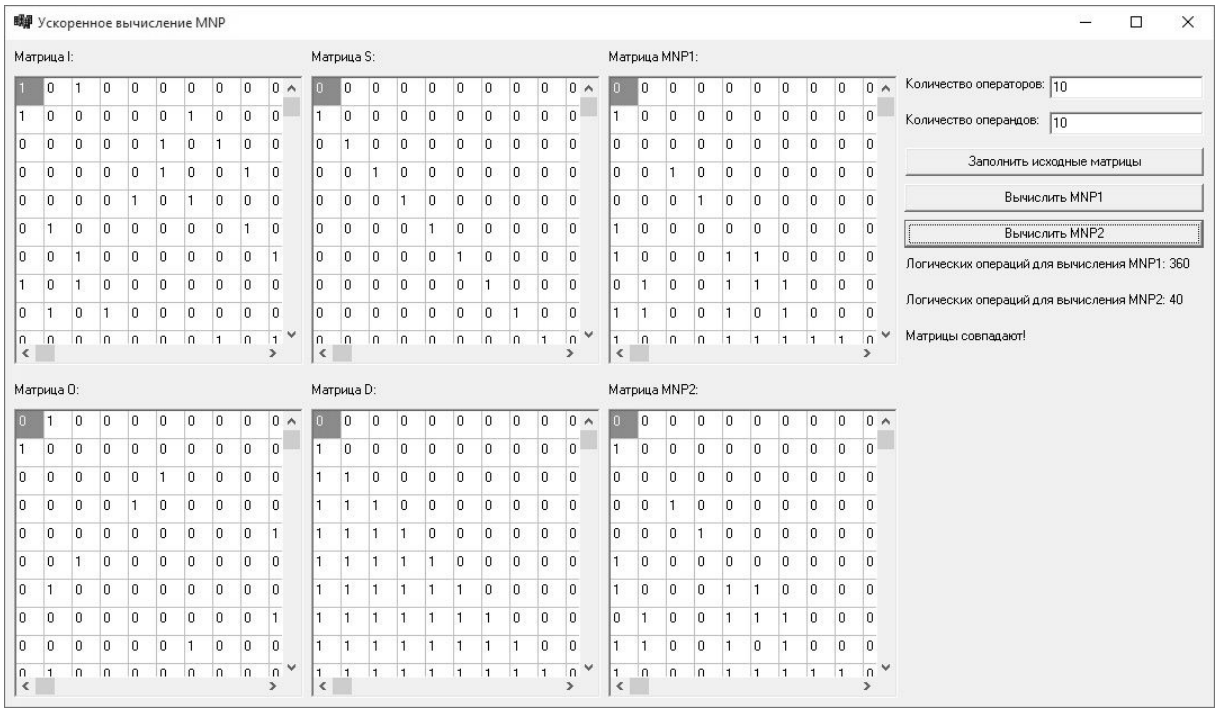


Рис. 2. Программа для ускоренного вычисления матрицы неполного параллелизма

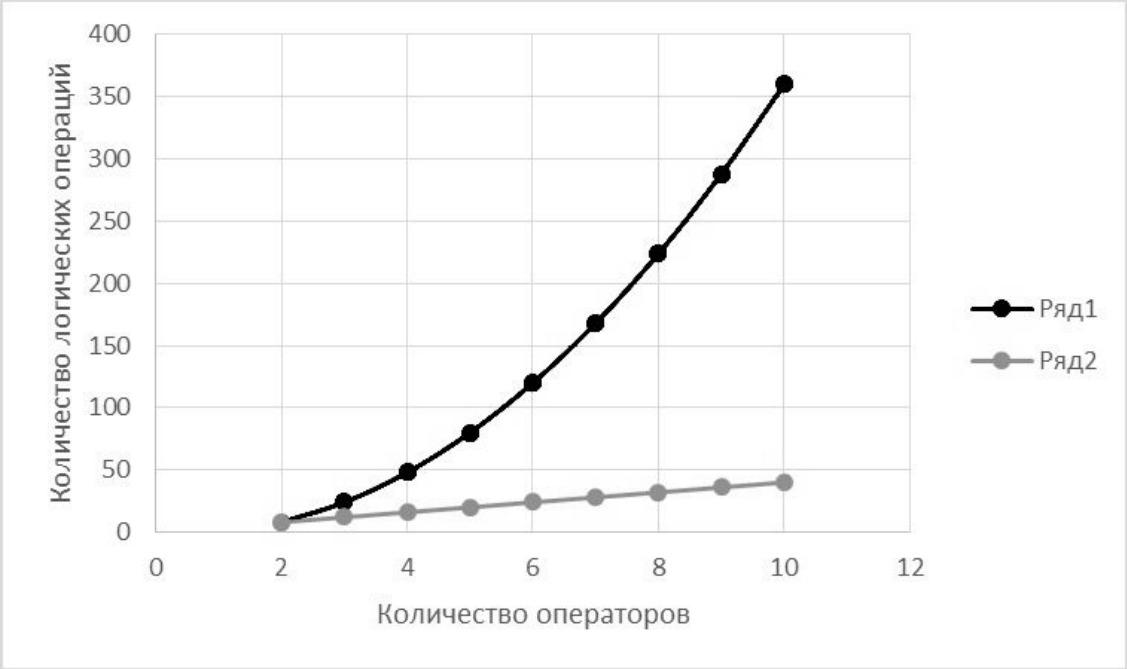


Рис. 3. График зависимости количества логических операций от количества операторов

При количестве операторов, равном 5, традиционный метод выполняет 80 логических операций с векторами, в то время как ускоренному методу требуется 20 логических операций. Таким образом, ускоренный метод сработает в 4 раза быстрее.

При количестве операторов, равном 10, традиционный метод выполняет 360 логических операций с векторами, в то время как ускоренному методу требуется 40 логических операций. Таким образом, ускоренный метод сработает в 9 раз быстрее. Это позволит существенно снизить нагрузку на специализированное устройство распараллеливания и быстрее выдавать результат распараллеливания даже при малом количестве операторов исходных линейных участков.

Список литературы

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. –СПб.: БХВ – Петербург, 2002.– 608 с.

2. Ткачев П. Ю., Борзов Д. Б. Метод и алгоритм распараллеливания циклов со счетчиком // Известия вузов. Серия: Приборостроение. – 2015. – №2. – С.104–109.

3. Ткачев П. Ю., Борзов Д. Б., Чернецкая И. Е. Метод и алгоритм поиска линейных участков внутри циклов с последующим распараллеливанием // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – №5(62). – С.16–20.

References

1. Voevodin V.V., Voevodin Vl.V. Parallel'nye vychislenija [Parallel calculating]. – Sanct-Petersburg: BHV, 2002. – 608 p.

2. Tkachev P.Y., Borzov D.B. Method and algorithm for parallelization of cycles with counter // Izvestija vuzov. Priborostroenie. – 2015. – N 2. – P.104–109.

3. Tkachev P.Y., Borzov D.B., Cherneckaja I.E. Method and algorithm of searching linear sections in the cycles with next step parallelization // Proceeding of the Southwest State University. – 2015. – №5(62). – P.16–20.

Получено 23.03.16

P.Y. Tkachev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: amdathlon64@yandex.ru)

METHOD OF ACCELERATED CALCULATING THE INCOMPLETE PARALLELISM MATRIX AND IT'S SIMULATION SOFTWARE

The article describes one of the stages of the process of automatic parallelization of sequential programs with management constraints. Using a specialized computing device for parallel execution of the compilation and other functions the host processor in modern multiprocessor systems, increases the efficiency of the computer system at the expense of optimal CPU utilization. This leads to decrease in the internal memory, due to the dynamic receipt of large fragments of programs that positively affects the performance of other functions. However, to increase the speed performance of systems is not sufficient to perform parallelization only instruction-level, it is necessary to identify parallelism and data level.

Automatic parallelizer usually focuses on control structures such as loops, since, in general, most of the program is held inside any cycles. Parallelizing compiler is trying to divide the cycle into pieces so that it can execute individual iterations on different processors simultaneously.

The article proposed a method for rapid calculation of the matrix partial overlap in parallelizing sequential programs with management constraints. The method is characterized in that in one step calculates a column of incomplete parallelism matrix, in contrast to the traditional method where a single action is evaluated one element of the matrix.

Powered by article graph shows that the accelerated method of calculating the matrix of incomplete parallelism works in N-1 times faster than the traditional method, which can significantly reduce the time paralleling the initial linear sections.

The method can be used as the basis for the construction of a specialized computing device parallelization of sequential programs cyclical areas.

Key words: *method, parallelization, cycle, program, multi-processor system, operator.*

УДК 004.032.26; 615.4

В.С. Белых, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

М.А. Ефремов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (тел.: 8(4712) 58-70-98)

С.А. Филист, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: sfilist@gmail.com)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА И АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ КЛАССИФИКАЦИИ СЛОЖНОСТРУКТУРИРУЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Интеллектуальная система классификации сложноструктурируемых изображений предназначена для выделения на изображении сегментов заданного класса. Она относится к обучаемым системам классификации. Актуальность в разработке интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений возникает при обработке снимков с видеокамер беспилотных летательных аппаратов, используемых в навигационных целях при отсутствии связи с искусственными спутниками земли или при анализе снимков оператором в режиме реального времени. В этом случае возникают высокие требования не только к качеству классификации объектов на снимках, но и к быстродействию выделения и классификации исследуемых сегментов изображения. Противоречие между эффективностью (точностью классификации) и вычислительными ресурсами предлагается решить за счет распределенной вычислительной системы (сети). Метод построен на идее гибридных подходов к обработке данных и агрегации «слабых» алгоритмов классификации в «сильные» алгоритмы.

Для автоматической классификации сложноструктурируемых изображений разработаны компьютерные технологии выделения пикселей, принадлежащих к заданному классу. Компьютерные технологии ориентированы на оперативное принятие решений, что достигается путем использования распределенной обработки данных в клеточной структуре изображения, которая модифицируется в процессе работы «слабых» и «сильных» классификаторов. В интеллектуальной системе используются два классификатора, один из которых осуществляет контурный анализ фрагмента изображения, попавшего в ячейку, а другой – текстурный анализ. Классификаторы «усиливаются» путем агрегации классификаторов, реализующих два способа классификации, а также путем итерационного процесса классификации, который осуществляется путем объединения ячеек, принадлежащих к заданному классу, на основе решений «слабых» классификаторов.

Ключевые слова: *классификация изображений, гибридные методы обработки классификации изображений, обучение классификаторов, алгоритм.*

***

Введение

Для успешной классификации изображений необходима априорная информация о структуре и свойствах мира. Однако многие факторы (деформация формы, перекрытие, переход от 3D-сцен к

2D-изображениям и т.п.) снижают ценность априорных данных и затрудняют семантическую сегментацию изображения, при которой каждый сегмент рассматривается как объект определенного класса. В итоге изображение имеет альтернативные структуры, решение по выбору одной из которых не может быть принято однозначно, основываясь на принятой картине мира. Определим этот класс изображений как сложноструктурируемые [1]. Следовательно, если изображение является сложноструктурируемым, то это ведет к значительному снижению качества его классификации или классификации его сегментов посредством обучаемых классификаторов.

Сложноструктурируемому изображению характерно искажение границ сегментов и появление ложных сегментов, а также наличие древовидных структур. Поэтому использование известных локальных градиентных операторов и морфологических операторов, предназначенных для выделения границ, не дает ожидаемого эффекта в связи с тем, что они привязываются к априорно заданной картине мира и не анализируют локальные результаты принятого решения и многоальтернативные решения.

Особая актуальность в разработке методов классификации сложноструктурируемых изображений возникает при обработке снимков с видеокамер беспилотных летательных аппаратов (БЛА), используемых в навигационных целях, при отсутствии связи с искусственными спутниками Земли (ИСЗ) или при анализе снимков оператором в режиме реального времени. В этом случае возникают высокие требования не только к качеству классификации объектов на снимках, но и к быстродействию выделения и классификации исследуемых сегментов. К сожалению, очень часто эти требования противоречат друг другу.

Интеллектуальная система для обработки сложноструктурируемых изображений должна решать следующие задачи:

1) выделение объекта на изображении;

2) отнесение выделенного объекта к определенному классу.

При этом эти задачи могут быть решены посредством одного алгоритма (одного этапа): сегментация + классификация; либо они могут решаться последовательно: сегментация → классификация (в два этапа). В настоящее время разработано достаточно много методов и алгоритмов для решения этих задач [2]. К сожалению, наиболее эффективные из них не представляется возможным реализовать на настольном ПК, так как большая часть этих методов основана на оконных преобразованиях атрибутов пикселей и предполагает масштабные преобразования исходного окна, что требует колоссальных вычислительных ресурсов.

Идея метода

Противоречие между эффективностью (точностью классификации) и вычислительными ресурсами предлагается решить за счет распределенной вычислительной системы (сети). Метод построен на идее гибридных походов к обработке данных, обоснованных в работах [3, 4, 5], и агрегации «слабых» алгоритмов классификации [2]. Предлагается заменить централизованную обработку данных распределенной обработкой с последующей ее централизацией по мере объединения «слабых» алгоритмов в «сильные». Предполагается обрабатывать полутоновое изображение, при этом для сегментации и классификации объектов на изображении использовать два источника данных, позволяющих построить два независимых признаковых пространства:

данные текстуры и данные о геометрической форме сегмента изображения.

Для децентрализации обработки данных изображения разбивают на сегменты прямоугольной формы – ячейки, анализ пикселей которых ведется отдельным процессором. По мере наращивания размера ячеек происходит «усиление» алгоритма классификации. Если построить так называемые «жадные» алгоритмы [6], в которых на каждой итерации выбирается наилучшее решение, то при наличии только трех алгоритмов, каждый из которых верно решает задачу двухальтернативной классификации с вероятностью p независимо от остальных, то при классификации объекта возможно восемь исходов.

Если эти алгоритмы агрегировать по принципу «голосования», то есть отнести объект к тому классу, за который проголосовало большинство алгоритмов, то вероятность q верного ответа, полученного при агрегации, равна

$$q = p^3 + 3p^2(1-p) = p^2(3-2p). \qquad (1)$$

На рисунке 1 представлен график зависимости вероятности q правильного решения агрегированных алгоритмов от вероятности p правильного решения исходных алгоритмов.

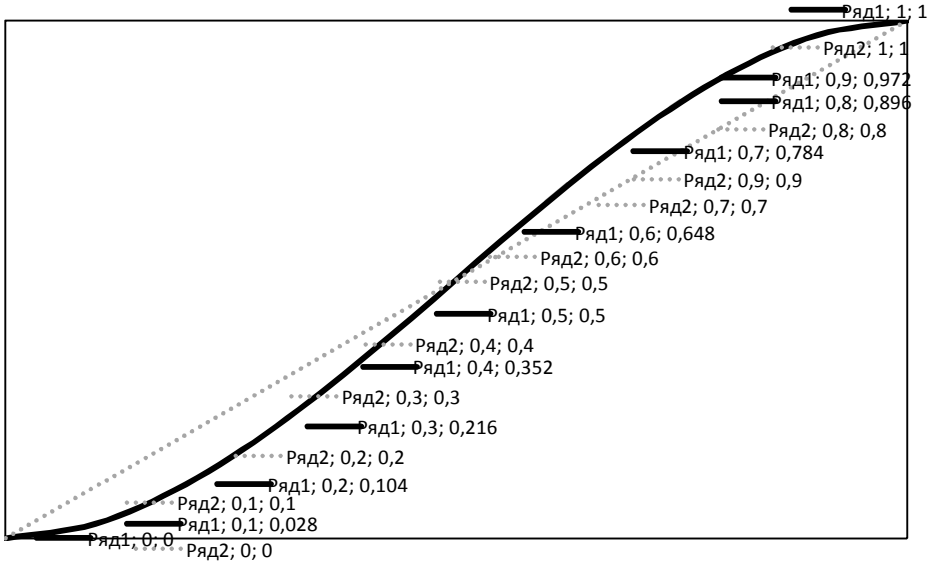


Рис. 1. График зависимости (жирная кривая) вероятности правильного решения агрегированными алгоритмами от вероятности правильного решения исходных («слабых») алгоритмов

Из графика (см. рис. 1) видно, что если вероятность правильного решения хотя бы немного превосходит 0.5, то качество классификации построенной композиции может быть заметно больше качества отдельного алгоритма. Более того, эмпирически было обнаружено, что при удачно составленной композиции качество классификации может продолжать увеличиваться даже при достижении на обучающей выборки абсолютно точной классификации.

Метод распределенного анализа изображения

Для реализации метода распределенного анализа исходное изображение разбивается на ячейки прямоугольной формы. Размер ячеек зависит от предметной области и размера исходного изображения. Размер ячейки может быть взят 24x24 пикселя, как это принято в классификаторе Виолы – Джонса. С каждой ячейкой связан процессор, который выполняет текстурный анализ изображения,

а также реализует алгоритмы контурного анализа изображения.

Процессор в каждой ячейки обрабатывает пиксели изображения последовательно двумя методами. В результате обработки в ячейках формируется пространство информативных признаков, позволяющее отнести фрагмент изображения в ячейки к определенному классу. Использование способа обработки зависит от искомого класса. В частном случае класс может определяться по двум пространствам информативных признаков, определяемых двумя способами обработки.

На первом уровне распределенной системы формируются «слабые» классификаторы. Для формирования «сильных» классификаторов необходимо объединить смежные ячейки, отнесенные «слабыми» классификаторами к одному и тому же классу. На основе такого объединения формируются новые «окна» непрямоугольной формы. В каждом таком «окне» работают столько процессоров, сколько исходных «окон» было объединено в это «окно» – «окно» верхнего иерархического уровня.

На следующем этапе классификации осуществляется обработка изображений во вновь полученных «окнах» также двумя способами, строятся два пространства информативных признаков и по каждому пространству информативных признаков принимается решение о принадлежности фрагмента изображения в окне к искомому классу. Укрупнение «окон» происходит до тех пор, пока весь фрагмент искомого класса не попадет в «окно».

Схема алгоритма, реализующая предложенный метод обработки данных, представлена на рисунке 2.

После ввода изображения (блок 1) осуществляется его разбиение на ячейки (блок 2). Число ячеек определяется максимальным числом используемых процессоров или спецификой самого изображения. В блоке 3 задаются значения трех пороговых ошибок классификации. Первый порог соответствует сильной классификации по классу «НЕ А». Второй порог соответствует слабой классификации по классу «А». Третий порог соответствует сильной классификации по классу «А». Каждой ячейке соответствуют четыре флага, которые первоначально устанавливаются в ноль в блоке 5. Установка в единицу флага 1 соответствует тому, что ячейка отнесена к классу «А» слабым классификатором первого способа классификации. Установка в единицу флага 2 соответствует тому, что ячейка отнесена к классу «А» слабым классификатором второго способа классификации. В цикле, организованном блоком 6, осуществляется классификация ячейки двумя способами. При этом, в зависимости от результатов классификации, соответствующие флаги устанавливаются в соответствующее состояние.

Если ячейка «принадлежность ячейки к исследуемому классу» установлена сильным классификатором, то в единицу устанавливается флаг 4. После установки флагов всех ячеек в соответствующее состояние проводится агрегация слабых классификаторов, то есть агрегация классификаторов проводится только у тех ячеек, у которых в состоянии единицы находятся один из флагов 1 и 2 или оба вместе. Если это условие не выполняется, то считается, что ячейка отнесена к классам «НЕ А» или «А» сильным классификатором. В блоке 21 осуществляется классификация ячейки агрегированным классификатором. Если погрешность агрегированной классификации не превосходит пороговую соответствующую погрешность, допускающую объединение ячеек по классу «А», то флаг 3 этой ячейки устанавливается в единицу.

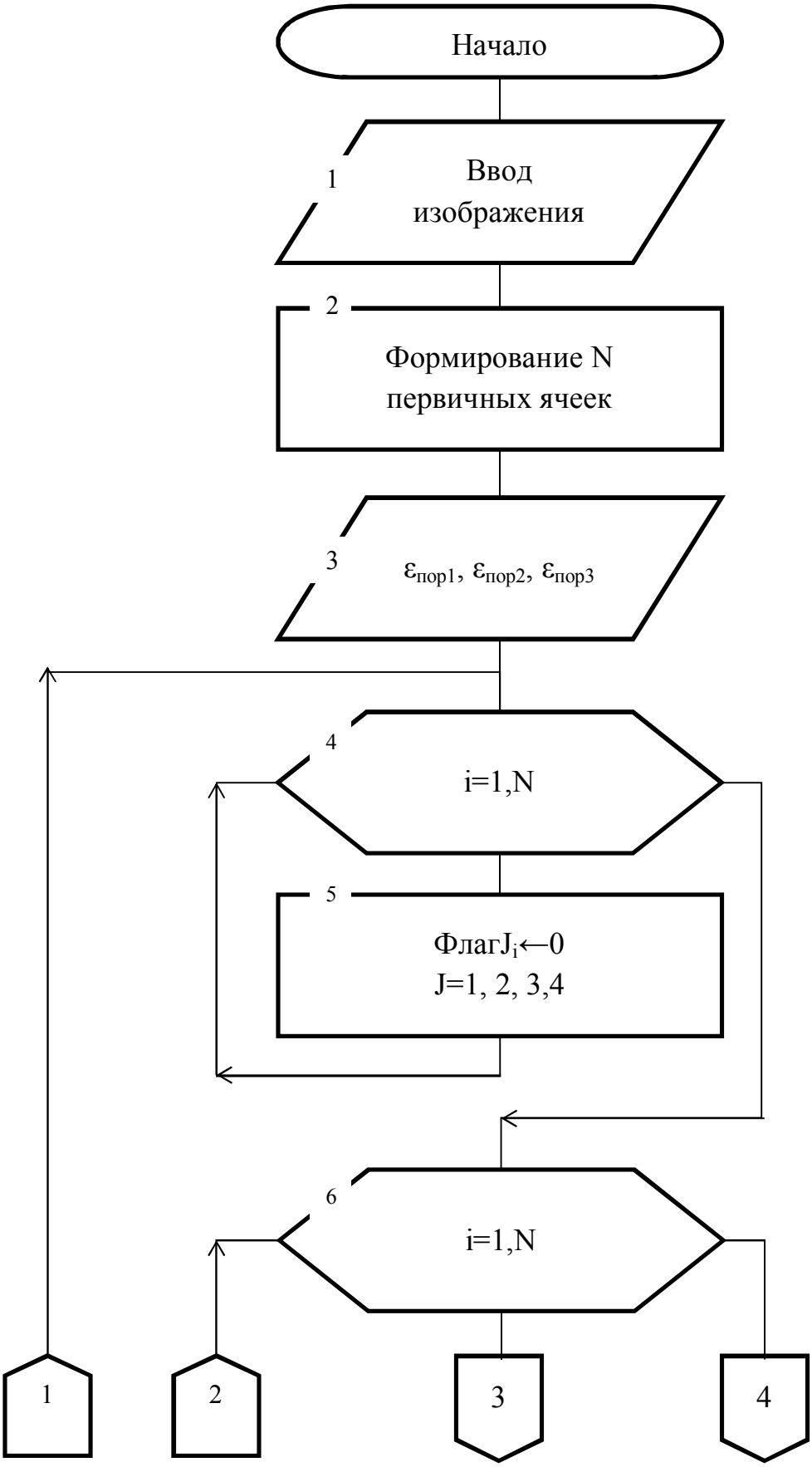


Рис. 2. Схема алгоритма реализации метода распределенной обработки изображений
(продолжение см. на с. 17, 18, 19, 20, 21)

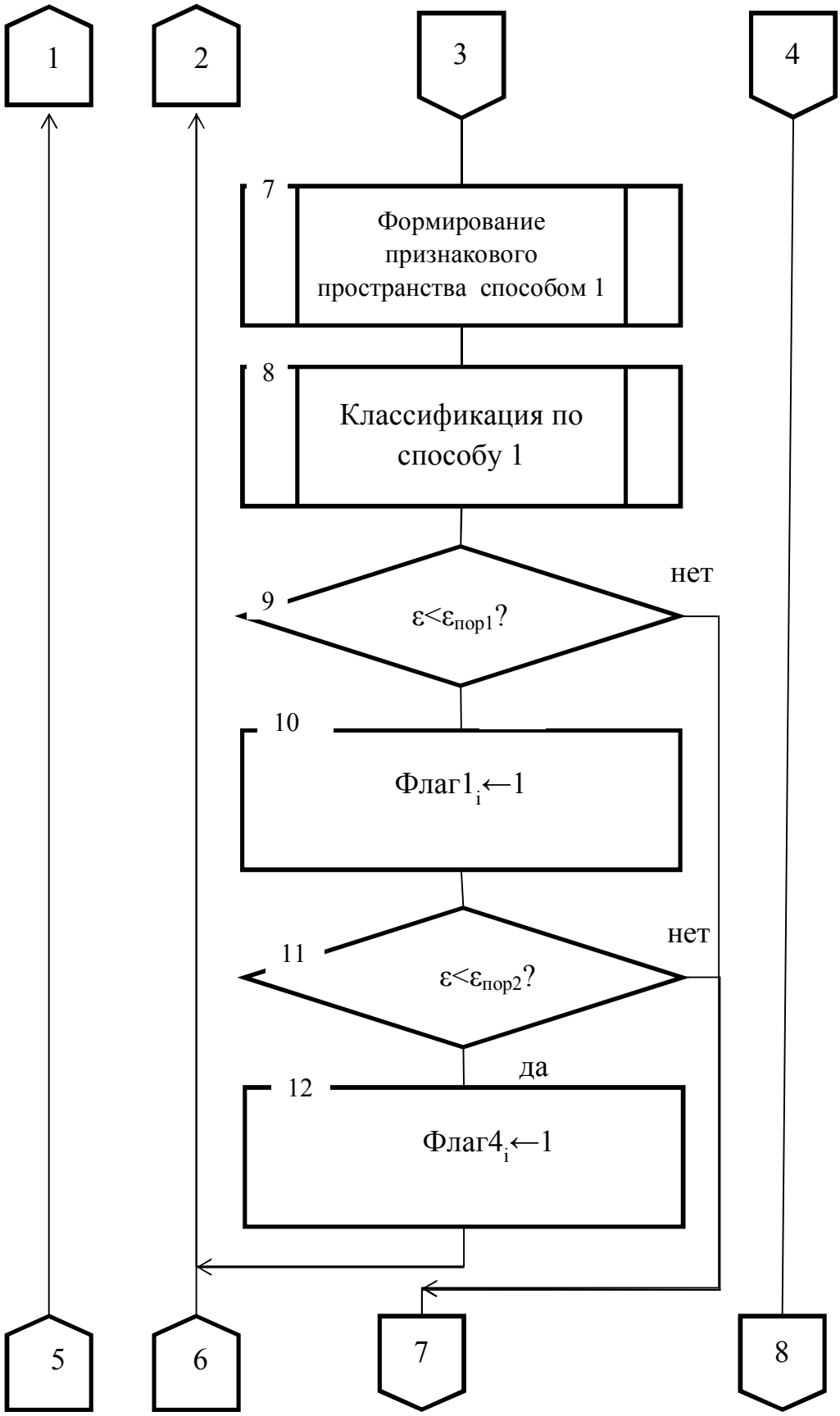


Рис. 2. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание – на с. 21)

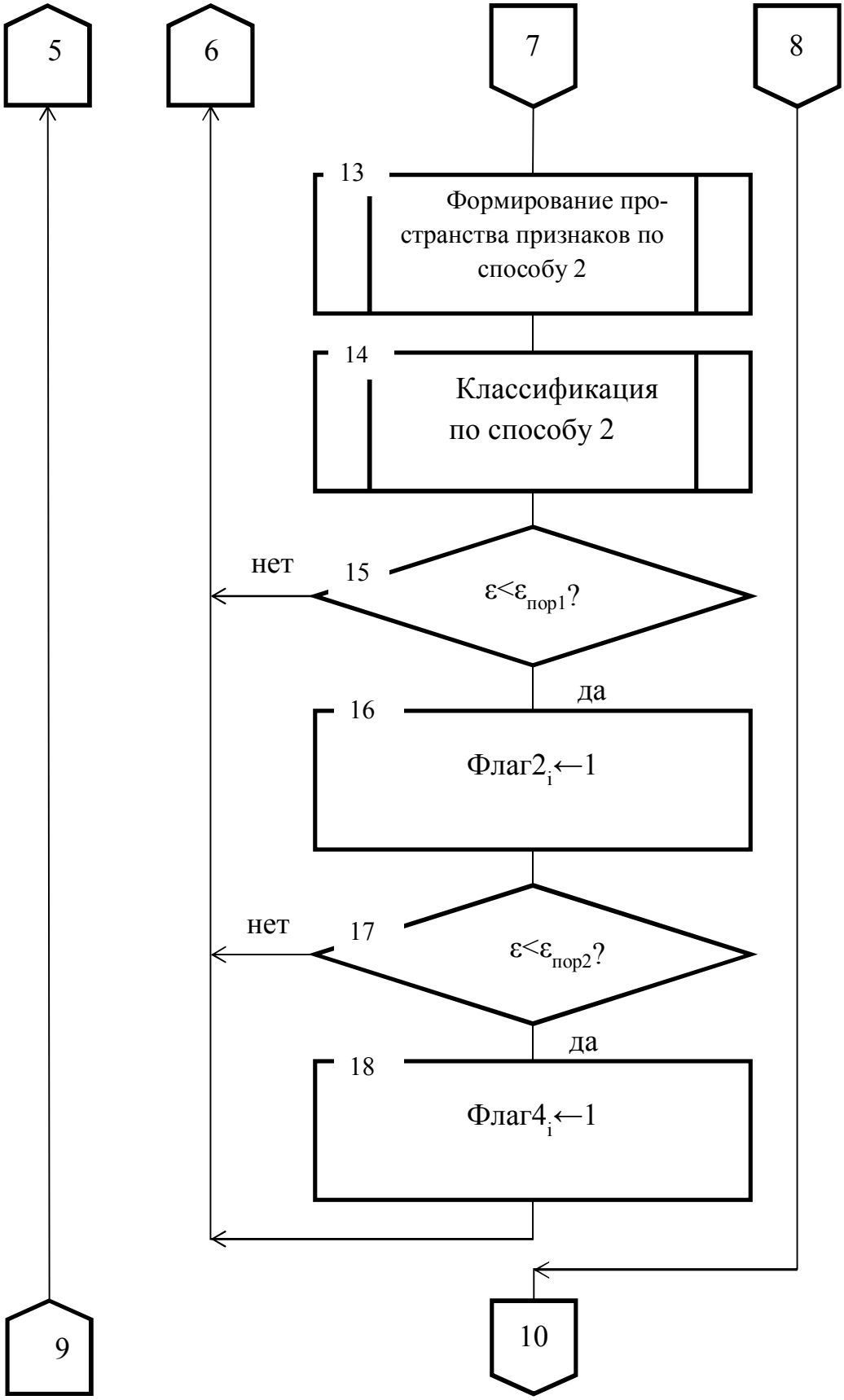


Рис. 2. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание – на с. 21)

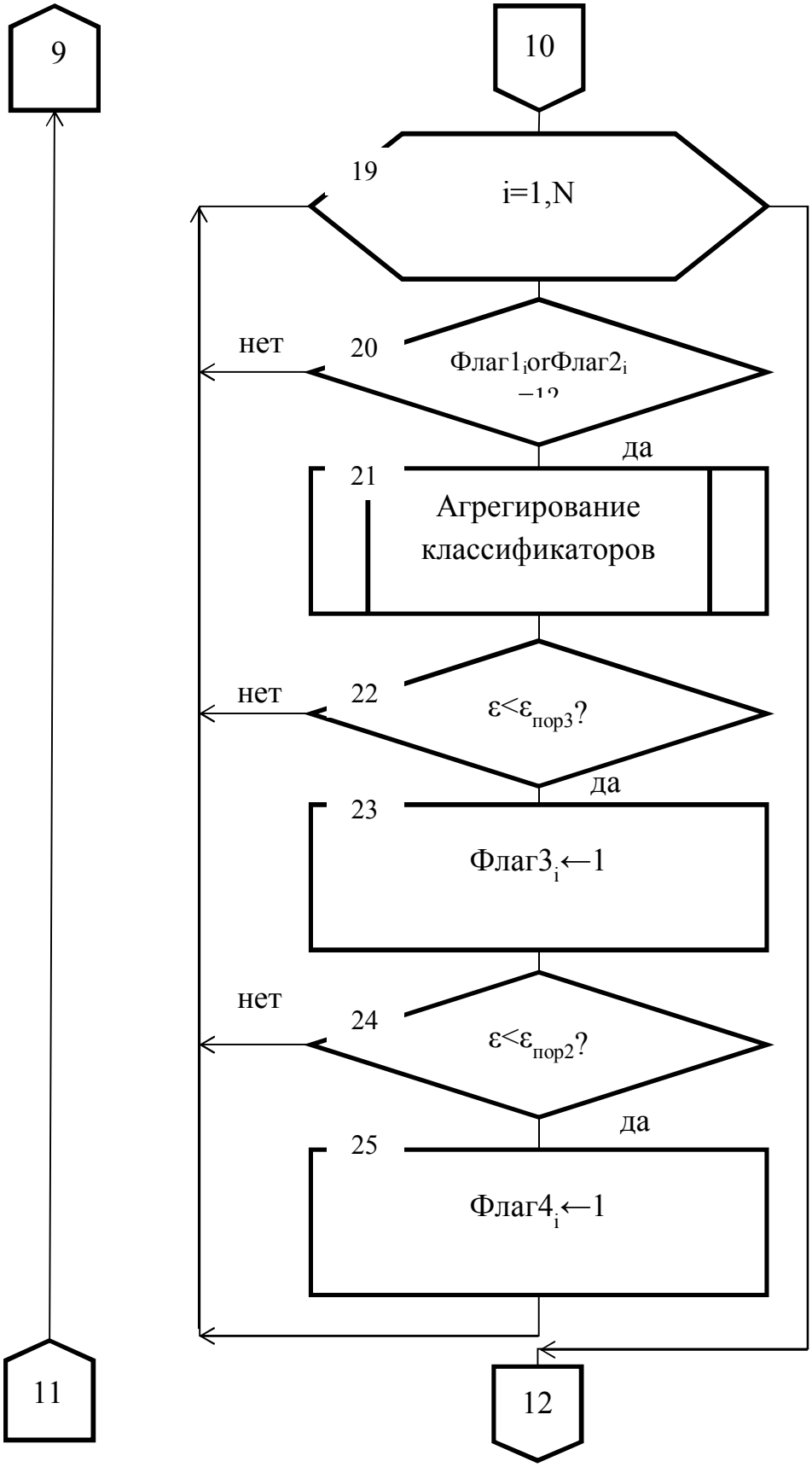


Рис. 2. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание – на с. 21)

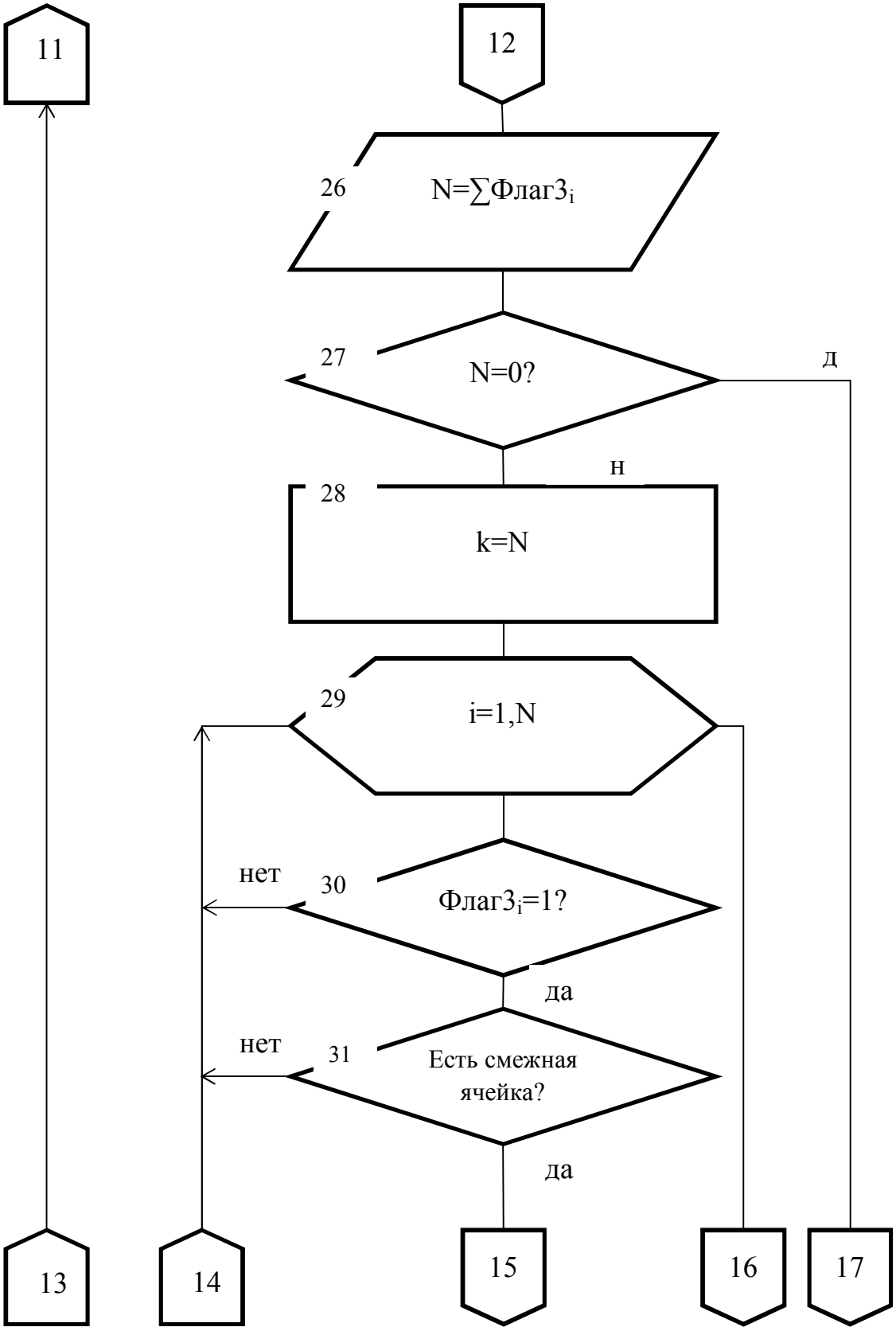


Рис. 2. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание – на с. 21)

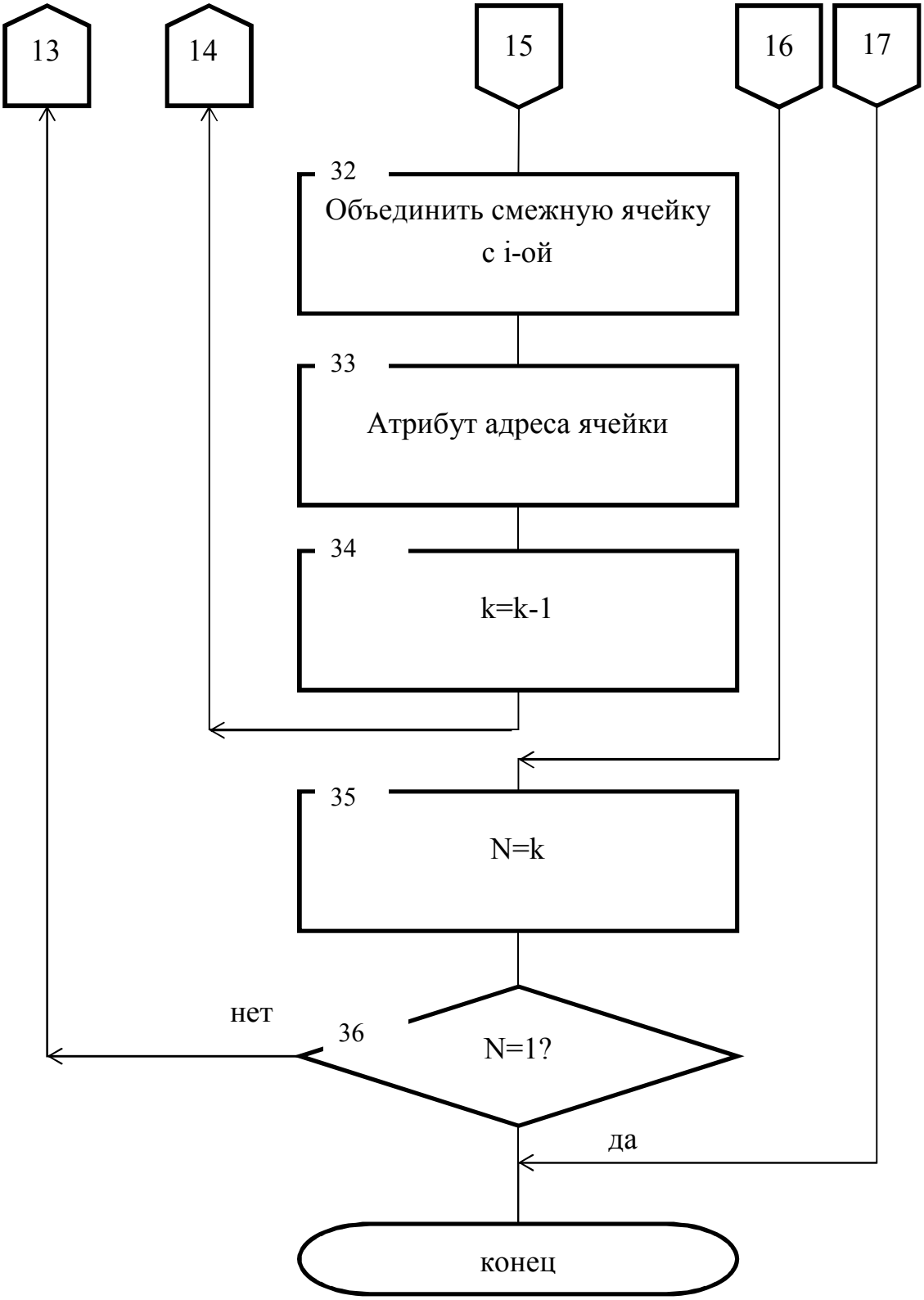


Рис. 2. Окончание (начало см. на с. 16)

В блоке 26 осуществляется подсчет ячеек, флаг 3 которых находится в состоянии единицы, после чего переходят к процедуре объединения ячеек, реализованной в цикле блоком 29. Объединение происходит только двух смежных ячеек в блоке 32.

Процесс объединения ячеек продолжается до тех пор, пока все пиксели изображения не разделятся на два класса: «НЕ А» и «А» (блоки 27 и 37) либо слабыми, либо сильными классификаторами.

На рисунке 3 представлена структурная схема интеллектуальной системы классификации сложноструктурируемых изображений.

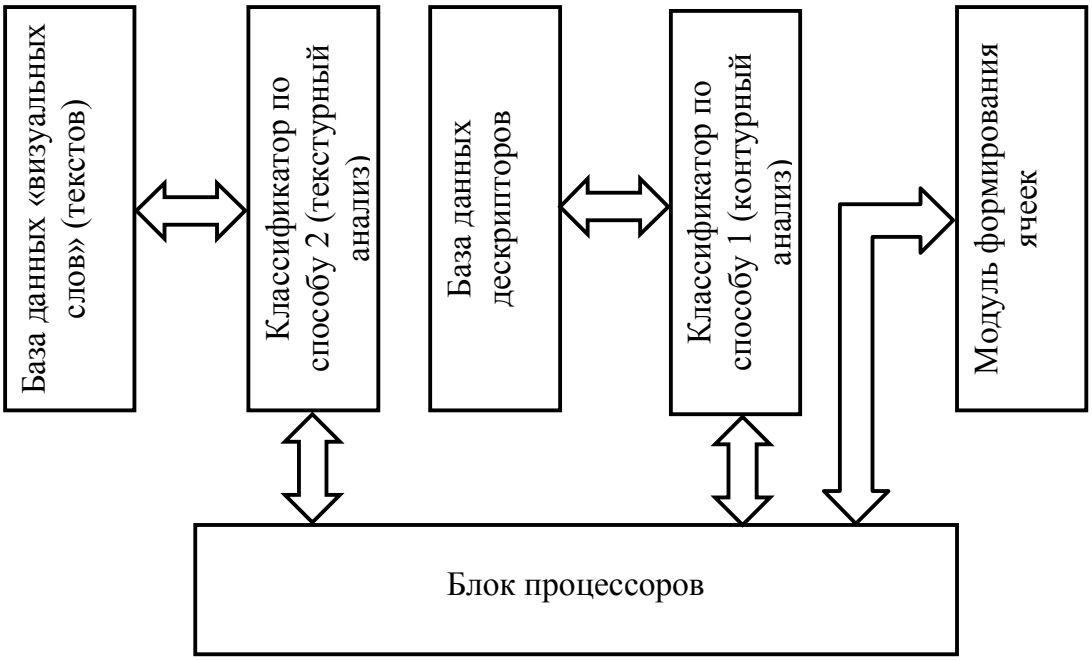


Рис. 3. Структурная схема интеллектуальной системы классификации сложноструктурируемых изображений

Она реализует два способа анализа изображений посредством двух модулей классификации и двух баз данных. Первый модуль классификации основан на контурном анализе изображений и работает с базой данных дескрипторов [7]. Второй классификатор осуществляет текстурный анализ и работает с базой данных текстонов – «визуальных слов». Каждый процессор блока процессоров связан со своей ячейкой изображения. Структура блока процессоров адаптируется под структуру ячеек изображения, а ячейки изображения форматируются по результатам работы классификаторов.

Выводы

Разработан метод распределенного анализа изображения, который сочетает в себе высокое быстродействие обработки данных, достигаемое за счет многопроцессорной параллельной обработки фрагментов данных, а также высокую точность, достигаемую за счет агрегации решений классификаторов на пирамидальной адаптируемой структуре данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00164 а.

Список литературы

1. Томакова Р.А. Проектирование гибридной нейронной сети для анализа

сложноструктурированных медицинских изображений // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2011. – Т.10, № 4. – С.916-923.

2. Акимов А.В., Сирота А.А. Разработка и исследование алгоритмов распознавания изображений на основе метода Виолы-Джонса с использованием технологии вычислений на графических процессорах Cuda // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 105-108.

3. Автоматические классификаторы сложно структурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора / С.А. Филист, М.В. Дюдин, И.В. Зуев [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой» (СОИУ). – 2015. – Вып. 1. – С.130-140.

4. Способ выделения контура изображения легких на рентгеновском снимке грудной клетки / М.В. Дюдин, В.В. Жилин, П.С. Кудрявцев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. – № 4. – С. 107-114.

5. Томакова Р.А., Филист С.А. Метод обработки и анализа сложноструктурируемых изображений на основе встроенных функций среды MATLAB // Вестник Читинского государственного университета. 2012. – № 1 (80). – С.3-9.

6. Казаковцев Л.А., Антамошкин А.Н. Метод жадных эвристик для задач размещения // Вестник СибГАУ. – 2015. – №2. – С. 317-325.

7. Дюдин М.В., Филист С.А., Кудрявцев П.С. Способ выделения и классификации контуров легких на изображениях флюорограмм грудной клетки // Наукоемкие технологии. – 2014. – Т. 15, № 12. – С. 25-30.

References

1. Tomakova R.A. Design of hybrid neural networks for analysis of medical images with multiply structure // System analysis and biomedical system management. – 2011. – Vol.10, N. 4. – P. 916-923.

2. Akimov A.V., Sirota A.A. Design and analysis of image understanding algorithm based on Viola-Jones method using technology of calculation by GPU Cuda // Vestnik VGU. Ser.: System analysis and information technologies. – 2014. – №3. – P. 105-108.

3. Automatic qualifiers of images with multiply structure based on multi-criteria selection multimethod technology / S.A. Filist, M.V. Dyudin, I.V. Zuev [et al.] // Radio electronics questions. Ser.: Systems and means of special equipment management information display. – 2015. – Issue 1. – P. 130-140.

4. Method of identification of lung image contours on the chest roentgenogram / M.V. Dyudin, V.V. Zhilin, P.S. Kudryavtsev [et al.] // Proceeding of the Southwest State University. Ser.: Management, computer facilities, Computer science. Medical industry. – 2014. – №4. – P. 107-114.

5. Tomakova R.A., Filist S.A. Method of processing and analysis of images with multiply structures based on built-in functions of MATLAB environment // Chita State University messenger. – 2012. – № 1 (80). – P. 3-9.

6. Kazakovtsev L.A., Antamoshkin A.N. Greedy heuristics method for placement tasks // SibSAU messenger. – 2015. – №2. – P. 317-325.

7. Dyudin M.V., Filist S.A., Kudryavtsev P.S. Method of identification and classification of lung contours in chest photofluorogram images // Knowledge-intensive technologies. – 2014. – Vol. 15, № 12. – P. 25-30.

Получено 24.03.16

V.S. Belyh, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

M.A. Efremov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: efremov_ma@mail.ru)

S.A. Filist, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sfilist@gmail.com)

DESIGN AND ANALYSIS OF METHOD AND ALGORITHMS FOR INTELLECTUAL CLASSIFICATION SYSTEMS OF IMAGES WITH MULTIPLY STRUCTURE

Intellectual classification system of images with multiply structure is intended for allocation of specified class segments on the image. It refers to taught classification systems. Actuality of design of intellectual classification system of images with multiply structure is obvious in case of video camera pictures handling on unmanned aerial vehicles used in navigation purposes at lack of connection with artificial Earth satellites or at picture analyses by operator in real-time mode. In that case high requirements arise not only to quality of picture object classification, but also to execution speed and classification of examined image segments. Contradiction between effectiveness (classification accuracy) and computational resources is suggested to solve by virtue of distributed computer system (network). Method is based on idea of hybrid approaches to data processing and aggregation of "weak" algorithms of classification into "strong" algorithms.

For automatic classification of images with multiply structure computer technologies of allocation pixels belonged to specified class are developed. Computer technologies are directed on operative decision-making that achieved by using of distributed processing in cellular picture structure which modified in process of weak and strong classifiers work. In automated system two classifiers are used, one of them makes contour analysis of image patch appeared in a cell and another makes texture analyses. Classifiers are strengthened by classifiers aggregation realizing two methods of classification and also by iterative classification process which implemented by combination of cells pertaining to the specified class on basis of weak classifiers decisions.

Key words: *image classification, hybrid processing method, training of classifier, algorithm.*

УДК 004.942, 621.396.61

И.Г. Бабанин, преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск (e-mail: babanin_ivan@bk.ru)

Д.С. Коптев, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)
(e-mail: dmitrii_spartak@mail.ru)

А.Ю. Богомазов, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: o-nill@bk.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ В СПУТНИКОВОМ РАДИОКАНАЛЕ ПРИ ПРИЕМЕ СИГНАЛОВ С ФМ-2 И ФМ-4

Основная тенденция развития современных спутниковых систем связи – повышение помехоустойчивости и эффективности передачи информации. Внедряются новые методы, обеспечивающие повышение скорости передачи, снижение влияния помех в каналах и экономное расходование полосы частот. При этом возможно достижение высоких показателей информационной, энергетической и спектральной эффективности.

Решению этих задач способствует рациональный выбор сигналов, используемых для передачи информации по спутниковым каналам, методов их формирования и обработке на приеме. В современных спутниковых системах широко используют сигналы с фазовой модуляцией и когерентный прием. При разработке современных систем телекоммуникаций, базирующихся на спутниковых системах связи, весьма актуально установление степени влияния амплитудно-частотных искажений на достоверность передачи сигналов с фазовой модуляцией, являющихся наиболее применимыми в таких системах в силу их высокой помехоустойчивости. Рассмотрена амплитудно-частотная характеристика спутникового радиоканала в наиболее перспективных диапазонах частот 10–14 ГГц и 30–50 ГГц. Рассчитаны значения проигрыша в отношении сигнал/шум для каждого из указанных диапазонов. Найдены конкретные значения эквивалентных энергетических потерь, вызванных неравномерностью амплитудно-частотной характеристики спутникового радиоканала при постоянной вероятности символьной ошибки 10-9. Проведенное исследование показывает, что неравномерность рассматриваемой характеристики спутниковых систем связи будет расти по мере увеличения потерь в кислороде и в парах воды, в осадках. Значения потерь нешумового характера, полученные путем аналитического моделирования, существенны, что говорит о необходимости применения средств компенсации для учета рассмотренного дестабилизирующего фактора. Наиболее применимы к решению этой задачи различные виды помехоустойчивых кодов.

Ключевые слова: *эквивалентные энергетические потери, фазовая модуляция, спутниковый радиоканал.*

***

Тенденция развития мировой сети электросвязи обусловлена переходом человеческого общества от индустриальной фазы развития к информационной и ха-

рактеризуется интеграцией и конвергенцией телекоммуникационных сетей. Эта тенденция стала проявляться еще в конце прошлого столетия, когда системы связи стали переходить на цифровые формы передачи информации. Развитие технологий связи привело к созданию глобальных сетей для передачи больших объемов информации с высокой скоростью и надежностью. Следствием этого стало перераспределение международного телекоммуникационного трафика между системами связи. Основным способом реализации глобальной и региональной сетей связи стало применение оптоволоконных кабелей и спутниковых систем связи, на долю которых в настоящее время приходится четверть общего мирового трафика.

Различные системы спутниковой связи обладают своими особенностями, обусловленными главным образом характеристиками их орбитальных группировок, но их пользовательские характеристики и предоставляемые услуги имеют много общего. Анализ сигнально-кодовых конструкций, используемых в спутниковых системах связи, таких как Inmarsat, Iridium, GlobalStar, Гонец, показал, что в данных системах связи в основном применяются сигналы с ФМ–2 и ФМ–4. Это обстоятельство обусловлено их высокой помехоустойчивостью.

Тенденция развития инфотелекоммуникаций в спутниковых системах связи требует повышения скорости передачи информации, которая имеет в настоящее время объективные ограничения. Частично данная проблема решается за счет применения новых сигнально-кодовых конструкций и освоения новых частотных диапазонов, но из-за предъявления все более жестких требований по энергетическому потенциалу спутниковых линий связи сегодня стало необходимым рассмотрение многих дестабилизирующих факторов, влияние которых не учитывалось ранее. Данное обстоятельство требует более детального изучения особенностей энергетики спутниковых линий, а также компонентов, входящих в уравнение энергетического потенциала, что и объясняет актуальность данной работы.

При прохождении фазомодулированного сигнала по спутниковому радиоканалу связи, обладающему неидеальными амплитудно-частотной и фазочастотной характеристиками, в сигнал вносятся искажения, сказывающиеся на его правильном приёме. Для исследования и оценки всех видов энергетических потерь в спутниковом радиоканале необходимо дополнить классическое уравнение энергетического баланса его расширенной модификацией.

В левую часть уравнения энергетического баланса включаются два дополнительных слагаемых, описывающих два положительных фактора его формирования: увеличение отношения сигнал/шум за счет пространственно-временной обработки сигналов в точке приема и увеличение отношения сигнал/шум за счет применения методов помехоустойчивого декодирования принятых сигналов.

Суммарные эквивалентные энергетические потери в РПрУ Δ:

$$q^i = P_u^i + G_A^{пд} + G_A^{пр} + M_{ос} + \\ + V - L_{АЧХ} - L_{ФЧХ} - \Delta - P_{пр}, \quad (1)$$

где P_u^i – мощность i-й передающей станции, дБ;

$G_A^{пд}$ – усиление антенны i-й передающей станции, дБ;

$G_A^{пр}$ – усиление приемной антенны, дБ;

$M_{ос}$ – дополнительный энергетический выигрыш за счет применения методов пространственно-поляризационной

обработки сигналов в точке приема при многолучевом характере распространения радиоволн;

V – дополнительный энергетический выигрыш за счет применения методов помехоустойчивого декодирования сигналов ЦЛС;

k^i – количество лучей, приходящих в точку приема от i-й станции;

R^i – расстояние между приемной и i-й передающей станцией;

q^i – дополнительное отношение сигнал/шум, требуемое для обеспечения детектирования i-го сигнала с качеством не ниже требуемого, дБ;

$P_{пр}$ – предельная чувствительность РПрУ, которая определяется величиной сигнала на входе для достижения отношения сигнал/шум q=1 и равна мощности шумов, приведенных к его входу;

$\Delta = \Delta_{афу} + \Delta_{рпу} + \Delta_{дму}$ – ЭЭП в радиоприемном устройстве (РПрУ),

где $\Delta_{афу}$ – ЭЭП, обусловленные неидеальностью параметров антенно-фидерного устройства (АФУ), дБ;

$\Delta_{рпу}$ – ЭЭП, обусловленные неидеальностью параметров радиоприёмного устройства (РПУ), дБ;

$\Delta_{дму}$ – ЭЭП, обусловленные неидеальностью параметров демодулирующего устройства (ДмУ), дБ.

Параметры подсистем радиоприёмника считаются идеальными, если они не приводят к ЭЭП.

Таким образом, уравнение энергетического баланса определяет зависимость уровня отношения сигнал/шум на входе ДмУ, формируемого передающей стороной, средой распространения и самим радиоприёмным устройством для каждого конкретного вида модуляции. Для обеспечения устойчивого детектирования сигнала необходимо обеспечить превышение порогового сигнала РПрУ по входу детектора на величину q^i.

Суммарные потери будут определяться следующим выражением:

$$\begin{aligned}\Delta = \Delta_{АФУ} + \Delta_{ПСУ} + \Delta_{ДмУ} + \Delta_{ДтУ} = \sum_i \Delta^i_{ак}\left(К^i_{ш}(f)\right) + \sum_v \Delta^v_{мшу}\left(К^v_{ш}(f)\right) + \sum_u \Delta^u_{см}\left(К^u_{ш}(f)\right) + \\ + \Delta_{фидер}\left(К_{ш}(f)\right) + \Delta_{антенна}\left(К_{ш}(f)\right) + \sum_j \Delta^j_{комм}\left(К^j_{ш}(f)\right) + \sum_p \Delta^p_{упч}\left(К_{ш}\right) + \sum_e \Delta^e_{атт}\left(К_{ш}\right) + \\ + \sum_r \Delta^r_{пф}\left(\delta_{ачх}\right) + \sum_t \Delta^t_{пф}\left(\delta_{фчх}\right) + \sum_k \Delta^k_{гет}\left(G^k_V(M)\right) + \Delta_{свн}\left(\delta_f\right) + \\ + \Delta_{свтч}\left(\delta^0\right) + \Delta_{увс}\left(\delta_U\right) + \Delta_{рас}\left(\delta_{ачх}\right) + \Delta_{омси}\left(\delta_{мси}\right),\end{aligned} \quad (2)$$

где $\Delta^i_{ак}$ – ЭП i-го антенного коммутатора, обусловленные тепловыми шумами электронной природы (коэффициент шума $К^i_{ш}$);

$\Delta^v_{мшу}$ – ЭП в малошумящих усилителях (МШУ), обусловленные их тепловыми шумами электронной природой;

$\Delta^u_{см}$ – ЭП, обусловленные тепловыми шумами смесителей;

$\Delta_{фидер}$ – ЭП в высокочастотных фидерах, обусловленные тепловыми шумами электронной природы;

$\Delta_{антенна}$ – ЭП в антенне, обусловленные тепловыми шумами электронной природы;

$\Delta^j_{комм}$ – ЭП в j-м коммутаторе, обусловленные тепловыми шумами электронной природы;

$\Delta^p_{упч}$ – ЭП, обусловленные тепловыми шумами p-го усилителя промежуточной частоты;

$\Delta^e_{атт}$ – ЭП в d-м аттенюаторе, обеспечивающем заданный уровень сигнала на входе ДтУ;

$\Delta^{r}_{пф}(\delta_{ачх})$ – ЭЭП, обусловленные неравномерностью АЧХ *r*-го полосового фильтра;

$\Delta^{t}_{пф}(\delta_{фчх})$ – ЭЭП, обусловленные неравномерностью ФЧХ *t*-го полосового фильтра;

$\Delta^{k}_{гет}(G^{k}_{V})$ – ЭЭП, обусловленные неидеальностью амплитудно-частотного спектра колебания *k*-го гетеродина;

$\Delta_{свн}(\delta_{f})$ – ЭЭП, обусловленные погрешностью системы восстановления несущей частоты;

$\Delta_{свтч}(\delta^{0})$ – ЭЭП, обусловленные погрешностью восстановления тактовой частоты ДмУ;

$\Delta_{увс}(\delta_{U})$ – ЭЭП, обусловленные погрешностью поддержания уровня сигнала на входе ДтУ;

$\Delta_{рас}(\delta_{ачх})$ – ЭЭП, обусловленные рассогласованием форм АЧХ согласованного фильтра с сигналом (искусственное рассогласование);

$\Delta_{омси}(\delta_{мси})$ – ЭЭП, обусловленные остаточной межсимвольной интерференцией.

Итак, уравнение энергетического баланса модифицировано, что дает возможность более детально производить анализ и расчет спутниковых линий связи. Для исследования влияния фазочастотных и амплитудно-частотных характеристик радиоканала на правильный приём сигналов в спутниковой линии связи практически все составляющие уравнения энергетического баланса считаются идеальными, неизменяемыми величинами.

Спутниковый радиоканал необходимо рассматривать как линейный пространственный фильтр со своей АЧХ и ФЧХ. Эквивалентные энергетические потери, вносимые таким фильтром, складываются из потерь, возникающих из-за неравномерности амплитудно-частотной характеристики и фазочастотной характеристики и определяются следующей формулой:

$$G[\text{дБ}] = G_{ачх}[\text{дБ}] + G_{фчх}[\text{дБ}]. \qquad (3)$$

Из работ [1, 2] следует, что влияние фазочастотных искажений в спутниковом радиоканале крайне мало и ими можно пренебречь.

Исследуем аналитическую зависимость между эквивалентными энергетическими потерями в РПУ от величины искажений $\overline{D(\omega)}$ (деформации) АЧХ. Для этого примем для исследований модель последовательно соединенных пространственного фильтра с фильтром без искажений в демодулирующем устройстве радиоприемника.

В этом случае спектр сигнала на входе идеального фильтра в демодуляторе будет определяться выражением

$$\dot{S}_1'(\omega) = A(\omega)\dot{S}(\omega), \qquad (4)$$

где $\dot{S}(\omega)$ – спектр неискаженного сигнала;

$A(\omega)$ – функция искажения амплитудного спектра сигнала пространственного фильтра.

Сигнал на выходе оптимального фильтра в демодуляторе будет иметь спектр

$$\begin{aligned} \dot{S}_2'(\omega) &= \dot{S}_1'(\omega)\dot{K}(\omega) = \\ &= \dot{S}_1'(\omega) C S_1^*(\omega)\dot{\exp}(-j\omega t_0) = \\ &= C A(\omega) S_1^2(\omega)\exp(j\omega t_0) \end{aligned} \qquad (5)$$

и мгновенное значение

$$\upsilon_2'(t) = \frac{C}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} A(\omega) S_1^2(\omega)\exp\left[j\omega(t-t_0)\right]d\omega. \qquad (6)$$

Многочисленные исследования амплитудно-частотных характеристик оптимальных линейных фильтров в демодулирующих устройствах показали, что закон их искажений является гармоническим.

Тогда выходное напряжение будет описываться следующим выражением:

$$\begin{aligned} \upsilon_2'(t) &= \frac{\alpha_1}{2}\frac{C}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(\omega)\exp\left[j\omega\left(t-t_0-c\right)\right]d\omega + \\ &+ \alpha_0\frac{C}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(\omega)\exp\left[j\omega\left(t-t_0\right)\right]d\omega + \\ &+ \frac{\alpha_1}{2}\frac{C}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(\omega)\exp\left[j\omega\left(t-t_0-c\right)\right]d\omega. \end{aligned} \qquad (7)$$

Сравнивая члены этого выражения с выходным напряжением неискаженного сигнала на выходе оптимального фильтра:

$$\upsilon_2(t)=\frac{C}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(\omega)\exp\left[j\omega\left(t-t_0\right)\right]d\omega= \\ =\frac{C}{2\pi}\int_{0}^{\infty} S_1^2(\omega)\cos\left[\omega(t-t_0)\right]d\omega, \quad (8)$$

окончательно получим следующее выражение:

$$\upsilon_2(t)=\frac{\alpha_1}{2}\upsilon_2(t+c)+\alpha_0\,\upsilon_2(t)+\frac{\alpha_1}{2}\upsilon_2(t-c). \quad (9)$$

Анализ этого выражения показывает, что в результате косинусоидальных амплитудно-частотных искажений сигнал на выходе оптимального фильтра увеличивается в α_0 раз и появляются еще два сигнала той же формы с относительной амплитудой $\frac{\alpha_1}{2}$, смещенные во времени относительно основного сигнала на величину $\pm c$.

Длительность сигнала на выходе оптимального фильтра может принимать по отношению к параметру c ряд значений:

$$\begin{cases} c>2\tau, \\ c>\tau, \\ c<\tau, \end{cases} \quad (10)$$

где c – параметр, характеризующий периодичность искажений;

τ – длительность сигнала на выходе оптимального фильтра.

При $c>\tau$ происходит частичное перекрытие основного и сопутствующих сигналов, однако это не влияет на величину пикового значения выходного сигнала, которое в α_0 раз больше искаженного сигнала. При этом сигналы на входе фильтра совсем не перекрываются:

$$\upsilon_1'(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} A(\omega)\dot{S}_1(\omega)\exp(j\omega t)= \\ =\frac{\alpha_1}{2}\upsilon_1(t+c)+\alpha_0\upsilon_1(t)+\frac{\alpha_1}{2}\upsilon_1(t-c). \quad (11)$$

Возводя это выражение в квадрат и интегрируя в бесконечных пределах по времени, получим, что суммарная энергия входного сигнала будет определяться выражением

$$E_{сум}=\left(\alpha_0^2+\frac{\alpha_1^2}{2}\right)E_1, \quad (12)$$

где E_1 – энергия неискаженного сигнала.

Следовательно, за счет амплитудно-частотных искажений квадрат пикового значения выходного сигнала возрастает в α_0^2 раз, а при оптимальной фильтрации должен был бы увеличиться пропорционально энергии сигнала, то есть в $\left(\alpha_0^2+\frac{\alpha_1^2}{2}\right)$ раз.

Поэтому проигрыш в отношении сигнал/шум по мощности из-за взаимной неоптимальности сигнала и фильтра составит

$$\Delta Q=10\lg\left(1+\frac{\alpha_1^2}{2\alpha_0^2}\right). \quad (13)$$

Рассмотрим влияние этих эквивалентных потерь на вероятность ошибки на символ при приеме и демодуляции сигналов ФМ-2 и ФМ-4. Выражение (13) определяет энергетический проигрыш при приеме сигналов с фазовой модуляцией полосовым фильтром с искаженной АЧХ. Физическое влияние этого проигрыша на демодуляцию сигналов с фазовой модуляцией равносильно уменьшению амплитуды вектора принимаемого сигнала на эту величину (или уменьшению отношения сигнал/шум на эту величину), а следовательно, и увеличению вероятности ошибки на символ.

Расчет энергетических потерь (ЭП), возникающих в полосовых фильтрах, базируется на основе модели, состоящей из неидеального полосового фильтра и идеального демодулятора. Демодулятор в такой модели производит измерение при-

нятой аддитивной смеси сигнала и шума и принимает решение о принадлежности характеристической точки вектора принятого сигнала к той или иной области амплитудно-фазовой плоскости. Принято допущение, что в смеси с сигналом присутствует аддитивный нормальный шум со среднеквадратическим значением σ. Приращение вероятности ошибки на символ по выходу идеального демодулятора по сравнению с вариантом применения идеального полосового фильтра и будет характеризовать возникающие при этом ЭП.

Для установления взаимной однозначности между неравномерностью АЧХ полосового фильтра и ЭЭП принята двухэтапная процедура. На первом этапе определяются вероятности ошибки на символ в зависимости от неравномерности АЧХ применяемых полосовых фильтров. На втором этапе при фиксированных вероятностях ошибок определяются ЭЭП для сигналов с фазовой модуляцией.

Для расчёта величины данного проигрыша необходимо рассмотреть реальную амплитудно-частотную характеристику спутникового радиоканала, обусловленную затуханием сигнала в кислороде и в парах воды. Рассматривается тропосферный участок радиотрассы толщиной в 15 км. Частотно-селективные замирания в атмосфере представлены на рисунке 1.

Оценить АЧХ всего диапазона частот достаточно трудно, поэтому целесообразно рассмотреть данную характеристику для наиболее перспективных диапазонов спутниковой связи: 10–14 ГГц и 30–50 ГГц.

Для получения аналитической зависимости коэффициента ослабления амплитуды от частоты в диапазоне 10–14 ГГц необходимо воспользоваться методом аппроксимации. В качестве такого метода был выбран метод наименьших квадратов первого порядка, так как амплитудно-частотная характеристика спутникового радиоканала в исследуемом частотном диапазоне имеет линейный характер. Исходные данные, взятые из рисунка 1, представлены в таблице 1.

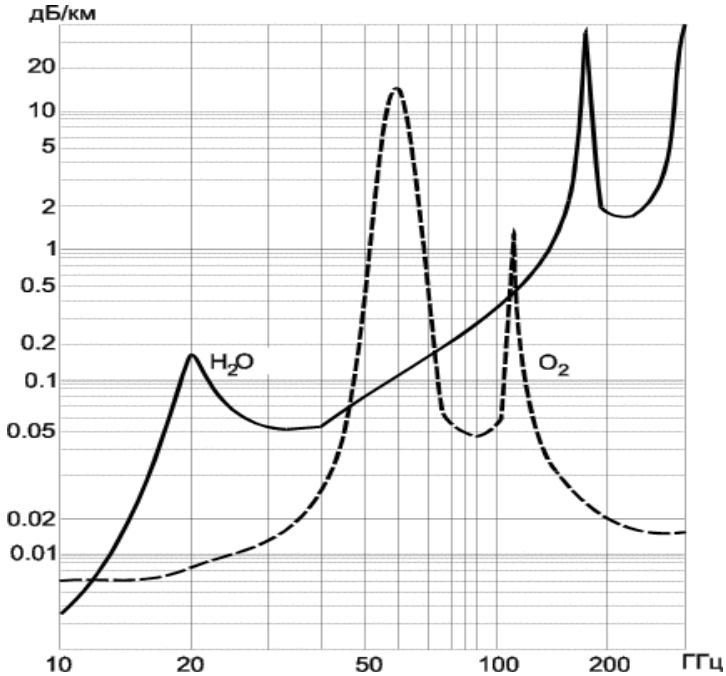


Рис. 1. Частотно-селективные замирания в атмосфере Земли

Таблица 1

Исходные данные

F, ГГц	10	11	12	13	14
а, дБ/км	0,012	0,013	0,014	0,015	0,017

Так как толщина тропосферного слоя была принята за 15 км, данные затухания в этом слое представлены в таблице 2.

Для расчета необходимо перевести децибелы в разы по следующей формуле (табл. 3):

$$\text{P(дБ)} = -10\lg\frac{\text{P}_1(\text{Вт})}{\text{P}_0(\text{Вт})}. \quad (14)$$

Подробнее следует остановиться на выбранном методе аппроксимации. Для него справедливо следующее соотношение:

$$\begin{cases} k\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} y_i x_i, \\ k\sum_{i=1}^{n} x_i + bn = \sum_{i=1}^{n} y_i, \end{cases} \quad (15)$$

где k и b – коэффициенты линейной регрессии (получаемой аппроксимирующей функцией);

n – количество точек для аппроксимации;

x_i и y_i – координаты этих точек.

Таблица 2

Данные с учётом толщины тропосферного слоя

F, ГГц	10	11	12	13	14
а, дБ	0,18	0,195	0,21	0,225	0,255

Таблица 3

Исходные данные, затухание выражено в разах

F, ГГц	10	11	12	13	14
а, раз	0,95940063	0,9560927	0,95279616	0,949511	0,94297461

На основании имеющихся данных с учётом (15) получается следующая система уравнений:

$$\begin{cases} 730\cdot k + 60\cdot b = 57,08986748, \\ 60\cdot k + 5b = 4,7607751. \end{cases} \quad (16)$$

Решение (16) даёт, что $k = -0,00394337$, $b = 0,999475$.

Следовательно, уравнение аппроксимирующей функции имеет следующий вид:

$$y = -0,00394337\cdot x + 0,999475. \quad (17)$$

Для нахождения величины проигрыша в отношении сигнал/шум необходимо получить коэффициенты a_1 и a_0, разложив функцию (17) в ряд Фурье.

Формулы для нахождения этих коэффициентов имеют следующий вид:

$$a_0 = \frac{1}{\ell}\int_a^b f(x)dx;$$

$$a_1 = \frac{1}{\ell}\int_a^b f(x)\cos\frac{\pi x}{\ell}dx, \quad (18)$$

где a и b – крайние частоты исследуемого диапазона;

ℓ – величина, численно равная половине исследуемого интервала.

По результатам расчёта получено, что $a_0 = 1,904$ и $a_1 = 1,598\cdot 10^{-3}$. Проигрыш в отношении сигнал/шум составил $G = 1,000839$.

Для получения аналитической зависимости коэффициента ослабления амплитуды от частоты в диапазоне 30–50 ГГц необходимо воспользоваться методом аппроксимации. В качестве такого метода для данного частотного диапазона был выбран метод наименьших квадратов второго порядка, что объясняется квадратичной зависимостью коэффициента передачи от частоты в области 30–50 ГГц.

Исходные данные, взятые из рисунка 1 представлены в таблице 4. Следует отметить, что значения для затухания переведены в разы по формуле (14) и взяты из расчета толщины тропосферного слоя 15 км.

Таблица 6

Исходные данные для диапазона 30 – 50 ГГц

F, ГГц	30	35	40	45	50
a, раз	0,70794578	0,74558987	0,78523563	0,75857758	0,616595

Для метода наименьших квадратов второго порядка справедливо соотношение

$$\begin{cases} n\,a_0 + a_1\sum\limits_{i=1}^{n} x_i + a_2\sum\limits_{i=1}^{n} x_i^2 = \sum\limits_{i=1}^{n} y_i, \\ a_0\sum\limits_{i=1}^{n} x_i + a_1\sum\limits_{i=1}^{n} x_i^2 + a_2\sum\limits_{i=1}^{n} x_i^3 = \sum\limits_{i=1}^{n} x_i y_i, \\ a_0\sum\limits_{i=1}^{n} x_i^2 + a_1\sum\limits_{i=1}^{n} x_i^3 + a_2\sum\limits_{i=1}^{n} x_i^4 = \sum\limits_{i=1}^{n} x_i^2 y_i, \end{cases} \qquad (19)$$

где a_0, a_1 и a_2 – коэффициенты квадратичной регрессии (получаемой аппроксимирующей функции);

n – количество точек для аппроксимации;

x_i и y_i – координаты этих точек.

На основании имеющихся данных с учётом (19) получается следующая система уравнений:

$$\begin{cases} 5x_0 + 200x_1 + 8250x_2 = 3,61694386, \\ 200x_0 + 8250x_1 + 350000x_2 = \\ \qquad\qquad = 143,70918515, \\ 8250x_0 + 350000x_1 + 15221250x_2 = \\ \qquad\qquad = 5884,4829. \end{cases} \qquad (20)$$

Решение (20) дает, что $a_2 = -0,00121588$, $a_1 = 0,0938759$, $a_0 = -1,02605$, следовательно, уравнение аппроксимирующей функции имеет вид

$$y = -0,00121588 \cdot x^2 + \\ +0,0938759 \cdot x - 1,02605. \qquad (21)$$

Для расчёта величины проигрыша в отношении сигнал/шум, как и в предыдущем случае, следует воспользоваться формулами (18). Тогда $a_1 = 0,049$ и $a_1 = 1,486$. Проигрыш в отношении сигнал/шум составил: $G = 1,03297$.

Теоретические зависимости вероятности ошибки на символ от отношения сигнал/шум для сигналов ФМ-2 и ФМ-4 представлены в таблице 7. Там же представлены данные, полученные с учетом проигрыша в отношении сигнал/шум.

Зависимость вероятности ошибки на символ от среднего отношения сигнал/шум описывается формулой

$$P_{ош}(q) = \frac{1}{2}\left(1 - \Phi\left(\sqrt{2}q\right)\right), \qquad (22)$$

где q – среднее отношение сигнал/шум; $\Phi(q)$ – условная вероятность безошибочного приёма сигнала для одной сигнальной точки в амплитудно-фазовой плоскости, которая выражается через функцию Крампа:

$$\Phi(q) = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\int_0^q \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right)dt. \qquad (23)$$

Зависимость (22) с учетом величины проигрыша G запишется в виде

$$P_{ош}(q) = \frac{\frac{1}{2}\left(1 - \Phi\left(\sqrt{2}q\right)\right)}{G}. \qquad (24)$$

Графики зависимости вероятности ошибки на символ от отношения сигнал/шум для сигналов ФМ-2 и ФМ-4 в частотном диапазоне 30–50 ГГц представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.

Таким образом, из полученных практическим путем результатов видно, что для диапазона частот 10-14 ГГц величина проигрыша в отношении сигнал/шум вследствие неравномерности амплитудно-частотной характеристики мала, что говорит о несущественном влиянии данного дестабилизирующего фактора в данном частотном диапазоне. Для диапазона частот 30-50 ГГц данное влияние существенно, так как величина эквивалентных энергетических потерь при передаче сигналов ФМ-2 составляет 0,42 дБ, а сигналов ФМ-4 – 0,53 дБ.

Таблица 7

Теоретические и практические зависимости вероятности символьной ошибки от отношения сигнал/шум для сигналов ФМ-2 и ФМ-4 в спутниковом радиоканале

Вероятность ошибки на символ	ФМ-2			ФМ-4		
	Среднее ОСШ	Значение ОСШ с учетом проигрыша для диапазона 10 – 14 ГГц	Значение ОСШ с учетом проигрыша для диапазона 30 – 50 ГГц	Среднее ОСШ	Значение ОСШ с учетом проигрыша для диапазона 10 – 14 ГГц	Значение ОСШ с учетом проигрыша для диапазона 30 – 50 ГГц
10^{-1}	2,47	2,4679294	2,391163	5,47	5,465414517	5,29541
10^{-2}	4,43	4,4262863	4,288605	7,43	7,423771456	7,192852
10^{-3}	6,8	6,7942995	6,58296	9,8	9,791784693	9,487207
10^{-4}	8,4	8,3929583	8,131892	11,4	11,39044342	11,03614
10^{-5}	9,6	9,5919523	9,29359	12,6	12,58943746	12,19784
10^{-6}	10,5	10,491197	10,16486	13,5	13,48868299	13,06911
10^{-7}	11,4	11,390443	11,03614	14,4	14,38792853	13,94039
10^{-8}	12,4	12,389605	12,00422	15,4	15,38709023	14,90847
10^{-9}	13,1	13,089018	12,68188	16,4	16,38625193	15,87655
10^{-10}	14	13,988263	13,55315	17,2	17,1855813	16,65102
10^{-11}	14,7	14,687677	14,23081	17,9	17,88499449	17,32867
10^{-12}	15,6	15,586922	15,10208	18,8	18,78424002	18,19995
10^{-13}	16,3	16,286335	15,77974	19,5	19,48365321	18,87761
10^{-14}	17	16,985748	16,4574	20,5	20,48281492	19,84569
10^{-15}	17,7	17,685162	17,13506	21,1	21,08231194	20,42654
10^{-16}	18,5	18,484491	17,90952	22	21,98155747	21,29781

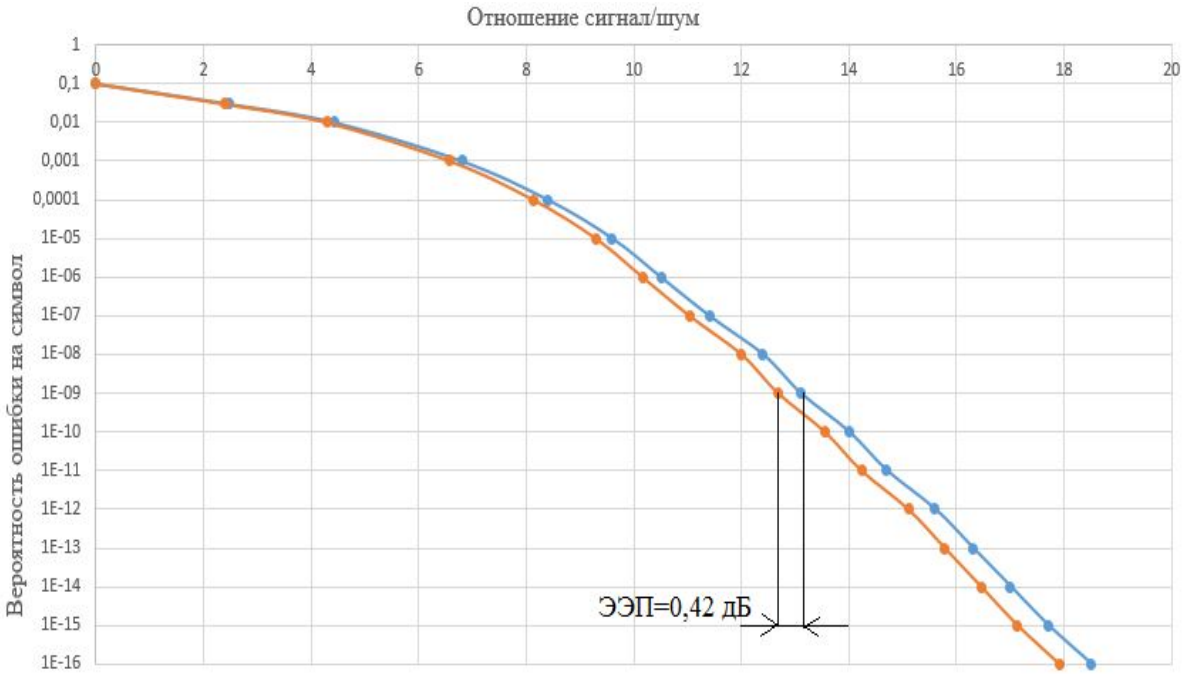


Рис. 2. Зависимости вероятности ошибки от ОСШ для ФМ-2 (идеальная и с учётом проигрыша)

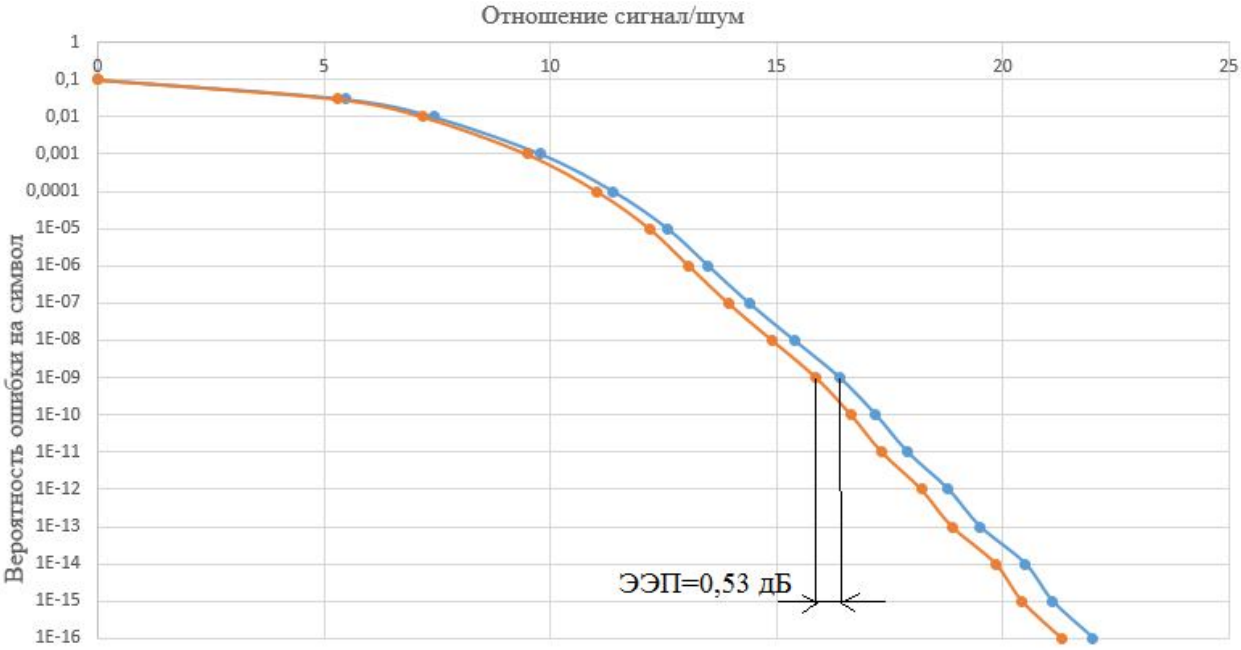


Рис. 3. Зависимости вероятности ошибки от ОСШ для ФМ-4 (идеальная и с учётом проигрыша)

Полученные результаты делают целесообразным проведенное исследование и говорят о необходимости применения средств компенсации амплитудно-частотных искажений в спутниковом радиоканале в диапазоне частот 30 – 50 ГГц.

Список литературы

1. Богомазов А. Ю., Бабанин И. Г., Мухин И. Е. Расчет эквивалентных энергетических потерь в ионосфере при приёме сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией различной позиционности // T-Comm. Электроника и транспорт. – 2014. – Т. 8, №3. – С. 31-35.

2. Бабанин И.Г., Мухин И. Е. Оценка влияния неравномерности амплитудно-частотной характеристики полосового фильтра на эквивалентные энергетические потери в системах связи, использующих сигналы с квадратурной амплитудной модуляцией // Телекоммуникации. – 2012. – № 11. – С. 19-23.

3. Бабанин И.Г., Хотынюк С. С. Способ определения эквивалентных энергетических потерь симметричных фильтров с конечной импульсной характеристикой высокоскоростных систем связи // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – №3. – С. 63 – 70.

4. Лезин Ю. С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. – М.: Советское радио, 1969. – 448 с.

References

1. Bogomazov A.Y., Babanin I.G., Mukhin I.E. Calculation of equivalent energy losses in the ionosphere when receiving signals from the quadrature amplitude modulation of various positional // T-Comm. Electronics and Transportation. – 2014. – Vol.8, №3. – P. 31-35.

2. Babanin I.G., Mukhin I.E. Assessing the impact of non-uniformity of the band-pass filter frequency response equivalent to the energy loss in communication systems using signals from QAM // Telecommunications. – 2012. – № 11. – P. 19-23.

3. Babanin I.G., Hotynyuk S.S. A method of determining the equivalent energy of symmetrical loss of filters with finite impulse response of high-speed communication systems // Proceeding of the Southwest State University. – 2013. – №3. – P. 63 - 70.

4. Lezin S. Optimal filters and drives the pulse signals. – M.: Soviet Radio, 1969. – 448 p.

Получено 08.04.16

I.G. Babanin, Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: babanin_ivan@bk.ru)

D.S. Koptev, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: dmitrii_spartak@mail.ru)

A.Y. Bogomazov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: o-nill@bk.ru)

STUDY OF DESTABILIZING FACTOR IN THE SATELLITE RADIO CHANNELS WHEN RECEPTION OF SIGNALS FROM THE FM-2 AND FM-4

The main trend in the development of modern satellite communication systems - improving noise immunity and data transmission efficiency. Implementation of new methods that provide increasing rates, reducing the impact of interference in the channels, and economical use of bandwidth. It is possible to achieve high levels of information, energy and spectral efficiency.

The solution of these problems contributes to a rational choice of the signals used to transmit information via satellite channels, methods of forming and processing at the reception. In today's satellite systems are widely used signals with phase modulation and coherent detection. In the development of modern telecommunications systems based on satellite communication systems is very important to establish the degree of influence of the amplitude - frequency distortion on the reliability of signal transmission with phase modulation, which are the most useful in such systems because of their high noise immunity. We consider the amplitude - frequency response of satellite radio in the most promising frequency bands 10 - 14 GHz and 30 - 50 GHz. The values of the loss in the signal / noise ratio for each of these ranges. We found the specific values of the equivalent of the energy losses caused by non-uniformity of amplitude - frequency characteristics of satellite radio at a constant symbol error probability of 10-9. The study shows that the unevenness of the considered characteristic of satellite communication systems will grow as the loss of oxygen and water vapor, in the sediments. Values losses Neshumova nature, obtained by analytical modeling are important, suggesting the need for the use of funds for compensation accounting considered destabilizing factor. The most applicable to this task - different types of error-correcting codes.

Key words: *equivalent power losses, phase modulation, satellite radio channel.*

УДК: 681.5.681.3

А. Л. Лисицин, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: diesel007007@rambler.ru)

И. В. Зотов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: zotovigor@yandex.ru)

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В статье рассматриваются особенности автоматизации управления современными сложными системами с использованием систем логического управления и программируемых контроллеров. Развитие экономики ставит новые требования к созданию прикладного ПО. Ограниченная способность к переработке информации у человека стала одной из причин создания автоматических систем управления. Построение сложных автоматизированных систем управления, как правило, достигается повышением степени автоматизации и функционирования благодаря применению новейших технических достижений. Разработка методов и средств управления технологическими процессами и оборудованием идет по пути децентрализации как функций сбора, обработки и хранения данных, так и функций измерения и управления. Этот переход от централизованного к децентрализованному управлению происходит благодаря программируемым контроллерам, которые аппаратно реализуют управляющие функции в технологических системах. В статье подчеркиваются основные проблемы при разработке распределенных систем автоматизированного управления, а также программные системы логического управления как класс реагирующих систем. Повышение сложности реагирующих систем из-за большого количества возможных комбинаций взаимодействий системы и ее окружения повышает риск неверного поведения любого из модулей и по цепочке приводит к неверному поведению всей системы. В статье затрагивается вопрос верификации и валидации данных сложных систем управления на этапе проектирования. Разработчики систем управления включают этап верификации в технологический цикл разработки программных систем. Методы, основанные на модели, позволяют естественно интегрировать все этапы разработки требований.

Ключевые слова: *автоматизация управления сложными системами, системы логического управления, программируемые контроллеры.*

***

Ограниченная способность к переработке информации у человека стала одной из причин создания автоматических систем управления. Например, для управления атомной станцией требуется ежесекундно отслеживать тысячи параметров для принятия нужных управленческих решений. Автоматизация обработки информации для различных процессов управления (экономических, технологических и других) получила широкое развитие начиная с середины прошлого века и на сегодняшний день является одной из самой актуальной тем. Построение современных сложных систем управления требует особого подхода.

Одним из классов систем управления являются системы логического управления (СЛУ). Специфика СЛУ состоит в том, что в них входные X и выходные Z переменные могут принимать только два значения — 0 и 1. Объектами управления (ОУ) для СЛУ являются исполнительные механизмы (ИМ), электродвигатели, краны, рычаги и т. д. Поведение объектов управления должно быть описано перед построением системы. Информация о работе ОУ поступает в СЛУ от сигнализаторов положения, состояния и параметров. Для построения системы должна быть построена схема объекта с указанием всех точек контроля и управления [1].

Построение таких систем осуществляется с применением управляющих автоматов (УА). Проектирование методов программной реализации УА основано на использовании микропроцессорных устройств в системе данного класса. Созданная технология алгоритмизации и

программирования СЛУ базируется на основе этих методов.

Совершенствование методов и средств управления технологическими процессами и оборудованием идет по пути децентрализации как функций сбора, обработки и хранения данных, так и функций измерения и управления. Этот переход от централизованного к децентрализованному управлению происходит благодаря программируемым контроллерам. Программируемые контроллеры, имеющие большой набор стандартных программ, обеспечивают высокую гибкость при создании управления, при разработке алгоритмов их работы. Эти контроллеры аппаратно реализуют управляющие функции в технологических системах. Благодаря развитию коммуникационных способностей ПК стало возможным обмениваться информацией с другими компонентами систем управления.

Это привело к созданию нового класса управляющих систем – распределенных, в которых устройства автоматики становятся интеллектуальными и базируются на сетевых технологиях. Это промышленные компьютеры и модули измерительной и управляющей аппаратуры, а также программные технологии диспетчерского управления и сбора данных – SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [2].

Построение сложных автоматизированных систем управления, как правило, достигается повышением степени автоматизации и функционирования благодаря применению новейших технических достижений. Для этого необходимо построение эффективного человеко-машинного интерфейса.

Разработка распределенных систем автоматизированного управления делает актуальной задачей поиск новых методов, обеспечивающих повышение качества и оперативности процесса диспетчерского управления динамическими объектами, процессами и системами, а также снижение рабочей нагрузки на человека-оператора сложных систем, в особенности в процессе принятия решений.

Развитие экономики ставит новые требования к созданию прикладного ПО, усложняя его и делая невозможным безошибочную наладку конечного информационного продукта для человека. Для выявления ошибок в программах сложных систем используют формальные методы верификации, которые гарантированно помогают избежать ошибок.

Программные СЛУ должны обеспечивать точную работу исполнительных механизмов. Программные СЛУ относятся к классу реагирующих систем [3]. Ошибками таких систем является несанкционированное поведение. Сложность реагирующих систем из-за большого количества возможных комбинаций взаимодействий системы и ее окружения невозможно проанализировать аналитически. Неверное поведение одного из модулей по цепочке приводит к неверному поведению всей системы. Ошибки поведения реагирующих систем трудно обнаружить [4]. Для этого используют верификацию реагирующих систем, которая основывается на методе проверки модели.

Метод проверки модели (model checking) – это формальная верификация формулы (как правило, формулы темпоральной логики, то есть где истинностное значение логических формул зависит от момента времени) на истинность в конкретной структуре. Структура задает формальную модель системы. Формула описывает требование к поведению этой

системы, требование к поведению называют темпоральным. Метод проверяет, выполняется ли требование при всевозможном поведении системы. Если нет, то корректируется поведение системы.

Разработчики систем управления включают этап верификации в технологический цикл разработки программных систем. Современные верификаторы (Spin, STeP и др.) позволяют для больших программных систем управления проверить разные требования к их поведению, выраженные на языке темпоральной логики. Однако проблема в поведении разрабатываемой реагирующей программы остается актуальной. Согласно стандартам IEEE 830-1998 [4], ИСО/МЭК 25010:2011 [6], функциональные требования определяют то, что система должна делать. Разработка требований к поведению программных СЛУ относится к инженерии требований к программам.

Инженерия требований к программам определяет этапы, общие для разработки требований к программам любого типа [5]: формализация требований, составление модели системы; анализ требований, проверка качества самих требований и проверка корректности модели относительно требований; валидация требований (validation), проверка того, соответствует ли построенная спецификация требований представлениям заказчика. Эти этапы взаимосвязаны. Процесс разработки требований итерактивный, поэтому требуется структурировать большой объем слабо систематизированной информации о программе. Методы разработки требований к программам существенно зависят от этапа их выявления: на этом этапе структурируется информация о программе.

Согласно существующим исследованиям [5], [7] на текущий момент наиболее лучшими методами выявления функциональных требований являются целеориентированные методы. Эти методы относятся к классу методов разработки программ, основанных на модели (Model-Driven Approach MDA). Методы, основанные на модели, позволяют естественно интегрировать все этапы разработки требований. К основным целеориентированным методам выявления требований относятся: метод разных взглядов на проблему, метод анализа требований по целям, метод сбора знаний в автоматическую спецификацию [6].

Список литературы

1. Хабаров В.С., Нерода В.Я. Исследование динамики систем автоматического управления с логическими контроллерами // Проблемы машиностроения и автоматизации: международный журнал. – 1998. – №4.

2. Сервер компании SCADA. – URL: http: // www.scada.ru.

3. Manna Z., Pnueli A. The Temporal Logic of Reactive and Concurrent Systems // Specication. Springer. – Verlag, 1991. – P. 443.

4. Lamport L. What good is temporal logic? // Information ProcessingCongress (IFIP). – 1983. – P. 657668.

5. Nuseibeh B., Easterbrook S. Requirements engineering: a roadmap // Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering.ICSE'00. – New York, NY, USA: ACM, 2000. – P. 3546.

6. Лисицин Л. А. Продукционные модели в системах поддержки принятия решений // Современные проблемы высшего профессионального образова-

ния: материалы III Международной научно-методической конференции. – Курск, 2011.– С. 41-44.

7. Николаев В.Н., Дягтерев К.С., Диев О.Г. Информационная система по оперативному учету и управлению средствами передвижения // Наукоемкие технологии. – 2014. – Т. 15, № 12. – С. 21-25.

References

1. Khabarov V. S., Neroda V., J. study of the dynamics of automatic control systems with logic controllers // Problems of mechanical engineering and automation: international journal. – 1998. – N 4.

2. The company's server SCADA: – URL: http: // www.scada.ru.

3. Manna Z., Pnueli A. The Temporal Logic of Reactive and Concurrent Systems // Specication. Springer. – Verlag, 1991. – P. 443.

4. Lamport L. What good is temporal logic? // Information ProcessingCongress (IFIP). – 1983. – P. 657668.

5. Nuseibeh B., Easterbrook S. Requirements engineering: a roadmap // Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering.ICSE'00. – New York, NY, USA: ACM, 2000. – P. 3546.

6. Lisitsyn L. A. Production of the model in systems of support of acceptance of decisions // Modern problems of higher professional education: materials of III International scientific-methodical conference. – Kursk, 2011.– S. 41-44.

7. Nikolaev V. N., Degterev K. S., Diev O. G. Information system for operative accounting and management of movement // High technologies. – 2014. – T. 15, №12. – S. 21-25.

Получено 11.04.16

A. L. Lisitsin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: diesel007007@rambler.ru)

I. V. Zotov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: zotovigor@yandex.ru)

FEATURES AUTOMATE THE MANAGEMENT OF MODERN COMPLEX SYSTEMS WITH THE USE OF LOGIC CONTROL SYSTEMS

The article deals with management automation features of today's complex systems using logic control systems and programmable logic controllers. Economic development raises new requirements for the creation of application software. Limited capacity for information processing in humans was one of the reasons for the creation of automatic control systems. Construction of the complex automated control systems are usually achieved by increasing the degree of automation and operation through the application of the latest technical achievements. Development of methods and tools for process control and equipment is on the way of decentralization as the functions of collecting, processing and storage of data, and measurement and control functions. This transition from a centralized to a decentralized management is due to the programmable controllers that implement hardware control functions in the process systems. The article highlights the main problems in the development of distributed automated control systems as well as software logic control system, as a class of reacting systems. Increasing complexity reactive system because of the large number of possible combinations of interactions of the system and its environment increases the risk of incorrect behavior of any of the modules in the chain leads to incorrect behavior of the entire system. The article addresses the question of verification and validation of complex data management systems at the design stage. control systems developers include the step of verification in the technological cycle of software systems development. Methods based on model allows naturally integrate all stages of development requirements.

Key words: *automated control of complex systems, logical control systems, programmable controllers.*

УДК 004.9

Э.В. Гегерь, д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (e-mail: naser@bkdc.ru)

С.И. Федоренко, аспирант, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (e-mail: segonator@mail.ru)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕЧЕБНЫМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ

Социально-экономические реформы, происходящие в нашей стране, требуют изменения принципов организации здравоохранения, имеющих целью повышение уровня здоровья населения. В связи с этим информатизации здравоохранения как важнейшему направлению модернизации и повышения эффективности управления и качества медицинской помощи уделяется большое внимание. В статье рассматриваются вопросы внедрения информационных технологий в учреждениях здравоохранения. Освещены вопросы сокращения пребывания человека в медицинском учреждении путём введения в эксплуатацию автоматизированных информационных систем. Проведен анализ медицинской информационной системы Брянского клинико-диагностического центра, ее подсистем, функциональных возможностей, описана схема процесса внедрения медицинской информационной системы и выполняемые функции, ее роль в комплексном анализе деятельности лечебного учреждения. Обоснован экономический эффект от внедрения информационных технологий в медицинских учреждениях. Разработан алгоритм оценки эффективности внедрения автоматизированных рабочих мест в лечебных учреждениях. Определены выгоды от внедрения информационных технологий в лечебных учреждениях: информированность руководства; снижение затрат труда на учет; уменьшение потерь от погрешностей учета; повышение точности и оперативности текущих управленческих процедур, повышение управляемости, сохранение позиций на рынке, конкурентоспособность; снижение издержек от ошибок управления; улучшение взаимодействия с партнерами. В статье сделаны выводы о том, что внедрение информационных технологий в медицине позволяет улучшить качество обслуживания пациентов, способствует оказанию медицинской консультации большему количеству пациентов без потери качества, содействует быстроте доступа к архивным данным каждого пациента. Информатизация здравоохранения позволяет выйти на новый, более качественный и перспективный уровень развития медицины.

***Ключевые слова**: информатизация здравоохранения, медицинская информационная система (МИС), эффективность от внедрения информационных технологий в медицине.*

***

Введение

В последнее время информатизации здравоохранения как важнейшему направлению модернизации и повышения эффективности управления и качества медицинской помощи уделяется самое пристальное внимание – не только со стороны практического звена и науки, но и со стороны государства [1, 2, 3].

Эффективность управления лечебными учреждениями возможна посредством новых подходов, через систему информатизации основных направлений деятельности учреждений здравоохранения и труда медицинских работников, путем реорганизации системы управления ресурсами здравоохранения (кадры, финансы, материально-техническая база, лечебно-диагностический процесс, обеспечение лекарственными средствами и изделиями медицинского назначения и др.) на основе системы медицинских информационных технологий [4, 5, 6].

Повышение экономической эффективности лечебного учреждения связано с правильностью организации и построения процессов управления в учреждении. Решение поставленной задачи возможно лишь при правильной интеграции принципов управления с реальным учетом всех оказанных услуг медицинским учреждением на основе современных МИС.

Проблема создания автоматизированных рабочих мест (АРМ) врачей и других медицинских работников в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ) давно уже перешла из плоскости теоретических рассуждений в плоскость прак-

тических действий, издания распорядительных актов, разработки проектно-технической документации по созданию и внедрению конкретных предметно-ориентированных медицинских АРМ как составляющих элементов автоматизированных медицинских информационных систем лечебных учреждений.

Значимую роль в успешном предоставлении медицинских услуг в современном мире имеет сокращение пребывания человека в медицинском учреждении путём введения в эксплуатацию автоматизированных информационных систем, в частности автоматизированной системы просмотра результатов исследований, что существенно сокращает и экономит время пребывания пациента в медицинских учреждениях, оптимизируя работу врачей и регистратуры, играя тем самым большую роль в повышении производительности их труда. При помощи такой системы можно избавиться от выполнения рутинных операций при работе с пациентами (существуют оценки, что только на работу с однотипной документацией персонал тратит до 60% своего рабочего времени) [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Цель исследования

Оценить экономический эффект от внедрения информационных технологий в лечебных учреждениях на примере реально действующей медицинской информационной системы.

Материал и методы исследования

Объектом данного исследования явилась медицинская информационная система (МИС), разработанная и адаптированная в условиях Брянского клинико-диагностического центра (БКДЦ).

Для успешного внедрения информационной системы была создана схема процесса внедрения (рис.).

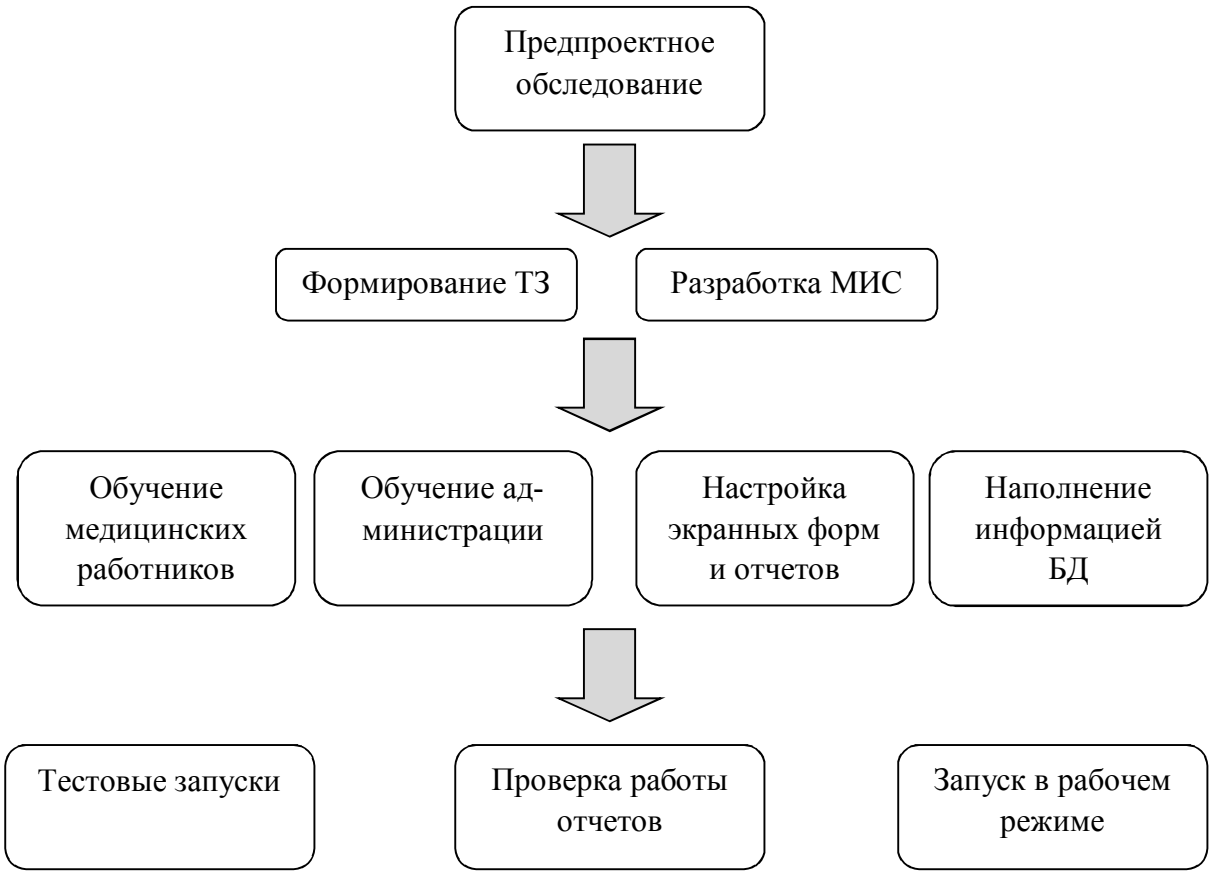


Рис. Процесс внедрения информационной системы

В процессе подготовки и планирования создания информационной системы лечебного учреждения было учтено следующее:

– формирование предварительных требований к программно-техническому решению;

– подготовка технического задания (ТЗ) на информационную систему лечебно-профилактического учреждения;

– подготовка инфраструктуры;

– организационно-кадровые решения, или формирование команды проекта со стороны ЛПУ;

– политико-административные меры и система мотивации персонала к использованию новой технологии;

– расстановка приоритетов внедрения, утверждение этапов и итеративное планирование;

– распределение функций между поставщиком решения и IT-специалистами ЛПУ как для периода внедрения, так и на этапе сопровождения системы.

Успех внедрения информационной системы в Брянском клинико-диагностическом центре обусловлен качеством подготовки и планирования проекта.

В 2000 году в Брянском клинико-диагностическом центре была разработана и внедрена концепция построения единой информационной системы Брянского клинико-диагностического центра «МАИС ДЦ» (сертификат соответствия №12.0001.1200, свидетельство об аттестации ПО №АПП-013-1200). Для разработки программного продукта «МАИС ДЦ» были использованы следующие программы: Borland Delphi 6.0 и Microsoft SQL Server, в частности программные модули SQL Graphical Query Tool и SQL Server Enterprise Manager.

В основе данной системы лежат следующие принципы:

– ведение единой персонифицированной базы данных пациентов, позволяющей оперативно получать объективную информацию в различных аспектах в зависимости от потребностей;

– создание единого информационного пространства – единый справочный аппарат, функционирование в рамках локальной вычислительной сети;

– использование клиент-серверных технологий для разработки программного продукта как программной основы для построения единого информационного пространства;

– поэтапность разработки и внедрения различных модулей программы.

Ядром системы является персонифицированная база данных пациентов, содержащая информацию о пациентах: паспортные данные, социальные группы, место работы и т.д. В результате использования персонифицированной базы стало возможным формирование различных отчетов, затрагивающих различные модули программы.

За счет использования единого справочного аппарата значительно сократился объем вводимой информации, повысилась ее достоверность.

В настоящий момент в Брянском клинико-диагностическом центре функционирует электронная медицинская карта, программный комплекс «МАИС ДЦ» выполняет следующие функции:

– настройку и ведение компьютерных справочников системы, необходимых для ее функционирования (справочники подразделений ЛПУ, справочник медицинских работников, нормативов работы врачей, справочник МКБ и др.);

– ведение персонифицированной базы данных пациентов, при регистрации пациента вводятся паспортные данные пациентов;

– ведение электронной истории болезни пациента;

– автоматическое формирование показателей медицинской статистики;

– учет оказанных медицинских услуг;

– учет и контроль оказанных медицинских услуг по платным и договорным услугам;

– экономический и статистический анализ деятельности БКДЦ;

– учет рабочего времени (табель) сотрудников центра, подсчет отработанных ставок, формирование отчетов о фактически отработанном времени по врачам, специальностям, учреждению за произвольный период;

– АРМы врачей (консультативный прием, УЗ и ФД, цитоморфология, рентгендиагностика, эндоскопия, лабораторные исследования и т.д.);

– автоматизированное управление талонной системой;

– контроль качества оказания медицинских услуг;

– электронные справочники;

– выполнение сервисных функций (резервное копирование и восстановление базы данных);

– ИС «МАИС ДЦ» позволяет управленческому аппарату диагностического центра оперативно получать информацию о различных аспектах деятельности учреждения и своевременно принимать необходимые, обоснованные управленческие решения.

За счет использования комплекса достигается значительная экономия времени при составлении отчетов врачами и заведующими отделениями (годового, при аттестации и переаттестации, проведении каких-либо статистических исследований и т.д.). Отчеты формируются автоматически, практически без больших временных затрат. Выполняется комплексный анализ деятельности БКДЦ в виде широкого набора статистических и аналитических показателей, характеризующих качество и интенсивность работы врача, показатели заболеваемости по обращаемости. Облегчается поиск информации, которую необходимо предоставлять различным инстанциям.

В связи с тем, что отдача от внедрения медицинских информационных технологий (ИТ) в целом складывается из экономии средств по отдельным направлениям их расходования, то оценки достигаемого экономического эффекта могут быть получены путем выявления как можно более полного круга преимуществ, обеспечиваемых информационными системами.

Основной сложностью приложения общего подхода к проектам внедрения информационных технологий в медицине является экономическая оценка их результатов. Существует мнение, что внедрение медицинских информационных технологий, собственно как любых информационных технологий, имеет исключительно затратный характер, а их отдача выражается не стоимостными показателями, а только качественными: повышением качества медицинского обслуживания, облегчением работы медицинского персонала, улучшением здоровья пациентов и т. д. Такое мнение возникло из-за отсутствия не реальной экономической выгоды, обеспечиваемой информационными технологиями, а из-за разработанных методов измерения экономического эффекта.

Экономическая эффективность определяется соотношением затрат и полученного результата; совокупной оценкой, характеризующей основные экономические показатели: выручка ($_{\Delta}B$), прибыль ($_{\Delta}П$), количество услуг (К) [12,13].

Экономический эффект от использования ИТ в медицинском учреждении может оцениваться величиной годовой экономии от снижения затрат на обслуживание одного пациента.

В нашем исследовании была посчитана реальная эффективность от внедрения автоматизированных рабочих мест в медицинских учреждениях на примере Брянского клинико-диагностического центра.

Прирост прибыли за счет снижения себестоимости посещений после внедрения ИТ определялся по следующей формуле:

$$\Delta П = (C_1 - C_2) \times n_2, \quad (1)$$

где C_1 и C_2 – себестоимость (затраты на обслуживание одного посетителя) одного посещения до и после внедрения ИТ, руб;

n_2 – количество посещений после внедрения ИТ за год.

Количество услуг (в данном случае – посещений) определялось путем хронометража с использованием информационной системы и путем ручного ввода информации. Полученные результаты сравнивались.

Выручка оценивалась по следующей формуле:

$$\Delta B = N_{услуг} \times P_{ср}, \quad (2)$$

где $N_{услуг}$ – количество услуг (посещений);

$P_{ср}$ – средняя стоимость услуги.

Результаты исследования

Выгоды от внедрения информационных технологий реальны. В общем случае к первичным выгодам относятся:

– информированность руководства;

– снижение затрат труда на учет;

– уменьшение потерь от погрешностей учета;

– повышение точности и оперативности текущих управленческих процедур.

К вторичным выгодам относятся:

– повышение управляемости, сохранение позиций на рынке, конкурентоспособность;

– снижение издержек от ошибок управления; улучшение взаимодействия с партнерами.

В результате проведенного исследования было доказано, что автоматизация рабочих мест в лечебных учреждениях позволит получить годовую экономию в сумме 48 тыс.руб. на одно рабочее место. Затраты на внедрение автоматизированных рабочих мест окупятся в течение 7-8 месяцев. Производительность труда медицинских работников возрастет в среднем на 14%, что позволит увеличить количество принятых пациентов врачом на 2 человека в день.

Это подтверждает экономический эффект от внедрения информационных технологий в медицинских учреждениях.

Заключение

Перспективные инновации и конкурентоспособные промышленные решения и технологии являются составной частью такой новой области экономики, как инновационная экономика [14]. Информационные технологии в медицине – один из способов и конкретных путей перехода к инновационной экономике. Доказано, что внедрение информационных технологий в работу лечебных учреждений (на примере Брянского клинико-диагностического центра) позволит повысить производительность труда медицинских работников.

Внедрение информационных технологий в медицине позволяет улучшить качество обслуживания пациентов, способствует оказанию медицинской консультации большему количеству пациентов без потери качества, содействует быстроте доступа к архивным данным каждого пациента. Информатизация здравоохранения позволяет выйти на но-

вый, более качественный и перспективный уровень развития медицины.

Список литературы

1. Гусев А.В. Информационные технологии в медицине. – М.: Радиотехника, 2012.

2. Гусев А.В. Рынок медицинских информационных систем: обзор, изменения, тренды // Врач и информационные технологии. – 2012. – №3. – С. 6-15.

3. Гегерь Э.В. Эффективность использования информационных технологий в медицине на примере Брянского клинико-диагностического центра // Фундаментальные исследования. – 2014. – №11. – С.1679–1682.

4. Гегерь Э.В. Информационные технологии в управлении качеством оказания медицинской помощи // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – №2. – Ч. 1. – С.9-12.

5. Виленский П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. – 3-е изд. – М.: Дело, 2008. – 888 с.

6. Вялков А.И. Управление и экономика здравоохранения. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 215 с.

7. Борейко А.А., Орлинский Д.Б. Особенности автоматизации сети медицинских организаций – проблемы и решения // Главный врач: хозяйство и право. – 2008. – №5. – С. 38 – 41.

8. Куракова Н.А. Информатизации здравоохранения как инструмент создания «саморегулируемой системы организации медицинской помощи»// Врач и информационные технологии. – 2009. – №2. – С. 82.

9. Провалов В.С. Информационные технологии управления: учебное пособие. – М.: Флинта: МПСИ, 2008. – 373 с.

10. Скрипкин К.Г. Экономическая эффективность информационных систем. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 256 с.

11. Ellingsen E., Monteiro E. Big Is Beautiful. Electronic Patient Records in Norway 1980-2000 // Methods of Information in Medicine. – 2003. – Vol. 42. – P. 114-172.

12. Girosi F., Meili R., Scoville R. Extrapolating evidence of health information technology savings and costs. – Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, 2005. – 345 p.

13. A Cost-Benefit Analysis of Electronic Medical Records in Primary Care / S. Wang [et al.] // The American Journal of Medicine. – 2003. – Vol. 114.

14. Абрамова Т.А. Концептуальное моделирование системы мониторинга, анализа и прогнозирования приоритетных направлений науки и технологий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – №3 (16). – С.11-18.

References

1. Gusev A.V. The Information technologies in medicine. M.: Radiotechnic, 2012.

2. Gusev A.V. Market of medical information systems: review, changes, trends // Doctor and information technology. – 2012. – N 3. – P. 6-15.

3. Geger E.V. Efficiency of use of information technologies in medicine on the example of Bryansk clinical and diagnostic center // Fundamental research, 2014. – №11. – P. 1679 - 1682.

4. Geger E.V. Information technologies in quality control of delivery of medical care // Modern high technologies. – 2016. – № 2. – Part 1. – S. 9-12.

5. Vilensky P.L. Estimation of efficiency of investment projects. Theory and practice. – 3-d issue. – M.: Delo, 2008. – 888 S.

6. Vyalkov A.I. Management and Economics of public health service. – M.: GEOTAR-Media, 2009. – 215 p.

7. Boreiko A.A., Orlinsky D.B. Peculiarities of automation network of medical institutions: problems and solutions // Chief physician: economy and law. – 2008. – N 5. – P. 38 – 41.

8. Kurakova N.A. Healthcare Informatization as a tool of creation of "self-regulating system of medical care"// Doctor and information technology. – 2009. – N 2. P. 82.

9. Provalov V.S. Information technology for management: a training manual. – M.: Flinta: MPSI, 2008. – 373 p.

10. Skripkin K.G. Economic efficiency of information systems. – M.: DMK Press, 2002. – 256 p.

11. Ellingsen E., Monteiro E. Big Is Beautiful. Electronic Patient Records in Norway 1980-2000 // Methods of Information in Medicine. – 2003. – Vol. 42. – P. 114-172.

12. Girosi F., Meili R., Scoville R. Extrapolating evidence of health information technology savings and costs. – Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, 2005. – 345 p.

13. A Cost-Benefit Analysis of Electronic Medical Records in Primary Care / S. Wang [et al.] // The American Journal of Medicine. – 2003. – Vol. 114.

14. Abramova T. A. Conceptual modeling of the system of monitoring, analysis and forecasting of the priority directions of science and technology // Proceedings of the Southwest State University. Seryes: Management, computer facilities, Computer science. Medical instrument making. – 2015. – N 3 (16). – P. 11-18.

Получено 12.04.16

E.V. Geger, Doctor of Biological Sciences, Bryansk State Engineering and Technological University (e-mail: naser@bkdc.ru)

S.I. Fedorenko, Post-Graduate Student, Bryansk State Engineering and Technological University (e-mail: segonator@mail.ru)

INFORMATION SYSTEMS AS MEANS OF CONTROL AUGMENTATION OF MEDICAL TREATMENT FACILITY

Social-economic reforms taking place in our country require changes of the principles of health organization, with the aim of improving the population health. In this context, healthcare informational support is paid much attention to as the major direction of modernization and improvement of management efficiency and the quality of medical care. The article considers the questions of practical implementation of information technology in health care institutions. The questions of reducing length of stay in a medical facility by the introduction of automated information systems are covered. The analysis of the medical information system of the Bryansk clinical diagnostic center, its subsystems and functionality is carried out, the scheme of process of introduction of medical information system and the carried-out functions, its role in the complex analysis of activity of medical institution is described. Economic effect of implementation of information technologies in medical institutions is proved. The algorithm of estimation of efficiency of introduction of workstations in hospitals is worked out. The benefits from the introduction of information technology in hospitals: knowledge management; reduced labor costs on the account; the reduction of losses from accounting errors; increasing accuracy and efficiency of the current management procedures, improve manageability, preservation of market positions, competitiveness; reducing the costs of operating errors; improving collaboration with partners. The article concludes that the introduction of information technologies in medicine can improve the quality of patient care, promote medical consultations to more patients without sacrificing quality, contributes to the speed of access to archived data for each patient. Healthcare informational support allows to leave on new, better and more promising level of development of medicine.

Key words: *informational support of the public health service, medical information system, the efficiency of practical implementation of information technology in medicine.*

УДК 681.3

А.В. Картамышев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ak-1802@mail.ru)

ПОИСК НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Вычислительные машины работают во всех сферах деятельности человека. Получение данных занимает миллисекунды, а объем измеряется в петабайтах. Для таких нагрузок необходимы мощные мультипроцессорные системы и сверхбыстрые коммуникативные интерфейсы, но есть системы, в которых от скорости реагирования на запрос может зависеть человеческая жизнь — это критические системы. Такие типы систем применяются в области энергетики, авиации, медицины и т. д.

Критические системы характеризуются высоким коэффициентом минимизации планового и непланового времени простоя, при этом обеспечивают быстрое восстановление после обнаружения неисправности, для чего используются избыточные аппаратные и программные средства.

Существуют две основные проблемы при построении систем, связанные с обработкой данных, обслуживанием телекоммуникаций, обеспечение высокой производительности и продолжительного функционирования систем. Для обеспечения высокого уровня производительности необходимо применение параллельной масштабируемой архитектуры.

Задачу обеспечения функционирования системы можно разбить на три подзадачи: надежность, готовность и удобство обслуживания. Все три подзадачи направлены на устранение неисправности системы, что вызвано отказами и сбоями в работе. Применение параллельной масштабируемой архитектуры приводит к усложнению всех алгоритмов управления, следовательно, необходимо создание специализированного программного и аппаратного обеспечения для решения таких актуальных проблем.

При разработке методов и алгоритмов приоритетными направлениями являются системы высокой готовности, которые характеризуются повышенными требованиями, связанными с отказоустойчивостью и быстродействием. При обработке данных в подобных системах необходимо обеспечение высокой производительности и продолжительного функционирования системы. Для решения данной задачи необходимо применение параллельной масштабируемой архитектуры и специализированных программно-аппаратных средств. При построении мультипроцессорных систем программное моделирование показывает необходимость в аппаратных средствах и выявляет задержки при обработке информации.

Ключевые слова: *теория расписаний, хост-процессор, мультипроцессорные системы, параллельная обработка, системы высокой готовности.*

***

В системах высокой готовности возникает необходимость программного моделирования всей системы для подбора необходимых аппаратных средств для последующего построения, поэтому требуется аппаратная реализация различных алгоритмов, направленных на оптимизацию обработки данных [1], что в последующих исследованиях планируется провести для реализации данной методики.

Методы распараллеливания последовательных участков команд в операциях (циклах, условиях) [2,3], а также устройства, построенные на этих методах, не учитывают архитектуру мультипроцессорной системы, а именно не привязаны к количеству процессоров. Это приводит к увеличению нагрузки на хост-процессор и на систему, так как также не учитываются приоритеты задач. Данная статья является продолжением работы [4].

Применение постобработки данных после распараллеливания линейных участков программ позволяет распределить нагрузку на процессоры, а также адаптировать работу системы при изменении количества процессоров, что влияет на отказоустойчивость [5].

Введём понятие яруса и ветви. Br – множество ветвей параллельного вида программы; Yar – множество ярусов параллельного вида программы. Для операторов ветвями будем называть не имеющие пересечений подмножества $Br = \{br_1, br_2, ..., br_D\}$ операторов участка $U_i (Br \in U_i, D \in [1, N])$ (N – количество

строк последовательной исходной программы), сформированные в процессе распараллеливания, предназначенные для последовательного выполнения. Ярусами будем называть не имеющие пересечений подмножества $Yar = \{Yar_1, Yar_1, ..., Yar_C\}$ операторов внутри участка U_i программы $(Yar \in U_i, C \in [1, N])$, сформированные в процессе распараллеливания, предназначенные для параллельного выполнения. Получается граф YB, состоящий из *m*-х ярусов и *n*-х ветвей, представленный на рисунке 1.

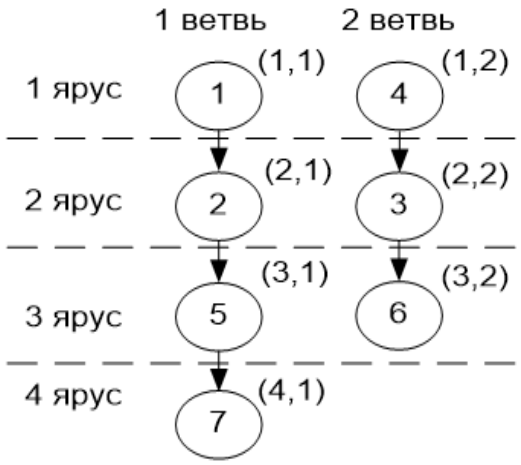


Рис. 1. Граф, допускающий параллельное выполнение операторов

Как видно на рисунке 1, для обработки алгоритма удобно использовать два процессора. Сначала параллельно выполняются операторы 1 и 4, затем 2 и 3, после этого 5 и 6, а последним выполняется оператор 7. В этом случае к моменту выполнения любого из операторов необходимые данные будут вычислены. При этом будет исключена возможность одновременной записи данных в одну ячейку памяти, а также вероятность одновременного инициирования операций записи и чтения данных из какой-либо ячейки.

Задача построения расписания выполнения работ проекта с учетов отношений предшествования и ограничения на ресурсы (Resource-Constrained Project Scheduling Problem. RCPSP).

Проект – совокупность взаимосвязанных действий, направленных на достижение конкретных целей. В нашем случае это загрузка процессоров, ограниченных связностью данных (работ).

Алгоритм распределения основан на методе RCPSP теории расписаний [6,7], пример которого изображён на рисунке 2.

Рассмотрим постановку задачи RCPSP в нашем случае/

Дано множество задач $\{G_{nm}\} = \{1, \ldots, \mathrm{n}\}$ и P возобновляемых ресурсов (процессоров), где $k = 1, \ldots, P$. В каждый момент времени *t* доступно P_k единиц ресурса *k*.

Заданы продолжительности обслуживания $d_i \geq 0$ для каждой задачи $i = 1, \ldots, n$. Во время обработки задачи *i* требуется $q_{ik} \leq P_k$ единиц ресурса $k = 1, \ldots, P$. После завершения обработки всех задач освобожденные процессоры в полном объеме могут быть мгновенно назначены на обработку других задач.

Между некоторыми парами задач заданы ограничения предшествования: $i \rightarrow j$ означает, что обработка задачи *j* начинается не раньше окончания обработки задачи *i* на ветви Br.

Обработка задачи начинается в момент времени *t* = 0. Прерывание при обработке задачи запрещены.

Необходимо определить моменты времени начала обработки задач $S_i, i = 1, ..., n$ так, чтобы минимизировать время выполнения всего алгоритма, т.е. минимизировать значение $C_{\max} = \max\limits_{i=1,...,n} \{C_i\}$, где $C_i = S_i + d_i$. При этом должны быть соблюдены следующие ограничения:

1) в каждый момент времени $t \in [0, \mathrm{C}_{\max})$ должно выполняться

$\sum_{i:=1}^{n} g_{ik}\varphi_i(\mathrm{t}) \le P_k, \mathrm{k} = 1,...,P$, где $\varphi_i(\mathrm{t}) = 1$, если задача i обрабатывается в момент времени t, и $\varphi_i(\mathrm{t}) = 0$ – в противном случае, то есть задача в процессе своей обработки должны быть полностью обеспечены процессорами P;

2) не нарушаются отношения предшествования между задачами, т.е.

$S_i + d_i \le S_j$, если i → j для i, $j \in G$.

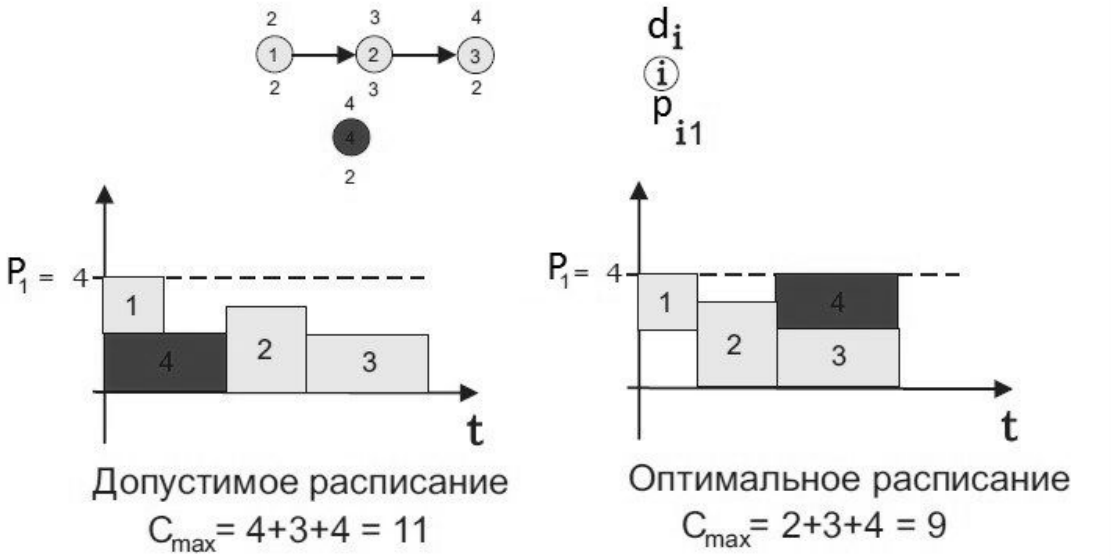


Рис. 2. Пример задачи составления оптимального расписания

Распараллеливание происходит для каждого яруса Yar, поэтому зависимость от Br не так сильно влияет на скорость распараллеливания.

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Получить граф YB.

2. Преобразовать граф YB в множество $\{G_{nm}\}$.

3. Разбить $\{G_{nm}\}$ построчно на подмножества $\{S_{so}\}$.

4. Отсортировать операции подмножества $\{S_{so}\}$ по уменьшению t_{ij}.

5. Разбить подмножества $\{S_{so}\}$ на $\{S^k{}_{so}\}$, где $k = 1...m$, m ограничено количеством реальных процессоров.

6. Устанавливаем соответствие операции определенному процессору с помощью подмножества $\{S^k{}_{p_i}\}, k = 1...m$.

7. На каждом временном отрезке множество $\{S_{so}\}$ сортируется по возрастанию t_{ij}.

8. Как только время $t = 0$ процессора m, то загружается операция подмножества $\{S^k{}_{p_i}\}$.

9. Запишем в множество $\{G'_{nm}\}$ новый результат.

10. Операции с 5-го по 9-го пока в подмножестве $\{S_{so}\}$ полностью не будут пустыми, тогда составление расписания будет завершено.

Множество $\{G_{nm}\}$ – это входящая матрица уникальных команд, состоящих из Yar и Br подмножества $\{S_{so}\}$, состоит из яруса $\mathrm{Yar_i}$, t_{ij} – плановый срок (момент времени, к которому i-я работа должна быть выполнена); $\{S^k{}_{so}\}$ – это множество $\{S_{so}\}$, ограниченное количе-

ством процессоров $\{P\}$; подмножество $\{S^k{}_{p_i}\}$ необходимо, чтобы установить расписание команд для определенного процессора; $\{G'_{nm}\}$ – это модифицированное подмножество $\{G_{nm}\}$ с полным расписанием.

Исследования проходили при исходных данных *Y*ar = {1…20} и *Br* = {1…20}. Для моделирования длительности операций выбраны параметры t={1…16}, которые присваиваются произвольно.

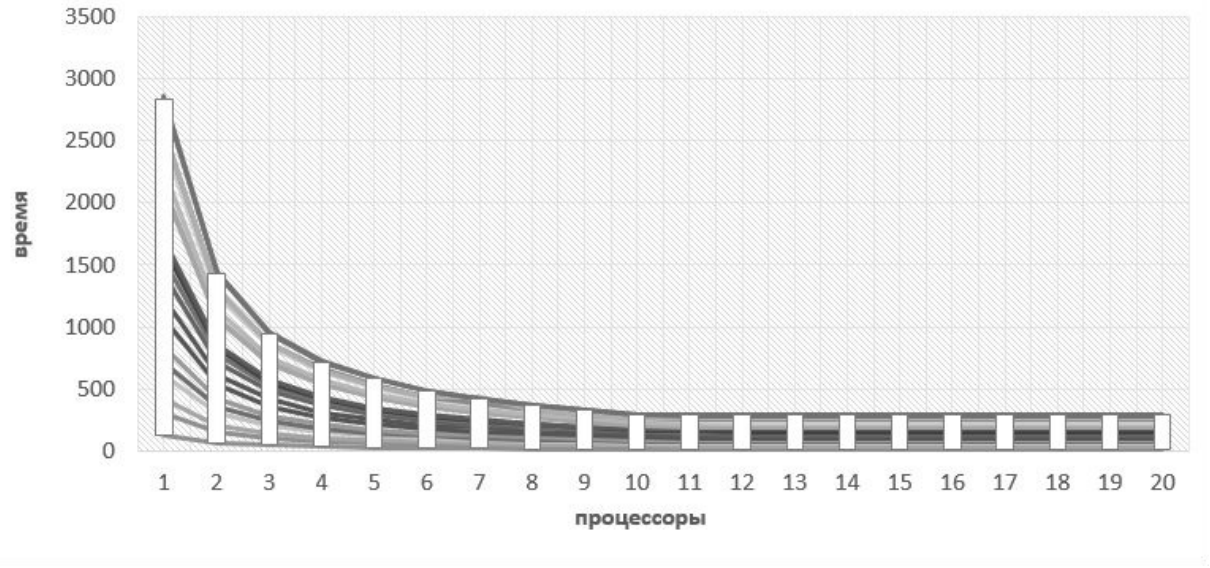


Рис. 3. График загрузки процессоров

На рисунке 3 изображен график, показывающий, как меняется время $d = \sum_{i=1}^{n} t_i$. При анализе данного графика видно, что больший показатель изменения d =[2; 4] процессора, уменьшение времени в 5 раз, по сравнению с первым столбцом, который показывает время последовательной обработки данных. Если посмотреть на активность 10-го и последующего процессоров, видно, что наступает равновесие во времени и дальнейшее увеличение процессоров не влияет на общую производительность, что доказывает на практике закон Амдала [8], который при исследовании подобных проблем принимал, что объем решаемой задачи с адаптированным к числу процессоров в системе, выделенных для её решения, остается неизменным.

Программный код решаемой задачи состоит из двух частей: последовательной и распараллеливаемой. Доля операций, которые должны выполняться последовательно, обозначена *f*, где $0 \le f \le 1$, а доля, приходящаяся для распараллеливания, обозначается $1 - f$. В исключительных случаях *f*=0, если задачи полностью распараллелены, или *f*=1, если данные полностью последовательны. Распараллеливаемая часть программы равномерно распределяется по всем процессорам.

С учетом этого имеем

$$I_p = f \times I_s + \frac{(1-f)\times \mathrm{I}_s}{n}. \qquad (1)$$

В результате (1) получаем формулировку Амдала, выражающую ускорение, которое может быть достигнуто из *n* процессоров:

$$S = \frac{T_s}{T_p} = \frac{n}{1+(\mathrm{n}-1)\times f}. \qquad (2)$$

Формула (2) выражает простую зависимость, обладающую большой общностью, если число процессоров стремится к бесконечности:

$$\lim_{n\to\infty} s = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Формула (3) означает, что если в программе 10 % последовательных операций (f=0,1), то сколько бы ни было процессоров, ускорения программы в 10 раз и более не получить, да и 10 – это предел теоретической оценки.

Можно сделать вывод, что распараллеливание ведет к определенным издержкам, в частности к дополнительным операциям, связанным с распределением задач по процессорам, поэтому поиск подобных точек смог бы оптимально загрузить систему и освободить ресурсы для других задач.

Представленный на рисунке 4 график демонстрирует необходимое и достаточное количество процессоров для обработки определенного количества информации. При изменении количества команд с 10 до 500 увеличение количества процессоров возрастает примерно в 6 раз, что является фактором быстродействия при оптимальной загрузке.

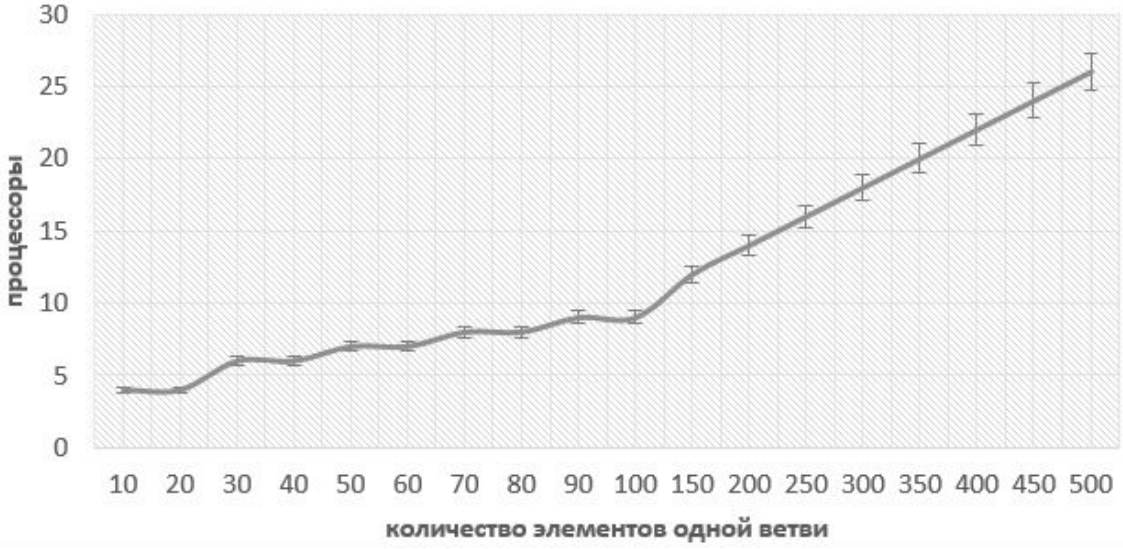


Рис. 4. График влияния элементов одной ветви на количество процессоров

Задача поиска необходимого и достаточного количества процессоров для обработки информации состоит в оптимизации загрузки процессоров на 70-80%. Также данное исследование и метод возможно использовать для подобных процессоров мультипроцессорной системы высокой готовности. Ресурсы хост-процессора можно использовать для поиска оптимального количества процессоров, необходимых для обработки информации, и при построении расписания исходя из ограниченности ресурсов.

Основываясь на анализе проблемной области [2, 3, 4, 5], можно сделать вывод, что задача оптимизации и ускорения работы процессоров в критических системах актуальна. Для решения задачи планирования загрузки процессоров в мультипроцессорной системе разработанные в дальнейшем алгоритмы могут быть взяты за основу при построении специализированного вычислительного устройства, которое позволит с помощью данного алгоритма оптимизировать не только общее время исполнения, но и подобрать необходимое количество процессоров для максимальной нагрузки.

Список литературы

1. Воеводин В.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 608 с.

2. Дюбрюкс С.А., Борзов Д.Б. Метод выявления параллелизма внутри линейных участков последовательных программ и его аппаратная реализация // Известия вузов. Приборостроение. – 2008. – Т.2. – С. 34–38.

3. Ткачев П.Ю., Борзов Д.Б. Метод и алгоритм линейных участков внутри циклов с последующим распараллеливанием // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – №5. – С. 16-21.

4. Картамышев А.В, Борзов Д.Б. Метод и алгоритм загрузки процессоров в мультипроцессорных системах при параллельной обработке данных // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – №4. – С. 8-12.

5. Бабаян Б.А., Бочаров А.В. Многопроцессорные ЭВМ и методы их проектирования / под ред. Ю.М. Смирнова. – М.: Высш.шк., 1990. – 142 с.

6. Танаев В.С., Ковалев М.Я. Теория расписаний. Групповые технологии. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1998. – 290 с.

7. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний задачи и алгоритмы. – М., 2011. – С.31-32.

8. Антонов А. Под законом Амдала (рус.) // Компьютерра. – 2002. – №430. – 123 р.

References

1. Voevodin V.V. Parallel computing. – Peterburg: BHV, 2002. – 608 p.

2. Djubrjuks S.A., Borzov D.B. A method for identifying parallelism in a sequential linear sections of the software and its hardware implementation // Izvestija vuzov. Priborostroenie. – 2008. – Vol.2. – P. 34-38.

3. Tkachev P.Ju., Borzov D.B. The method and algorithm of linear sections inside loops with subsequent parallelization // Proceeding of the Southwest State University. – 2015. – N 5. – P. 16-21.

4. Kartamyshev A.V, Borzov D.B. Method and algorithm of processor utilization in multiprocessor systems with parallel data processing // Proceeding of the Southwest State University. – 2015. – N 4. – P. 8-12.

5. Babajan B.A., Bocharov A.V. Multiprocessor computers and design techniques. – Moscow, 1990. – 142 p.

6. Tanaev V.S., Kovalev M.Ja. Theory schedules. Group technologies. – Minsk: Institut tehnicheskoj kibernetiki NAN Belarusi, 1998. – 290 s.

7. Lazarev A.A., Gafarov E.R. Theory of scheduling problems and algorithms. – Moscow, 2011. – P.31-32.

8. Antonov A. Under Amdahl's law, No.430 // Komp'juterra. – 2002. – N 430. – 123 p.

Получено 18.04.16

A.V. Kartamyshev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: ak-1802@mail.ru)

SEARCH THE NECESSARY NUMBER OF PROCESSORS FOR OPTIMAL PROCESSING OF DATA IN MULTIPROCESSOR SYSTEMS

Computing machines operate in all spheres of human activity. Getting data takes milliseconds, and the volume is measured in petabytes. For these loads required a powerful multiprocessor system and ultra-fast communication interfaces, but there is a system in which the speed of the response to the query may depend human life is a critical system. These types of systems are used in energy, aviation, medicine, etc.

Critical systems are characterized by high coefficient minimizing planned and unplanned downtime, ensures quick recovery after detection of a fault using redundant hardware and software.

There are two main challenges in constructing systems related to data processing, telecommunications services, ensuring high performance and continuous functioning of systems. To ensure a high level of productivity requires the application of parallel and scalable architecture.

The task of ensuring the functioning of the system can be divided into three subtasks: reliability, availability and serviceability. All three subtasks aimed at addressing system failures caused by failures and malfunctions. The use of scalable parallel architecture leads to complication of all of the control algorithms, therefore, it is necessary to create specialized hardware and software to solve these pressing problems.

In the development of methods and algorithms for priority are high-availability systems, which are characterized by higher requirements related to fault tolerance and performance. When processing data in such systems, it is necessary to ensure high performance and long-lasting functioning of the system. To solve this problem it is necessary to use a highly parallel and scalable architectures and specialized hardware and software tools. When building multiprocessor systems software modeling demonstrates the need in the hardware or detects a delay in the processing of information.

Key words: *theory of scheduling, host processor, multiprocessor system, parallel processing, high availability systems*

УДК 681.3

Э.И. Ватутин, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: evatutin@rambler.ru)

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

ОСОБЕННОСТИ МЕТАОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ В ЗАДАЧЕ ПОИСКА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ В ГРАФЕ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПЛОТНОСТЬ ГРАФА

Приведено подробное описание стратегии использования метода пчелиной колонии в задаче поиска кратчайшего пути в графе в качестве тестовой задачи с возможностью сопоставления качества решений с оптимальными решениями, получаемыми с использованием алгоритма Дейкстры. Метод базируется на использовании агентов двух типов: пчел-разведчиков, выполняющих случайную разведку пространства параметров, и рабочих пчел, уточняющих данные пчел-разведчиков в пределах заданного радиуса разведки. Приведены результаты метаоптимизации, рекомендуемые значения настроечных параметров (вероятности использования различных модифицирующих операций, соотношение рабочих пчел и пчел-разведчиков, радиус разведки, число итераций, объем колонии) и сопоставление качества решений с известными эвристическими методами решения задач дискретной комбинаторной оптимизации (методы случайного и взвешенного случайного перебора, метод муравьиной колонии, метод имитации отжига, генетический (эволюционный) метод) по критериям средневыборочного качества решений и вероятности получения оптимального решения для выборок случайных графов объемом 1000 тестовых примеров. Показано, что метод пчелиной колонии требует различных оптимальных значений настроечных параметров в зависимости от размерности решаемой задачи (числа вершин графа N) и плотности графа d, что является недостатком и вынуждает выполнять метаоптимизацию непосредственно перед поиском решений, что, в свою очередь, повышает необходимые вычислительные затраты как минимум на 1–2 порядка. Показано, что даже после тонкой настройки параметров метод пчелиной колонии в рассматриваемой задаче зачастую уступает таким методам, как взвешенный случайный перебор, метод муравьиной колонии и генетический (эволюционный) метод.

Ключевые слова: *поиск путей в графе, дискретная комбинаторная оптимизация, эвристические методы, метод пчелиной колонии, метаоптимизация.*

***

Существует достаточно большое количество практически важных задач из области дискретной комбинаторной оптимизации и различных смежных разделов математики, таких как исследование операций, теория графов, теория расписаний и пр., которые относятся к классу *NP* и не допускают отыскание оптимальных за приемлемое время для случаев практически важной размерности [1]. Для их решения на практике с успехом применяется ряд методов, именуемых эври-

стическими, которые не гарантируют получение оптимальных решений, однако обеспечивают получение суб- или квазиоптимальных решений неплохого качества с приемлемыми затратами вычислительного времени. К ним относятся жадные подходы [2–9], вариации методов полного перебора с различными ограничениями (по стратегии ветвей и границ [10], с ограничением на глубину анализа дерева комбинаторного перебора [11] или на число комбинаторных возвратов [12]), методы случайного перебора [13–14] и их модификации [15], генетические и эволюционные методы [16–20], метод имитации отжига [21–22].

Относительно новым направлением в исследованиях, зародившимся в 1990-х – 2000-х годах в работах М. Дориго (M. Dorigo), Д. Карабога (D. Karaboga), Д. Фам (D. Pham) и др., является построение так называемых биоинспирированных методов, в основу которых положены подмеченные у природы принципы организации мультиагентных систем, к которым большинство ученых относят принципы, положенные в основу функционирования муравьиной [23–25] и пчелиной колонии [26–27]. Они представляют собой коллектив достаточно простых агентов (муравьев и пчел соответственно в природе или их электронных аналогов на компьютере), каждый из которых в отдельности является достаточно примитивным и действует по установленным сравнительно простым правилам, однако в совокупности в составе соответствующей колонии они способны решать нетривиальные задачи, в природе обычно связанные с нахождением кратчайших путей к подходящему источнику пищи.

При решении оптимизационных задач в рамках данных подходов количество или доступность пищи заменяется некоторой целевой функцией $f(X)$, для которой необходимо отыскание экстремума (обычно $f(X) \to \min$) в соответствии с заданными ограничениями в рамках решаемой задачи путем отыскания соответствующего вектора значений параметров $X^* = \arg\min_{X \in \Re} f(X)$, где $\Re$ – множество допустимых решений, такого что $f^* = f(X^*) \to \min$.

В данной работе рассмотрена возможность и особенности применения алгоритма пчелиной колонии в задаче поиска кратчайших путей в графе в соотнесении с качеством решений, получаемых другими эвристическими методами, перечень которых кратко рассмотрен выше. Данная задача достаточно просто формулируется в терминах теории графов и может быть решена за полиномиальное время $O(N^2)$ с использованием широко известного алгоритма Дейкстры [28], что позволяет достаточно простое отыскание как ее оптимального, так и субоптимальных решений, что в свою очередь позволяет оценить потенциал различных эвристических методов и сформулировать рекомендации об их преимущественной применимости на практике в указанных условиях использования.

Указанная задача поиска кратчайшего пути в графе формулируется следующем образом: в заданном графе $G = \langle A, V \rangle$, где $A = \{a_1, a_2, ..., a_N\}$ – множество вершин, $V = \{v_1, v_2, ..., v_M\} \subseteq A \times A$ – множество дуг, взвешенных значением длины $l(v_i) = l(a_{i_{нач}}, a_{i_{кон}})$, $N = |A|$ – число вершин, $M = |V|$ – число дуг, $d = \dfrac{M}{N(N-1)}$ – плотность графа, необходимо найти кратчайший путь $P^* = [a_{i_1} = a_{нач}, a_{i_2}, a_{i_3}, ..., a_{i_Q} = a_{кон}]$ между заданной парой вершин

$\{a_{нач}, a_{кон}\} \in A$, именуемых начальной и конечной, такой что

$$L^* = L\left(P^*\right) = \sum_{j=1}^{Q\left(P^*\right)-1} l\left(a_{i_j}, a_{i_{j+1}}\right) \to \min .$$

Основной целью работы пчелиной колонии в природе является разведка окружающего улей пространства на предмет обнаружения мест расположения максимального количества нектара с последующим его сбором. Для этого в составе колонии существуют различные типы пчел: пчелы-разведчики и рабочие пчелы-фуражиры (в реальном улье существуют и другие типы пчел, такие как трутни или матка, однако в контексте поставленной задачи они не находят применения и поэтому не рассматриваются). Разведчики ведут исследование окружающего улей пространства и сообщают информацию о перспективных местах, в которых было обнаружено наибольшее количество нектара (для обмена информацией в биологическом улье существует специальный хитроумный механизм, именуемый танцем пчелы). Далее по наиболее перспективным из указанных разведчиками направлениям производится вылет рабочих пчел, которые занимаются сбором нектара, попутно проводя уточнение информации разведчиков о количестве нектара в некоторой окрестности от указанной разведчиком области.

Между указанными типами пчел в улье поддерживается определенное соотношение (например, пять рабочих пчел на одного разведчика), оптимальное значение которого, по-видимому, было найдено в ходе эволюции, что позволяет организовать эффективную работу улья в целом (рис. 1).

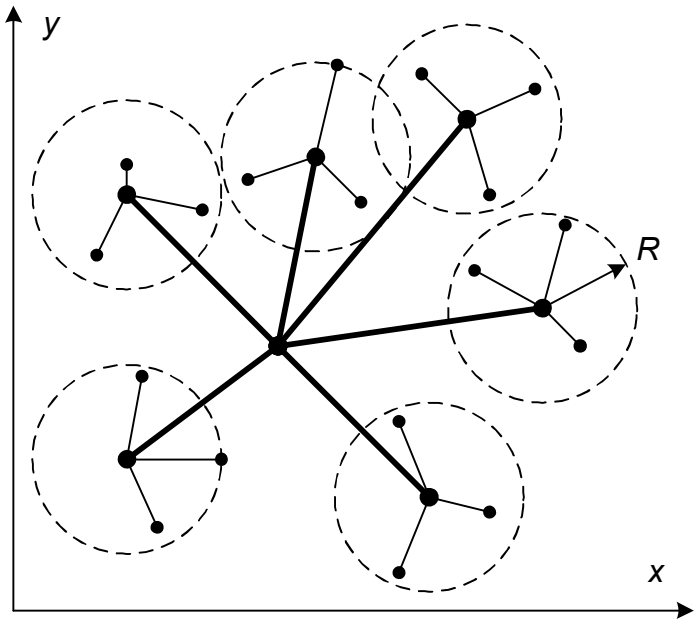


Рис. 1. Схематичное изображение поведения пчелиной колонии на двумерной плоскости. Колония представлена разведчиками (траектории движения от условного начального положения колонии показаны жирными линиями) и рабочими пчелами-фуражирами (траектории движения показаны тонкими линиями от мест, указанных разведчиками) в соотношении 1:3, радиус действия пчел-фуражиров *R* показан штриховкой

Указанные социальные роли агентов могут быть использованы при решении оптимизационных задач, что и было предложено в работах [26–27]. При этом при решении задач дискретной комбинаторной оптимизации роль разведчика трансформируется в проведение разведки пространства допустимых решений $\Re$, с выбором одной из его точек $X_i \in \Re$, в которой целевая функция имеет некоторое значение $f(X_i)$. Данный выбор в простейшем случае может быть реализован с использованием метода случайного перебора, хотя возможны и более сложные стратегии [29]. С учетом невозможности хранения информации о всех путях (в указанной задаче $|\Re| \simeq O(N!)$) в электронном аналоге улья сохраняется информация о V лучших местах $S = \{X_1, X_2, ..., X_V\} \subseteq \Re$, которые характеризуются наилучшими значениями целевой функции $f(X_1) \le f(X_2) \le ... \le f(X_V)$ (что в достаточной степени схоже с ограничением на объем популяции при использовании генетических подходов [16], однако в данном случае величина V скорее характеризует информационную емкость «памяти» улья, нежели чем непосредственное число пчел). Рабочая пчела берет в качестве направления движения одно из значений $X_i \in S$, $i = \overline{1, V}$, при этом в ходе своей работы ей необходимо осуществление разведки «вокруг» начальной точки X_i. Для этого необходимо каким-либо образом модифицировать начальное решение X_i, для чего можно использовать элементарные модифицирующие операции [22], применение каждой из которых приводит к однократному элементарному изменению решения $X_i \to X_i'$, а минимальное число подобных операций $d(X_i, X_j)$, необходимое для превращения решения X_i в X_j, можно рассматривать в качестве некоторой метрики, специфичной для данной задачи и являющейся аналогом известных расстояний Хэмминга [30] или Левенштейна [31], применяемых при сопоставлении строк, или их обобщение для задачи изоморфизма графов [32].

В простейшем случае, следуя работе [22], в качестве подобных операций могут быть применены операции добавления случайной вершины в случайную позицию текущего пути (сокр. ins), удаление случайной вершины из текущего пути (сокр. del), замена случайной вершины в текущем пути (сокр. ch) и перестановка пары случайно выбранных вершин пути (сокр. swp). Число R подобных модифицирующих операций, последовательно применяемых к решению X_i с целью получения решения X_j, не превосходит значения рассмотренной выше метрики $d(X_i, X_j)$ и может характеризоваться как радиус окрестности разведки. Результатом работы пчелы-фуражира является решение X_j и соответствующая ему оценка целевой функции $f(X_j)$. В случае, если хотя бы одно решение $X_k \in S$, $k = \overline{1, V}$ среди найденных ранее V решений уступает по качеству вновь найденному, «старое» решение заменяется на новое при их неизменном общем количестве в электронной модели улья:

$$S^{(t)} = S^{(t-1)} \setminus \{X_k\} \cup \{X_j\},$$

где t – номер итерации.

Комбинируя работу разведчиков и рабочих пчел в течение C итераций, следует ожидать монотонного увеличения качества решений в составе отобранного подмножества. Выбор наилучшего среди

них можно считать результатом работы алгоритма. При такой постановке работа алгоритма пчелиной колонии очень похожа на мультистарт-алгоритмы, используемые в задачах непрерывной оптимизации.

Более детальное и формализованное описание стратегии отыскания субоптимального решения в рассматриваемой задаче с использованием рассмотренного подхода может быть представлено в виде следующего алгоритма.

1. (инициализация) Положить номер текущей итерации $t=1$. Задать соотношение числа рабочих пчел N_W на одного разведчика. Задать вероятности применения элементарных модифицирующих операций $p_i, \sum_i p_i = 1, i=\overline{1, N_p}$. Задать радиус разведки *R*, число итераций *C* и объем колонии *V*.
2. (начальная разведка) Сформировать выборку $S=\{X_1, X_2, ..., X_V\}$ из *V* случайных решений, оценить их качество $f(X_i)$, положить $f^* = \min f(X_i)$, $X^* = \arg\min f(X_i)$, $i=\overline{1, V}$.
3. (вылет рабочих пчел) Положить $i=1$.
   3.1. Случайным образом выбрать решение $X_{curr} \in S$.
   3.2. (модификация решения) Положить $j=1$.
      3.2.1. Случайным образом выбрать модифицирующую операцию пропорционально вероятностям $p_k, k=\overline{1, N_p}$.
      3.2.2. Произвести модификацию решения X_{curr} с использованием выбранной модифицирующей операции p_k.
      3.2.3. Положить $j := j+1$.
      3.2.4. Если $j < R$, перейти к п. 3.2.1.
   3.3. Оценить качество решения $f(X_{curr})$ после выполнения *R* модификаций.
   3.4. Если $f(X_{curr}) < \max_{k=\overline{1, V}} f(X_k)$, исключить из *S* решение $X_{bad} = \arg\max_{k=\overline{1, V}} f(X_k)$, поместив на его место решение X_{curr} после *R* модификаций: $S := S \setminus \{X_{bad}\} \cup \{X_{curr}\}$.
4. Положить $i := i+1$.
5. Если $i < N_W$, перейти к п. 3.1.
6. (вылет разведчика) Сформировать случайное решение X_{curr}, оценить его качество $f(X_{curr})$.
7. Если $f(X_{curr}) < \max_{k=\overline{1, V}} f(X_k)$, исключить из *S* решение $X_{bad} = \arg\max_{k=\overline{1, V}} f(X_k)$, поместив на его место решение X_{curr}: $S := S \setminus \{X_{bad}\} \cup \{X_{curr}\}$.
8. Положить $t := t+1$.
9. Если $t(N_W+1) < C$, перейти к п. 3.
10. Вернуть в качестве результата $X_{best} = \arg\min_{k=\overline{1, V}} f(X_k)$.
11. Конец алгоритма.

В качестве разведчиков, которые в природе производят вылеты в случайных направлениях равновероятно, был взят метод случайного перебора с возвратами [1]. Комбинаторные возвраты повышают его эффективности в области графов малой плотности, что должно положительно сказаться на качестве работы разведчиков и алгоритма пчелиной колонии в целом.

Эффективность применения приведенного алгоритма на практике зависит

от ряда настроечных параметров $\left(p_1, p_2, ..., p_{N_p}, N_W, R, C, V\right)$, значения которых могут быть определены в ходе метаоптимизации. Для этого, следуя работам [11, 15, 16, 22, 24, 25], выполнялось формирование выборки $\Lambda = \left\{G_1, G_2, ..., G_K\right\}$ из K случайных графов с заданным числом вершин N и заданной плотностью d, для каждой выборки производилось нахождение решений и усреднение их качества с получением средневыборочной длины путей $\overline{L}$, которую необходимо минимизировать, а также расчетом вероятности получения оптимального решения p_{opt}.

Следуя указанной выше серии работ, число итераций C будем выбирать равным 1000 с целью сопоставления итерационных эвристических методов в равных условиях при одинаковом числе итераций (на практике это соответствует ограниченному объему времени, отведенному на поиск решения). Объем выборки тестовых примеров $\Lambda = \left\{G_1, G_2, ..., G_{N_\Lambda}\right\}$, используемых в вычислительных экспериментах для усреднения получаемых результатов, выбран $N_\Lambda = |\Lambda| = 1000$, что является компромиссом между временем выполнения вычислительных экспериментов (что обычно составляет несколько часов на один эксперимент при однопоточной программной реализации) и качеством получаемых зависимостей (дисперсией средневыборочных оценок и, соответственно, шириной доверительных интервалов).

Для выборки графов с $N = 10$ и $d = 0{,}9$ была проведена метаоптимизация, результаты которой представлены на рис. 2, в результате чего были выбраны следующие значения настроечных параметров алгоритма: $p^*_{ins} = 0{,}9$, $p^*_{del} = 0{,}4$, $p^*_{ch} = 0{,}5$, $p^*_{swp} = 0$, $N^*_W = 3$, $R^* = 1$, $V^* = 200$.

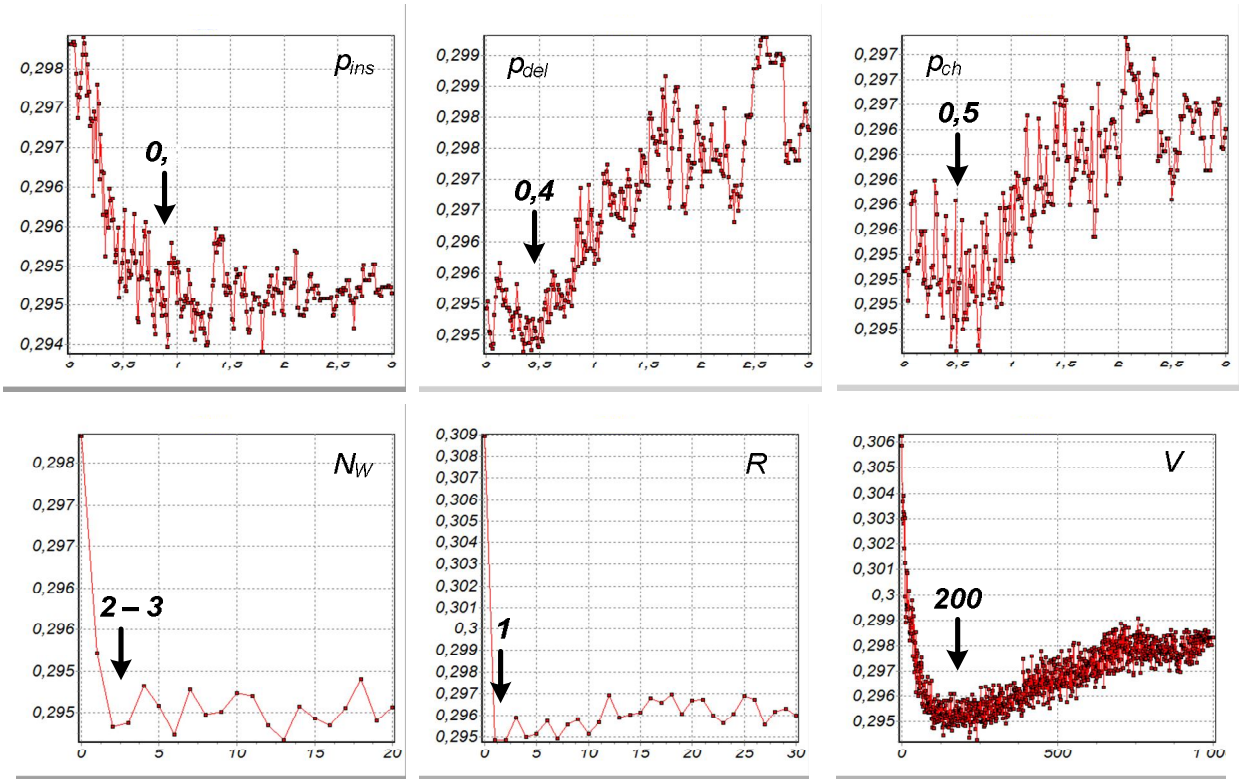


Рис. 2. Результаты зависимости средней длины кратчайших путей $\overline{L}$ от значений настроечных параметров алгоритма при $N = 10$ и $d = 0{,}9$

С использованием данных значений настроечных параметров и разработанного расчетного модуля [33] был проведен ряд вычислительных экспериментов для выборок графов с разным числом вершин и разной плотностью, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты вычислительных экспериментов: средняя длина путей $\overline{L}$ и вероятность получения оптимального решения p_{opt}, полученные различными эвристическими методами, для выборок случайных графов различной размерности и плотности

Метод	$N=10$ $d=0{,}5$	$N=10$ $d=0{,}9$	$N=100$ $d=0{,}5$	$N=100$ $d=0{,}9$
O	$\overline{L}=0{,}4804$ $p_{opt}=1{,}0$	$\overline{L}=0{,}2928$ $p_{opt}=1{,}0$	$\overline{L}=0{,}0967$ $p_{opt}=1{,}0$	$\overline{L}=0{,}0557$ $p_{opt}=1{,}0$
ACR	$\overline{L}=0{,}4804$ $p_{opt}=1{,}0$ +	$\overline{L}=0{,}2928$ $p_{opt}=0{,}999$ +	$\overline{L}=0{,}0991$ $p_{opt}=0{,}856$ +	$\overline{L}=0{,}0572$ $p_{opt}=0{,}848$ +
AC	$\overline{L}=0{,}4804$ $p_{opt}=1{,}0$ +	$\overline{L}=0{,}2928$ $p_{opt}=0{,}999$ +	$\overline{L}=0{,}0990$ $p_{opt}=0{,}856$ +	$\overline{L}=0{,}0573$ $p_{opt}=0{,}847$ +
WRMR	$\overline{L}=0{,}4808$ $p_{opt}=0{,}998$	$\overline{L}=0{,}2938$ $p_{opt}=0{,}992$	$\overline{L}=0{,}1132$ $p_{opt}=0{,}587$	$\overline{L}=0{,}0711$ $p_{opt}=0{,}519$
WRM	$\overline{L}=0{,}4757$ $p_{opt}=0{,}836$ –	$\overline{L}=0{,}2939$ $p_{opt}=0{,}987$	$\overline{L}=0{,}1130$ $p_{opt}=0{,}584$	$\overline{L}=0{,}0707$ $p_{opt}=0{,}519$
RMR	$\overline{L}=0{,}4814$ $p_{opt}=0{,}993$	$\overline{L}=0{,}2982$ $p_{opt}=0{,}931$	$\overline{L}=0{,}3208$ $p_{opt}=0{,}097$ –	$\overline{L}=0{,}2871$ $p_{opt}=0{,}073$ –
RM	$\overline{L}=0{,}4813$ $p_{opt}=0{,}855$ –	$\overline{L}=0{,}2985$ $p_{opt}=0{,}918$ –	$\overline{L}=0{,}3219$ $p_{opt}=0{,}097$ –	$\overline{L}=0{,}2872$ $p_{opt}=0{,}073$ –
SA	$\overline{L}=0{,}4894$ $p_{opt}=0{,}925$	$\overline{L}=0{,}2958$ $p_{opt}=0{,}969$	$\overline{L}=0{,}2461$ $p_{opt}=0{,}157$	$\overline{L}=0{,}1250$ $p_{opt}=0{,}178$
GA	$\overline{L}=0{,}4813$ $p_{opt}=0{,}990$	$\overline{L}=0{,}2954$ $p_{opt}=0{,}963$	$\overline{L}=0{,}2221$ $p_{opt}=0{,}161$	$\overline{L}=0{,}1366$ $p_{opt}=0{,}152$
BC	$\overline{L}=0{,}4810$ $p_{opt}=0{,}993$	$\overline{L}=0{,}2949$ $p_{opt}=0{,}966$	$\overline{L}=0{,}3449$ $p_{opt}=0{,}103$ –	$\overline{L}=0{,}2099$ $p_{opt}=0{,}096$ –

Примечание. O – оптимальное решение (алгоритм Дейкстры); AC – алгоритм муравьиной колонии; RM – случайный перебор; WRM – взвешенный случайный перебор; BC – алгоритм пчелиной колонии; SA – метод имитации отжига; GA – генетический алгоритм; ACR, RMR и WRMR – модификации перечисленных ранее методов с поддержкой комбинаторных возвратов [12].

Знаками «+» и «–» отмечены соответственно лучшие и худшие решения.

Как уже было отмечено ранее [24, 25], высокой эффективностью характеризуются решения, получаемые с использованием алгоритма муравьиной колонии. Сопоставимыми с ними по качеству являются решения, получаемые с использованием взвешенного случайного перебора (с поддержкой комбинаторных возвра-

тов при рассмотрении графов малой плотности). Рассматриваемый в данной работе алгоритм пчелиной колонии по качеству решений сопоставим с аналогами при решении задач малой размерности, однако с ее ростом качество решений существенно падает, практически приближая метод к случайному перебору (средняя длина путей почти в 4 раза хуже оптимальной). С целью разобраться в сложившейся ситуации метаоптимизация была проведена повторно для другой точки пространства параметров $(N; d)$, ее результаты для $N = 100$ и $d = 0{,}5$ приведены на рис. 3.

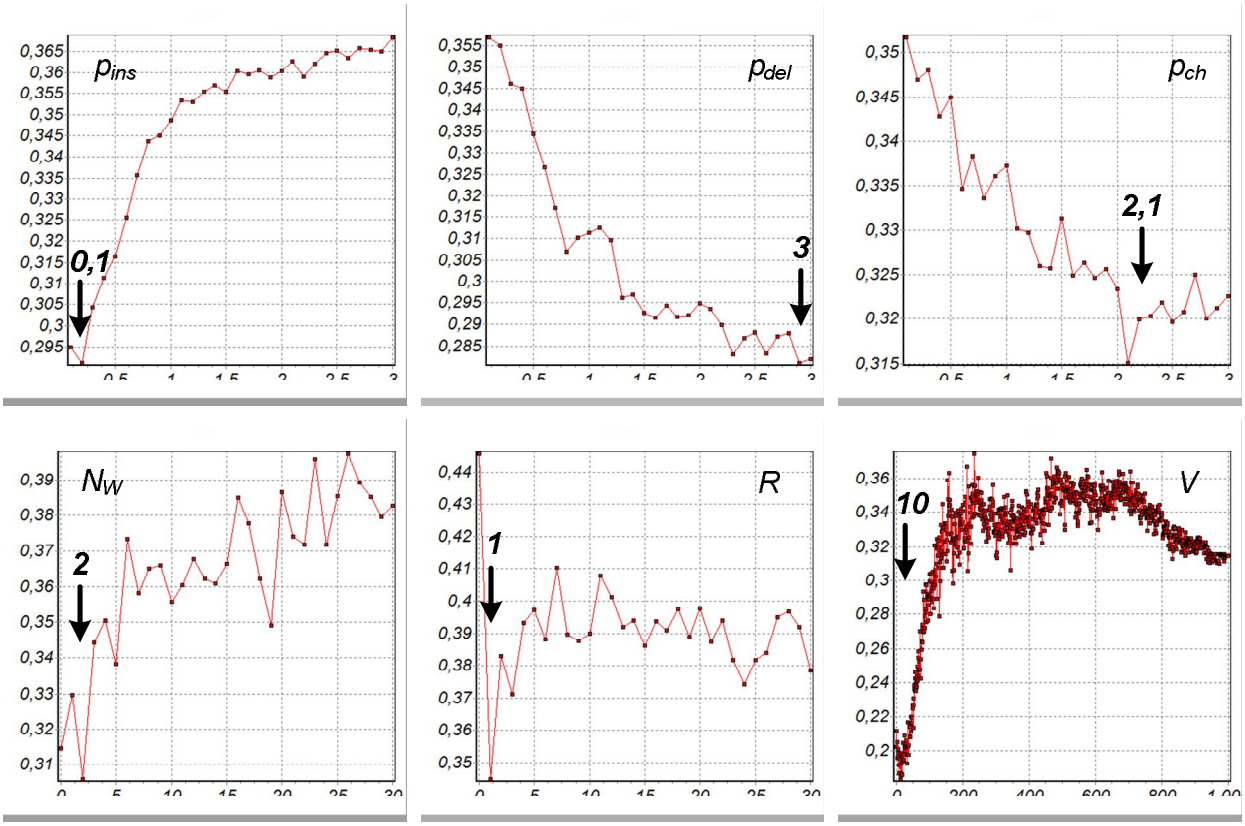


Рис. 3. Результаты зависимости средней длины кратчайших путей $\overline{L}$ от значений настроечных параметров алгоритма при $N = 100$ и $d = 0{,}5$

Для других пар значений $(N; d)$ также была проведена метаоптимизация, результаты которой в виде графиков ввиду ограниченного объема статьи не приводятся, однако основной вывод, который можно сделать по ее результатам, заключается в том, что в каждом конкретном случае выбранные значения параметров сильно отличаются друг от друга.

Для наглядности оптимальные значения параметров для ряда выбранных сочетаний параметров сведены в таблицу 2.

Выбор неоптимальных значений настроечных параметров может привести к ухудшению качества получаемых решений от нескольких десятков процентов до 2–3 раз. В особенности это касается вероятностей добавления p_{ins} и удаления p_{del} вершин при модификации текущего пути и объема колонии V, которые имеют существенно различные оптимальные значения для различных условий применения. С целью наглядной демонстрации того, что качество решений может быть

существенно улучшено путем тонкой настройки значений параметров алгоритма пчелиной колонии, в таблице 3 приведены результаты вычислительного эксперимента для $N = 100$ и $d = 0{,}5$ при различных значениях настроечных параметров.

Таблица 2

Оптимальные значения настроечных параметров, полученные в ходе метаоптимизации, для различных пар значений $(N; d)$

Условия использования	p^*_{ins}	p^*_{del}	p^*_{ch}	N^*_W	R^*	V^*
$N = 10$ $d = 0{,}9$	0,7–3	0–0,5	0–1	3	1–2	200
$N = 10$ $d = 0{,}5$	0–3	0–3	0–3	2	1–2	600–1000
$N = 50$ $d = 0{,}9$	0–0,5	1–3	3	4–5	1	30
$N = 50$ $d = 0{,}5$	0,1–0,2	1–3	2–3	1–2	1–2	10–30
$N = 50$ $d = 0{,}1$	2,5–3	0,7–1,5	1,5–2,5	0	1–2	900–1000
$N = 100$ $d = 0{,}9$	0–0,1	3	2,5–3	2	1	10
$N = 100$ $d = 0{,}5$	0–0,1	3	2–3	2	1	10
$N = 100$ $d = 0{,}1$	1,5–2	1–3	0,5–1	0	1–2	900–1000

Таблица 3

Пример зависимости качества получаемых решений от значений настроечных параметров алгоритма

Значения настроечных параметров	$\overline{L}$	p_{opt}
$p^*_{ins} = 0{,}9,\ p^*_{del} = 0{,}4,\ p^*_{ch} = 0{,}5,\ N^*_W = 3,\ R^* = 1,\ V^* = 200$	0,3449	0,103
$p^*_{ins} = 0{,}9,\ p^*_{del} = 0{,}4,\ p^*_{ch} = 2{,}5,\ N^*_W = 2,\ R^* = 1,\ V^* = 10$	0,1912	0,219

Данная особенность алгоритма пчелиной колонии является в достаточной степени неудобной и не позволяет выработать единые рекомендации по компромиссным значениям настроечных параметров, которые были бы неплохими для всех условий применения методов, в отличие от ряда других итерационных эвристических методов [15, 16, 22, 24, 25]. Слабая (в пределах нескольких процентов результирующего качества решений) зависимость от значений параметров наблюдается лишь для генетического алгоритма применительно к решению указанной задачи. Данная особенность вынуждает выполнение метаоптимизации непосредственно перед синтезом решений в указанных условиях использования, что является достаточно ресурсоемкой задачей (общие затраты машинного времени при этом возрастают как минимум на 1–2 порядка). Однако даже при наличии тонкой настройки результаты алгоритма пчелиной колонии существенно уступают результатам алгоритма муравьиной колонии для графов с большим числом вершин и малой плотностью.

Также результаты вычислительных экспериментов позволяют сделать ряд дополнительных выводов. Так, оптимальное значение радиуса разведки R лежит в пределах 1–2 модификаций от

начального решения (чаще всего $R^* = 1$), что является неочевидным эмпирическим следствием экспериментов. При его увеличении теоретически должно увеличиться разнообразие анализируемых путей, однако на практике это выливается в существенное (местами до 50%) ухудшение качества результирующих решений. При этом полное отсутствие модификаций $(R = 0)$ в абсолютной большинстве случаев приводит к существенному ухудшению качества решений, что демонстрирует необходимость наличия в колонии не только разведчиков, но и рабочих пчел (при наличии только разведчиков алгоритм пчелиной колонии превращается в случайный перебор). Однако из этого правила есть исключение, которое проявляется в условиях использования алгоритма для графов малой плотности, в которых число корректных решений мало и модифицирующие операции зачастую переводят исходное корректное решение в некорректное из-за появления в нем запрещенных переходов между вершинами графа. При этом работа пчел-фуражиров является неэффективной (на нее впустую расходуются итерации работы алгоритма, число C которых ограничено по условиям эксперимента) и их рациональнее заменить разведчиками, положив $R = 0$ или $N_W = 0$, что, как уже было отмечено выше, фактически превращает алгоритм пчелиной колонии в случайный перебор.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания для ЮЗГУ на 2014–2017 гг., номер НИР 2246, а также при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-9445.2016.8.

Список литературы

1. Ватутин Э.И., Титов В.С., Емельянов С.Г. Основы дискретной комбинаторной оптимизации. – М.: Инфра-М, 2016. – 271 с.

2. Баранов С.И., Журавина Л.Н., Песчанский В.А. Обобщенный метод декомпозиции граф-схем алгоритмов // А и ВТ. – 1982. – № 5. – С. 43–51.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612902. Библиотека функций построения разбиений методом С.И. Баранова с жадным последовательным формированием блоков / Ватутин Э.И. // Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.04.2010.

4. Ватутин Э.И., Леонов М.Е. Использование смежной окрестности при жадном последовательном формировании блоков разбиения граф-схем параллельных алгоритмов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 6. – С. 30–35.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619395. Библиотека функций для построения разбиений с использованием смежной жадной стратегии и последовательным формированием блоков / Ватутин Э.И., Титов В.С. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.10.2013.

6. Ватутин Э.И., Романченко А.С., Титов В.С. Исследование влияния порядка рассмотрения пар на качество расписаний при использовании жадного подхода // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 1 (46). – С. 58–64.

7. Ватутин Э.И., Бобынцев Д.О., Романченко А.С. Исследование влияния частичного упорядочивания пар и локального улучшения окрестности пары на качество расписаний при использовании жадного подхода // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. – № 1. – С. 8–16.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618554. Программа для жадного построения расписаний учебных занятий вуза / Ватутин Э.И., Бобынцев Д.О., Романченко А.С. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.09.2013.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619101. Метод жадного построения расписаний занятий вуза со случайным порядком рассмотрения учебных групп и улучшением окрестности текущей пары / Ватутин Э.И., Бобынцев Д.О., Романченко А.С. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.09.2013.

10. Land A.H., Doig A.G. An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems // Econometrica. – 1960. – Vol. 28. – P. 497–520. DOI: 10.2307/1910129.

11. Ватутин Э.И., Мартынов И.А., Титов В.С. Анализ результатов использования метода перебора с ограничением глубины в задаче поиска кратчайшего пути в графе // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов (МППОС'15). – Барнаул, 2015. – С. 120–128.

12. Ватутин Э.И., Мартынов И.А., Титов В.С. Способ обхода тупиков при решении задач дискретной оптимизации с ограничениями // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2014). – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2015. – С. 313–317.

13. Метод случайного перебора в задаче построения разбиений граф-схем параллельных алгоритмов / Э.И. Ватутин, Д.В. Колясников, И.А. Мартынов, В.С. Титов // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. – Барнаул, 2014. – С. 115–125.

14. Свидетельство об официальной государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015618917. Библиотека функций построения разбиений граф-схем параллельных алгоритмов методом случайного перебора / Ватутин Э.И., Титов В.С. Зарегистрировано в Реестре программ ддя ЭВМ 20.08.2015.

15. Метод взвешенного случайного перебора для решения задач дискретной комбинаторной оптимизации / Э.И. Ватутин, Е.Н. Дремов, И.А. Мартынов, В.С. Титов // Известия ВолГТУ. Серия: Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2014. – № 10 (137). – Вып. 9. – С. 59–64.

16. Ватутин Э.И., Титов В.С. Исследование особенностей применения генетического алгоритма в задаче поиска кратчайшего пути в графе при наличии ограничений на плотность графа // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов (МППОС'16). – Барнаул, 2016.

17. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с.

18. Галкина В.А. Дискретная математика: комбинаторная оптимизация на графах. – М.: Гелиос АРВ, 2003. – 232 с.

19. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.

20. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы / под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань: Издательский дом "Астраханский университет", 2007. – 87 с.

21. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. Optimization by Simulated Annealing // Science. – 1983. – Vol. 220, N 4598. – P. 671–680. DOI: 10.1126/science. 220.4598. 671.

22. Ватутин Э.И., Титов В.С. Параметрическая оптимизация алгоритма имитации отжига на примере решения задачи поиска кратчайшего пути в графе // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 6 (67). – С. 13–16.

23. Dorigo M. Optimization, Learning and Natural Algorithms // PhD thesis. Politecnico di Milano, Italie, 1992.

24. Ватутин Э.И., Титов В.С. Анализ результатов применения алгоритма муравьиной колонии в задаче поиска пути в графе при наличии ограничений // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – № 12 (161). – С. 111–120.

25. Ватутин Э.И., Титов В.С. Об одном подходе к использованию алгоритма муравьиной колонии при решении задач дискретной комбинаторной оптимизации // Интеллектуальные и информационные системы (Интеллект-2015). – Тула, 2015. – С. 8–13.

26. Karaboga D.D. An Idea Based On Honey Bee Swarm for Numerical Optimization // Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.

27. The Bees Algorithm / D.T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koc, S. Otri, S. Rahim, M. Zaidi // Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK, 2005.

28. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische Mathematik. – 1959. – Vol. 1. –P. 269–271.

29. Кажаров А.А. Разработка и исследование роевых алгоритмов для решения транспортно-логистических задач: дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог, 2013. – 165 с.

30. Hamming R.W. Error detecting and error correcting codes // Bell System Technical Journal. – 1950. – Vol. 29. – P. 147–160. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1950.tb00463.x.

31. Левенштейн В.И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов // Доклады академий наук СССР. – 1965. – Т. 163. – Вып. 4. – С. 845–848.

32. Ватутин Э.И. Эвристический подход к распознаванию изоморфизма графов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации (Распознавание – 2015). – Курск, 2015. – С. 80–83.

33. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619797. Расчетный модуль для тестирования комбинаторных оптимизационных алгоритмов в задаче поиска кратчайшего пути в графе с использованием добровольных распределенных вычислений / Ватутин Э.И., Валяев С.Ю., Дремов Е.Н., Мартынов И.А., Титов В.С. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.09.2014.

References

1. Vatutin E.I., Titov V.S., Emelyanov S.G. Basics of discrete combinatorial optimization (in Russian). – M.: ARGAMAC-MEDIA, 2016. – 270 p.

2. Baranov S.I., Zhuravina L.N., Peschansky V.A.: Method for Decomposition of Graph-schemes of Algorithms (in Russian) // Automatics and Computing. – 1982. N 5. – P. 43–51.

3. Vatutin E.I. Library of Functions for Getting Separations Using S.I. Baranov Method with Greedy Consecutive Forming of Blocks (in Russian) // Certificate of official registration of the computer software № 2010612902 from 28.04.10.

4. Vatutin E.I., Leonov M.E. Using adjacent neighborhood in the greedy consecutive forming of blocks of separations of graph-schemes of parallel algorithms (in Russian) // Proceedings of the Higher Educational Institutions. Instrument Making. – 2013. – Vol. 56, № 6. – P. 30–35.

5. Vatutin E.I., Titov V.S. Library of functions for getting separations with using adjacent greedy strategy and consecutive forming of blocks (in Russian) // Certificate of official registration of the computer software № 2013619395 from 03.10.13.

6. Vatutin E.I., Romanchenko A.S., Titov V.S. Investigation of influence of the pairs order consideration to schedule quality within greedy approach (in Russian) // Proceeding of the Southwest State University. – 2013. – № 1 (46). – P. 58–64.

7. Vatutin E.I., Bobyntsev D.O., Romanchenko A.S. Investigation of influence

of the partial pairs ordering and pair vicinity improvement to schedule quality within greedy approach (in Russian) // Proceeding of the Southwest State University. Series: Management, computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2014. – № 1. – P. 8–16.

8. Vatutin E.I., Bobyntsev D.O., Romanchenko A.S. Program for greedy construction of the schedule of studies of the university (in Russian) // Certificate of official registration of the computer software № 2013618554 from 11.09.13.

9. Vatutin E.I., Bobyntsev D.O., Romanchenko A.S. The method of constructing a greedy university schedule with a random order of consideration of the study groups and the improvement of the neighborhood of the current pair (in Russian) // Certificate of official registration of the computer software № 2013619101 from 25.09.13.

10. Land A.H., Doig A.G. An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems // Econometrica. – 1960. – Vol. 28. – P. 497–520. DOI: 10.2307/1910129.

11. Vatutin E.I., Martynov I.A., Titov V.S. Analisys of results of depth first search with fixed depth method at the shortest path problem (in Russian) // Multicore processors, parallel programming, FPGA, signal processing systems. Barnaul: Altay State University, 2015. – P. 120–128.

12. Vatutin E.I., Martynov I.A., Titov V.S. Method of Workaround deadlocks for solving discrete combinatorial optimization problems with constraints (in Russian) // Perspective information technologies. – Samara: Samara scientific center of RAS. – P. 313–317.

13. Vatutin E.I., Kolyasnikov D.V., Martynov I.A., Titov V.S. Random search method at the problem of getting separations of parallel graph-schemes of algorithms (in Russian) // Multicore processors, parallel programming, FPGA, sygnal processing systems. – Barnaul: Altay State University, 2014. – P. 115–125.

14. Vatutin E.I., Titov V.S. Library of functions for getting separations of parallel graph-schemes of algorithms using random search method (in Russian) // Certificate of official registration of the computer software № 2015618917 from 20.08.15.

15. Vatutin E.I., Dremov E.N., Martynov I.A., Titov V.S. Weighted random search mehod for discrete combinatorial problems solving (in Russian) // Proceedings of Volgograd State University. Series: Electronics, measurement equipment, radio engineering and communications. – 2014. – № 10 (137). – Iss. 9. – P. 59–64.

16. Vatutin E.I., Titov V.S. The study features the use of genetic algorithm to the problem of finding the shortest path in the graph with constraints on the graph density (in Russian) // Multicore processors, parallel programming, FPGA, signal processing systems. – Barnaul: Altay State University, 2016. Accepted for publication.

17. Genetic algorithms, artificial neural networks and problems of virtual reality (in Russian) / G.K. Voronovsky, K.V. Mahotilo, S.N. Petrashev, S.A. Sergeev. – Khar'kov: Osnova, 1997. – 112 p.

18. Galkina V.A. Discrete mathematics: combinatorial optimization at graphs (in Russian). – M.: Gelios ARV, 2003. – 232 p.

19. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Genetic algorithms (in Russian). – M.: Fizmatlit, 2006. – 320 p.

20. Panchenko T.V. Genetic algorithms (in Russian) / etd. by Yu.Yu. Tarasevich. – Astrakhan': Astrakhan' University, 2007. – 87 p.

21. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. Optimization by Simulated Annealing // Science. – 1983. – Vol. 220, N 4598. – P. 671–680. DOI: 10.1126/science.220. 4598. 671.

22. Vatutin E.I., Titov V.S. Parametric optimization of simulated annealing algorithm at the shortest path problem (in Russian) // Proceedings of Cherepovets State University. – 2015. – № 6 (67). – P. 13–16.

23. Dorigo M. Optimization, Learning and Natural Algorithms // PhD thesis. Politecnico di Milano, Italie, 1992.

24. Vatutin E.I., Titov V.S. Analisys of results of using ant colony optimization method at the shortest path problem with

constraints (in Russian) // Proceedings of South State University. Technical sciences. – 2014. – № 12 (161). – P. 111–120.

25. Vatutin E.I., Titov V.S. An approach to the use of an ant colony algorithm during discrete combinatorial optimization problems solving (in Russian) // Intellectual and information systems. – Tula, 2015. – P. 8–13.

26. Karaboga D.D. An Idea Based On Honey Bee Swarm for Numerical Optimization // Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.

27. Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. The Bees Algorithm // Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK, 2005.

28. Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische Mathematik. – 1959. – Vol. 1. – P. 269–271.

29. Kazharov A.A. Development and research of swarm algorithms for solving the problems of transport and logistics (in Russian): dissertation of ... cand. techn. sci., speciality 05.13.01. – Taganrog, 2013. – 165 p.

30. Hamming R.W. Error detecting and error correcting codes // Bell System Technical Journal. – 1950. – Vol. 29. – P. 147–160. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1950.tb00463.x.

31. Levenshtein V.I. Binary codes with correction for deletions, insertions and substitutions of symbols (in Russian) // Proceedings of RAS. – 1965. – Vol. 168, N 4. – P. 845-848.

32. Vatutin E.I. An heuristic approach for graph isomorphism checking (in Russian) // Recognition – 2015. – Kursk, 2015. – P. 80–83.

33. Vatutin E.I., Valyaev S.Yu., Dremov E.N., Martynov I.A., Titov V.S. Computing unit for testing combinatorial optimization algorithms at the shortest path problem using volunteer computing (in Russian) // Certificate of official registration of the computer software № 2014619797 from 22.09.14.

Получено 20.04.16

E.I. Vatutin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: evatutin@rambler.ru)

V.S. Titov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

FEATURES OF META-OPTIMIZATION OF THE BEE COLONY METHOD IN THE SHORTEST PATH PROBLEM WITH CONSTRAINTS ON THE GRAPH DENSITY

A detailed description of the strategy of using bee colony method in the problem of finding the shortest path in the graph is given. This problem is used as test problem and provide ability to compare quality of decisions given by different heuristic methods with optimal decisions given by well known Dijkstra algorithm. Method of bee colony based on use agents of two types: scout bees that perform random exploration of parameters space and work bees (foragers) that clarify directions from scouts within selected exploration radius. The results of the meta-optimization, the recommended values of variable parameters (probabilities of use different modifying operations, ratio between scouts and foragers, number of iterations, colony volume) and the results of comparison of the quality of solutions with known heuristic methods (methods of random and weighted random search, ant colony optimization method, simulated annealing method, genetic (evolutionary) method) for solving discrete optimization problems are presented. This results was given after performed computing experiments at the samples with random data with size of 1000 test graphs. It is shown that the method of bee colony require different optimal values of variable parameters depending on the dimension of the problem being solved (number of vertices of graph N) and the graph density d. This is a disadvantage of used heuristic method that provide to perform meta-optimization before finding the solutions and increases the computational cost at least by 1-2 orders. It is shown that even after fine tuning of the bee colony method parameters in this problem are often inferior comparing to different heuristic methods such as weighted random search, ant colony and genetic (evolutionary) methods.

Key words: *shortest path problem, discrete combinatorial optimization, heuristic methods, bee colony method, meta-optimization.*

УДК 519.248

А.В. Хмелевская, преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail:aquarel85@mail.ru)

Д.С. Коптев, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: dmitrii_spartak@mail.ru)

А.Н. Шевцов, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: aleksey_shevtsov@mail.ru)

А.Н. Щитов, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: shchitov.1996@mail.ru)

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ОПЕРАТОРОВ CALL-ЦЕНТРА НА БАЗЕ ПРИЁМНОЙ КОМИССИИ ЮЗГУ

Осуществлено проектирование комплекса центра обслуживания вызовов со всеми внешними интерфейсами и внутренними связями. Приведена его функциональная схема, отражающая особенности организации коммутационного ядра ЦОВ. Предложена модель определения загрузки одного оператора, построенная на базе расчёта системы массового обслуживания $M/M/v/K$.

Для решения задач по расчету параметров систем распределения вызовов используется теория телетрафика. Ее методами и предполагается проводить дальнейший расчет обслуживания заявок, поступающих на call- центры, используя формулы Эрланга. Физический смысл формул Эрланга заключается в том, что они выражают предельные вероятные состояния системы массового обслуживания клиентов в зависимости от интенсивности поступления заявок, интенсивности обслуживания, числа каналов обслуживания.

Приёмная комиссия – это прежде всего офисная интеллектуальная система телефонии для приема и обработки вызовов, автоматические информационно-справочные клиентские сервисы и голосовые информаторы. Функции call-центра позволяют оказывать круглосуточные услуги по приему звонков. Современные call-центры обладают массой технических возможностей. Например, позволяют избегать перевода вызова от оператора к оператору, "зависания" вызова в нескольких очередях и т.д. Вызов направляется тому оператору, который наилучшим образом на него ответит. Таким образом экономится время как клиента, так и сотрудников call-центра. Автоматизировать рутинные процедуры, на которые раньше тратилось время операторов (например, предоставление в автоматическом режиме справочных сведений о компании, получение клиентом информации о своем балансе и т.д.), позволяет система интерактивного речевого взаимодействия (IVR).

Возможность оперативно реагировать на изменение потоков вызовов позволяет обслуживать их оптимальным количеством ресурсов. Например, при резко возрастающем потоке вызовов в одну группу операторов (такое может произойти, если у оператора связи возникли проблемы в сети) администратор call-центра может добавить в нее операторов из другой группы, которая в данный момент более свободна, и таким образом сбалансировать нагрузку и выдержать высокое качество обслуживания клиентов. Способность мгновенно реагировать на изменение условий работы call-центра позволяет обслуживать клиентов оптимальным образом.

Ключевые слова: *система массового обслуживания, телефонная сеть общего пользования, центр обслуживания вызовов, сервер распределения вызовов, сервер интерактивного речевого взаимодействия.*

***

В любой системе массового обслуживания вызовы поступают по входящим соединительным линиям и обрабатываются операторами. Если входящий вызов застает все линии занятыми, то он откладывается в ожидание, которое в данной системе длится 30 секунд. Причём часть вызовов может уйти из очереди, не дождавшись обслуживания.

На рисунке представлена функциональная схема проектируемого комплекса со всеми внешними интерфейсами и внутренними связями. В этой системе вызовы поступают по входящим соединительным линиям от ТфОП и обрабатываются операторами, число которых меньше числа линий. Если входящий вызов застает все линии занятыми, то он отклоняется: абоненту телефонной сети бу-

дет передан сигнал «занято». Если свободные линии есть, то вызов поступает в систему, а далее, в зависимости от числа свободных операторов, вызов может быть немедленно передан на обслуживание либо поставлен на ожидание. Часть вызовов может уйти из очереди, не дождавшись обслуживания. Для всех неуспешных (не окончившихся обслуживанием) вызовов возможны повторные попытки. Обслуженные вызовы могут уйти из системы или возвратиться в нее для дальнейшего обслуживания.

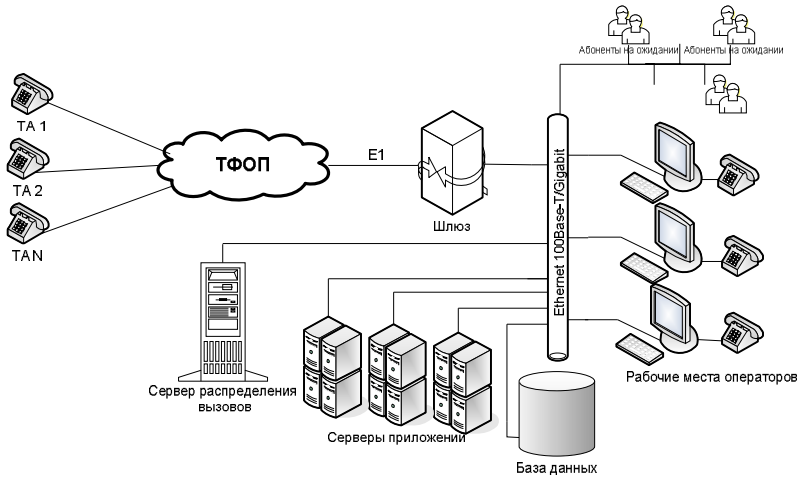


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема ЦОВ на базе технологии VoIP

Шлюз IP-телефонии обеспечивает взаимодействие между сетью с коммутацией пакетов и телефонной сетью с коммутацией каналов. Это программно-аппаратный комплекс, основной функцией которого является преобразование речевой информации, поступающей со стороны ТФОП, в вид, пригодный для передачи по сетям с маршрутизацией пакетов IP.

Шлюз преобразует межстанционную сигнализацию по трактам E1 – сообщения систем сигнализации DSS1, ОКС7, 2ВСК – или сигнализацию по абонентским линиям в сигнальные сообщения набора протоколов H.323 или в протокол SIP.

Серверы приложений обеспечивают реализацию логики предоставляемых услуг.

Сервер распределения вызовов (СРВ) – ключевой элемент контакт-центра. Взаимодействуя с базами данных в процессе обслуживания вызовов, он обеспечивает поддержку систем очередей и функций маршрутизации вызовов, поступающих в контакт-центр.

Сервер интерактивного речевого взаимодействия (IVR) выполняет функции, связанные с организацией компьютерного диалога с абонентом, который обратился в контакт-центр. Основные функции IVR – передача абоненту речевых подсказок-приглашений, прием от абонента дополнительной информации в режиме многочастотного донабора, передача абоненту в автоматическом режиме разного рода справочной и сервисной информации и т.д.

База данных хранит информацию о конфигурации системы, статистические данные о ее функционировании, данные учета и т.д.

Рабочее место оператора организуется на базе стандартных персональных компьютеров с установленным специализированным клиентским программным обеспечением.

В рассматриваемом call-центре для последующего определения оптимального количества операторов выделим пять служб:

– служба 1 – служба приёма заявок от абитуриентов, лично посетивших приёмную комиссию;

– служба 2 – служба приёма заявок, работающая с абитуриентами, приславшими свои персональные данные в электронном виде;

– служба 3 – служба, консультирующая абитуриентов по различным направлениям подготовки;

– служба 4 – служба обработки персональных данных абитуриентов;

– служба 5 – служба привлечения абитуриентов, имеющих наивысший приоритет по конкурсу.

Итоговое число операторов должно удовлетворять критерию обслуживания вызова не более чем через 30 секунд после попадания его в систему. Расчёт системы массового обслуживания будем проводить на базе исходных данных, полученных в результате анализа работы приёмной комиссии за 2014-2105 г. Исходные данные приведены в таблице 1.

$$\lambda_n = \lambda, \quad n = 0, 1 ..., K-1,$$

а интенсивность обслуживания

$$\mu_n = \begin{cases} n \cdot \mu & n = 1, 2, ..., \quad v-1; \\ v \cdot \mu & n = v, \quad v+1, ..., K. \end{cases}$$

Соотношение, определяющее вероятность заданного числа заявок в системе n:

$$p = \begin{cases} \dfrac{\lambda^n}{n!\mu^n} \cdot p_0 & n = 1, 2, ..., v-1; \\ \dfrac{\lambda^n}{v!v^{n-v} \cdot \mu^n} \cdot p_0 & n = v, \ v+1, \ ...., K. \end{cases}$$

Используя известное равенство $\sum_{n=0}^{K} p_n = 1$, можно найти p_0:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{v-1} \frac{\lambda^n}{n! \cdot \mu^n} + \sum_{n=v}^{k} \frac{\lambda^n}{v! \cdot v^{(n-v)} \cdot \mu^n}}.$$

Запишем таблицу 1 для удобства в другой форме (табл. 2).

Таблица 1

Исходные данные

Интенсивность поступления вызовов на службы, выз/мин	Интенсивность обслуживания вызовов оператором службы, выз/мин
1, 1.5, 1.5, 5, 7	0.4 , 1, 1.2 , 0.3 , 1

Таблица 2

Исходные данные

Служба	1	2	3	4	5	Обозначение
Интенсивность поступления вызовов	1,0 выз/мин	1,5 выз/мин	1,5 выз/мин	5,0 выз/мин	7,0 выз/мин	λ
Интенсивность обслуживания вызовов оператором	0,4 выз/мин	1,0 выз/мин	1,2 выз/мин	0,3 выз/мин	1,0 выз/мин	μ

Рассмотрим «Службу 1» и ее характеристики:

$\lambda = 1$ выз / мин; $\mu = 0,4$ выз / мин.

Из известного соотношения, определяющего вероятность заданного числа заявок в системе n:

$$Pn(n) = \begin{cases} \left(\dfrac{\lambda^n}{n! \cdot \mu^n} \cdot P_0\right) if\,(n < v); \\ \left[\dfrac{\lambda^n}{v! \cdot v^{(n-v)} \cdot \mu^n} \cdot P_0\right] otherwise, \end{cases}$$

а также используя известное равенство

$$\sum_{n=0}^{K} p_n = 1,$$

найдём P_0.

Пусть К=10, определим количество операторов для службы, обеспечивающее среднюю задержку запроса на информационные услуги в очереди ЦОВ не более 30 секунд (0,5 минуты).

Предположим, что операторов должно быть 3, тогда

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{v-1} \dfrac{\lambda^n}{n! \cdot \mu^n} + \sum_{n=v}^{k} \dfrac{\lambda^n}{v! \cdot v^{(n-v)} \cdot \mu^n}}.$$

Вероятность того, что в системе не будет вызовов $P_0 = 0.054$.

Среднее число вызовов в очереди в системе

$$E_0 = \sum_{n=v+1}^{k} \left[(n-v) \cdot Pnk\right],$$

$$E_0 = 1.093.$$

Среднее число вызовов, поступающих в систему:

$$E_v = \sum_{n=1}^{k} \left[n \cdot Pnk\right],$$

$$E_v = 2.147.$$

Известно, что все вызовы, поступающие на систему, когда она находится в состоянии $n = K$, теряются.

Таким образом, можно высчитать вероятность отказа в обслуживании при поступлении заявки на call-центр:

$$Pnk = \left[\frac{\lambda^k}{v! \cdot v^{(k-v)} \cdot \mu^k} \cdot P_0\right].$$

Вероятность отказа в обслуживании $Pnk = 0,039$ мин.

Значение вероятности отказа в обслуживании при условии, что количество операторов в call-центре равно 3.

Также действительная (эффективная) интенсивность поступления заявок в систему равна: $\lambda d = \lambda \cdot (1 - Pnk)$ $\lambda d = 0.961$.

Реальную загрузку одного оператора вычислим по формуле

$$\mu d = \frac{\lambda d}{v} = 0.32.$$

Воспользуемся формулой Литтла для определения среднего времени ожидания обслуживания:

$$W = \frac{\sum_{n=v+1}^{k} \left[(n-v) \cdot Pnk\right]}{\lambda \cdot (1 - Pnk)} = 1.138.$$

Значение среднего времени ожидания обслуживания измеряется в секундах. Из полученных данных видно, что среднее время ожидания обслуживания очень маленькое. Значит, есть возможность снизить количество операторов в целях экономии. Уменьшим число операторов до 2-х. Сведем все результаты в таблицу 3 и проведем анализ полученных данных.

Таблица 3

Расчет параметров для «Службы 1»

Значения К	Значения V	Среднее время ожидания обслуживания W	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$	Загрузка оператора
10	3	1,138	0,039	0,32
5	3	0,476	0,137	0,288
10	4	0,153	0,007326	0,248

Если *V*=3, а *K*=10, то call-центр не удовлетворяет поставленным условиям, если V=3, а K=5, то получаются большие значения вероятности отказа в обслуживании.

Аналогичные исследования и рассуждения проводим для оставшихся служб. Результаты сведены в таблицы 4, 5, 6 и 7.

Таблица 4

Расчет параметров для «Службы 2»

Значения *K*	Значения *V*	Среднее время ожидания обслуживания *W*	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$	Загрузка оператора
10	3	0.017	0.00926	0.5
10	2	0.413	0.017	0.737
10	1	15.265	0.337	0.994

Таблица 5

Расчет параметров для «Службы 3»

Значения *K*	Значения *V*	Среднее время ожидания обслуживания *W*	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$	Загрузка оператора
10	3	0,003692	0,0001978	0.5
10	2	0.102	0,004227	0.747
8	2	0,155	0,011	0,742
15	2	0.024	0,0004006	0.75
15	1	18.138	0,206	1.191

Таблица 6

Расчет параметров для «Службы 4»

Значения *K*	Значения *V*	Среднее время ожидания обслуживания *W*	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$	Загрузка оператора
10	3	25.511	0.82	0.3
10	5	7,002	0,7	0.3
10	8	0,6742	0,529	0,294
18	12	1,709	0,289	0,296
20	15	0,534	0.151	0.283
27	18	0,335	0,036	0,268
32	20	0,102	0,00527	0,248

Таблица 7

Расчет параметров для «Службы 5»

Значения *K*	Значения *V*	Среднее время ожидания обслуживания *W*	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$	Загрузка оператора
10	3	5.337	0.572	0,999
15	5	3,193	0,289	0,995
14	7	0,399	0,091	0,909
18	9	0,06	0,009197	0,771

В данной работе была рассмотрена обобщённая модель $M/M/v/K$ на базе системы массового обслуживания call-центра с указанием основных её структурно-функциональных узлов. Выбором данной системы послужила особенность рассмотренного call-центра из-за ограниченной буферной памяти, при переполнении которой поступающие заявки начинают теряться. В такой системе вызовы поступают по входящим соединительным линиям и обрабатываются операторами. Если входящий вызов застает все линии занятыми, то он откладывается в ожидание, которое в данной системе длится 30 секунд. Причём часть вызовов может уйти из очереди, не дождавшись обслуживания.

Особняком в данной системе является сервер базы данных и сервер распределения вызовов. Работа последнего полностью стабилизирует нагрузку на операторов, тем самым минимизируя время ожидания получения консультации звонящему абоненту. Количество операторов call-центра по результатам расчёта составило 2 человека на службу. В зависимости от исходных данных было выделено 5 служб, число операторов данного call-центра (приёмной комиссии ЮЗГУ) составит 10 человек. Время ожидания заявки в очереди не превышает 30 секунд, что говорит о высокой функциональности рассчитываемой системы. Рассчитанные значения подлежат описанию модели систем массового обслуживания и базируются на её основных теоретических положениях.

В дальнейшем целесообразным является реализация модели сети данного call-центра в системе динамического моделирования Matlab/Simulinc.

Список литературы

1. Каратун С.М., Скочин А.В. Разработка информационного обеспечения для управления процессом моделирования и анализа систем массового обслуживания. – 2006. – №1(26). – С. 59 – 67.

2. Гольдштейн Б.С., Зарубин А.А. Методические рекомендации к практическим занятиям. Контакт-центры мультисервисных сетей связи. – СПб., 2004.

3. Емельянов А.А., Власова Е. А., Дума Р. В. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие / под ред. А. А. Емельянова. – 2-е изд. – М., 2005. – С. 358-359.

4. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 390 с.

5. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование : учебное пособие. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.

References

1. Karatun S. M., Skochin A.V. Development of information support for the management of simulation and analysis of queuing systems. – 2006. – №1 (26). – P. 59 – 67.

2. Goldstein B.S., Zarubin A.A. SUT Guidelines for practical training. multi-service networks Contact Centers. – Sanct-Petersburg, 2004.

3. Emelyanov A.A., Vlasova E., Duma R.V. Simulation modeling of economic processes. – M., 2005. – P. 358-359.

4. Karpov G. Simulation systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5. – Sanct-Petersburg: BHV-Petersburg, 2006. – 390 p.

5. Lowe A., Kelton W. Lowe a Simulation: study guide. – Sanct-Petersburg, 2004. – 847 p.

Получено 18.04.16

A.V. Chmielewska, Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: aquarel85@mail.ru)

D.S. Koptev, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: dmitrii_spartak@mail.ru)

A.N. Shevtsov, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: aleksey_shevtsov@mail.ru)

A.N. Schitov, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: shchitov.1996@mail.ru)

CALCULATION JF OPTIMAL NUMBER OF OPERATORS CALL-CENTR ON THE BASIS OF A SELECTION COMMITTEE SWSU

Implemented design service call center complex with all external interfaces and internal connections. Bring him a functional diagram showing the characteristics of the organization EAI switching core. The model definition download one operator that is based on the calculation of the queuing system.

To solve the problems on the calculation of the parameters of ICD systems used Teletraffic theory. Its techniques and is expected to make a further payment of service requests arriving at sall- centers using Erlang formula. The physical meaning of the Erlang formulas is that they express the likely state of the system limits the mass of customer service depending on the intensity of the receipt of applications, service intensity, the number of service channels.

Selection committee - it is primarily office smart phone system for the reception and processing of calls, automatic call centers customer service and voice informants. Call center functions let you provide round the clock service for receiving calls for special nomSovremennye Call centers have a lot of technical features. For example, make it possible to avoid the transfer of a call from operator to operator, "hang up" call to multiple queues, etc. The call is routed to the operator who best respond to it. This saves time as the Client and Call Center employees. Automate routine procedures that are used to spending time operators (for example, the provision of automatic reference information about the company, obtaining information about the client's balance sheet, etc.) allows the system interactive voice response (IVR).

The ability to respond quickly to changes in call flows allows us to serve their optimal amount of resources. For example, while dramatically increasing the flow of calls to the same group of operators (this can happen if the network operator had problems in the network) administrator Call center can add to it the operators of the other group, which at the moment is more free, and thus balance the load and sustain the high quality of customer service. The ability to quickly respond to changing operating conditions Call center allows us to serve customers optimally.

УДК 535.648.01

С.С. Федоров, преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ssfedorov@list.ru)

Д.Н. Тютюнов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: tjutjunov@mail.ru)

Н.С. Кобелев, д-р техн. наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

С.И. Горностаев, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: pgs_swsu@mail.ru)

А.В. Бойков, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: tjutjunov@mail.ru)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАВИСИМОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассматриваются некоторые особенности математического моделирования процесса управления ресурсоэффективной системой теплоснабжения производственных зданий и сооружений, поддержание постоянной температуры в которых особо критично для осуществляющегося там технологического процесса.

В статье сделан упор на необходимость постоянной модернизации алгоритмов управления системой распределения технических энергоносителей. Выбор оптимального режима – основа управления тепломассопереноса в системе теплоснабжения. В работе проведено исследование системы отопления зданий (сооружений) с зависимым подключением к тепловым сетям. Рассмотрен тепловой баланс в трубопроводах системы отопления здания для стальных труб и получена рабочая формула,

связывающая температуры теплоносителя в подающем трубопроводе, точке смешения теплоносителя и температуры внутреннего воздуха в отапливаемом здании или сооружении. Анализ полученных преобразований с учетом ранее выведенных соотношений позволил связать температуры в точке смешения теплоносителя и внутреннего воздуха отапливаемого здания с температурой наружного воздуха, что имеет важное практическое значение. Проведенные исследования позволили получить зависимость между расходами теплоносителя в подающем трубопроводе и смесительном устройстве, установленном на перемычке между подающим и обратным трубопроводами, что дало возможность разработать структурную схему управления непрерывным процессом теплоснабжения зданий и сооружений. Экспериментальные исследования объектов теплоснабжения, подключенных по зависимой схеме к источнику тепла, позволяют представить их структуру с учетом инерционных свойств в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном первого порядка. Предложен алгоритм работы системы управления с учетом влияния инерции системы теплоснабжения.

Ключевые слова: *управление системой отопления, математическая модель, ресурсосбережение, функциональная схема, теплоснабжение.*

***

В условиях реализации Государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» становятся актуальными задачи повышения эффективности управления распределением тепловых потоков в системах теплоснабжения зданий и сооружений, что, в свою очередь, требует постоянной модернизации алгоритмов управления. Совершенствование управления тепловыми потоками в системе отопления является одной из важнейших проблем в энергосбережении.

Выбор оптимального режима управления тепловыми потоками в системе теплоснабжения относится к важнейшим проблемам в энергосбережении. В работах [1-3] был исследован тепловой баланс в трубопроводах системы отопления для стальных труб типоразмера с отношением внутреннего и внешнего диаметров соответственно $d_1/d_2 < 0{,}98$ (рис.1).

Было получено соотношение

$$t_A = t_к\left(1 - e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}\right) + t_1 e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}, \qquad (1)$$

где $t_1, t_A, t_к$ − соответственно температуры: теплоносителя в подающем трубопроводе, точке А, воздуха в отапливаемом помещении, ^oC;

τ − время, с;

τ_3, T − соответственно время полного запаздывания в переходном процессе и постоянная тепловой нагрузки R,с.

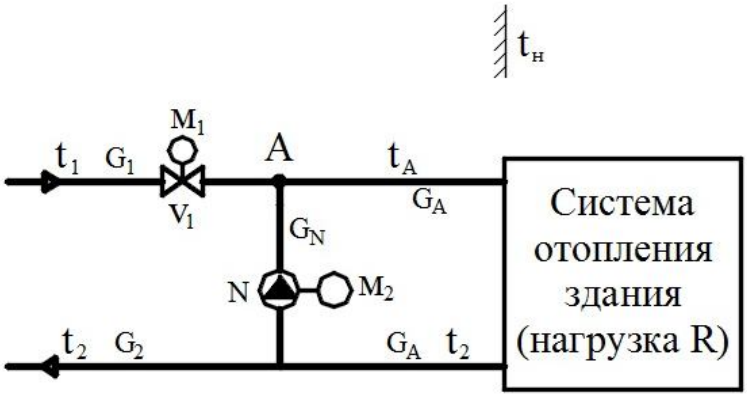


Рис.1. Вариант зависимой схемы присоединения системы отопления со смешением воды

Из (1) следует:

$$t_к = \frac{t_A + t_1 e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}}{1 - e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}}. \qquad (2)$$

В полученной зависимости отсутствует влияние температуры наружного воздуха $t_н$. Включим в рассматриваемую зависимость переменную $t_н$ с помощью соотношения теплового баланса.

Учитывая это соотношение, в [4, 5] была получена зависимость, связывающая параметры $t_н, t_A, t_к$:

$$t_k = \frac{t_A + \bar{k} \cdot t_н}{\bar{k} + 1}, \qquad (3)$$

где $\bar{k}$ – безразмерная константа, учитывающая конструкцию трубопроводов системы отопления, которая определяется по следующей формуле:

$$\bar{k} = \frac{k_2 F}{k_1 \pi d_2 \ell}, \qquad (4)$$

причем

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \qquad (5)$$

где $\frac{1}{\alpha_1}, \frac{1}{\alpha_2}$ – соответственно термические сопротивления теплоотдачи от теплой воды в трубопроводе к внутренней поверхности стенки трубы и от внешней поверхности стенки трубы к воздуху в обогреваемом помещении, $Вт/м^2 \times град$;

$\frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}}$ – термическое сопротивление стенки трубы, $Вт/м^2 \times град$;

d_2, ℓ – соответственно внешний диаметр трубы и длина трубопроводов в системе отопления, м.

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_4}}, \qquad (6)$$

где $\frac{1}{\alpha_3}, \frac{1}{\alpha_4}$ – соответственно термические сопротивления теплоотдачи от теплого воздуха в отапливаемом помещении к внутренней поверхности стенки ограждения здания и от внешней поверхности стенки ограждения к наружному воздуху, окружающему здание, $Вт/м^2 \times град$;

$\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$ – термическое сопротивления ограждающей конструкции, $Вт/м^2 \times град$;

F – общая площадь ограждающей здание поверхности, $м^2$.

Сравнивая (2) и (3), получим зависимость

$$t_A = \frac{\left(\bar{k}+1\right) e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}} t_1 + (e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}} - 1)\bar{k} \cdot t_н}{\bar{k} + e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}}. \qquad (7)$$

Преобразуем выражение (7) к следующему виду:

$$t_A = \frac{\left(\bar{k}+1\right) e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}}{\bar{k} + e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}} \cdot t_1 - \frac{(1 - e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}})\bar{k} \cdot}{\bar{k} + e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}} t_н. \qquad (8)$$

Выведем зависимость между расходами G_1 и G_N соответственно подающего трубопровода и смесительного насоса N, используя уравнение (8):

$$\begin{cases} G_A = G_1 + G_N, \\ G_A\left(t_A - t_2\right) = G_1\left(t_1 - t_2\right). \end{cases} \qquad (9)$$

Подставив (8) в (9), получим

$$G_1 = \frac{G_N}{\left(\frac{\left(t_1 - t_2\right)\left(\bar{k} e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}} + 1\right)}{\left(\bar{k}+1\right) t_1 + \bar{k} t_н \left(e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}} - 1\right) - t_2 \left(\bar{k} e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}} + 1\right)} - 1 \right)}. \qquad (10)$$

Выражение (10) позволяет выбрать в качестве управляющей переменной температуру наружного воздуха $t_н$, а управляемой переменной – расход теплоноси-

теля G_1 в подающем трубопроводе системы теплоснабжения.

Используя соотношения (7) и (10), управление процессом отопления объекта при зависимом присоединении к сетям [6] теплоснабжения можно представить в виде структурной схемы (рис.2).

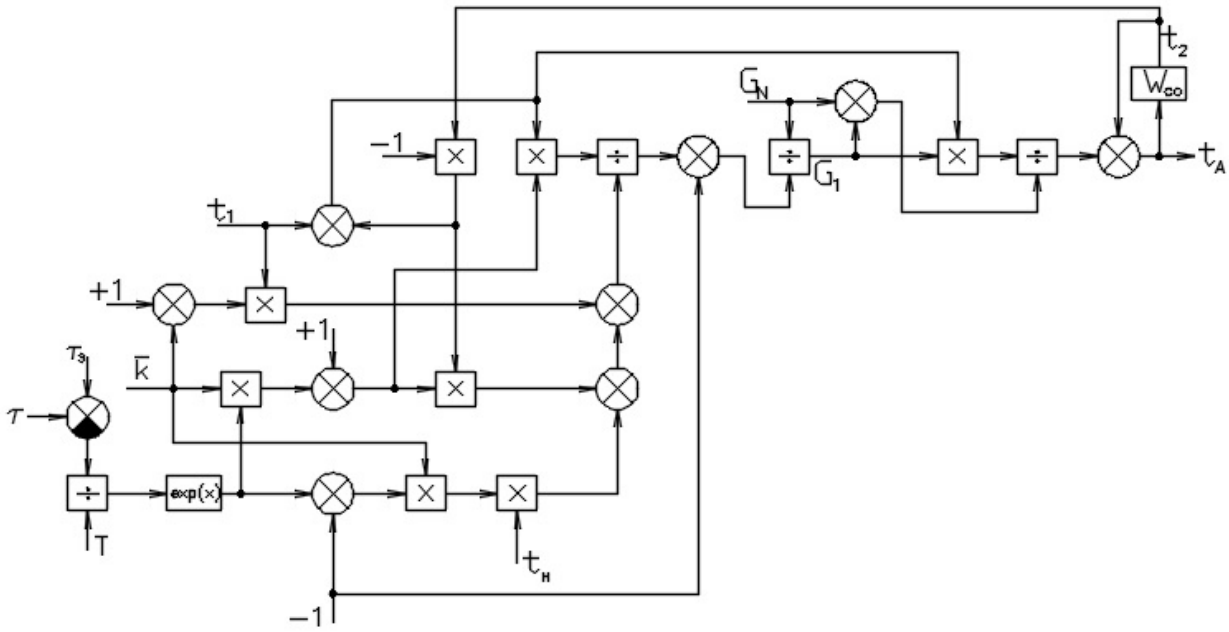


Рис.2. Структурная схема управления непрерывным процессом теплоснабжения здания

Следует отметить, что на основе экспериментальных данных переходные характеристики имеют вид гладких кривых. Структуру объекта управления по каналу t_A можно представить в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном 1-го порядка, что теоретически обосновано в работе [7]:

$$W_{co} = \frac{k}{TS+1} \cdot e^{-S\tau_3}, \qquad (11)$$

где τ_3, T – соответственно время чистого запаздывания и постоянная системы отопления, С;

k – коэффициент усиления;

S – параметр.

Использование полученных соотношений позволит применять разработанный алгоритм управления процессом теплоснабжения зданий и сооружений в проектировании и реконструкции объектов теплообеспечения [8].

Выводы

1. Создана математическая модель управления системой отопления зданий для случая зависимого присоединения тепловой нагрузки к тепловым сетям.

2. Разработана структурная схема управления процессом отопления зданий при зависимом присоединении к тепловым сетям в нестационарном режиме.

3. В процессе анализа полученной математической модели выявлены основная управляющая переменная $t_н$ и основная управляемая переменная G_1.

4. Схема на рис. 2 позволяет определить температуру и расход теплоносителя, подаваемого в систему отопления здания.

Список литературы

1. Исследование зависимости температуры теплоносителя от длины трубопроводов системы отопления / Д.Н. Тютюнов, Н.С. Кобелев, С.С. Федоров, Л.И. Студеникина, А.Ф. Пихлап, А.В. Бойцов, В.А. Минко, А.С. Семиненко // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 3 (48). – С. 167-171.

2. Федоров С.С., Кобелев Н.С., Тютюнов Д.Н. Математическая модель системы автоматического регулирования параметров теплоносителя отапливаемых зданий // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2010. – № 3 (32). – С. 40-44.

3. Федоров С.С., Кобелев В.Н., Тютюнов Д.Н. Алгоритм автоматического управления приводом системы отопления зданий и сооружений // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5 (38). – Ч. 2. – С. 355-359.

4. Константинов И.С., Федоров С.С. Алгоритм управления системой многоконтурного теплоснабжения зданий и сооружений // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 6 (62). – С. 107-111.

5. К вопросу моделирования процесса управления системой теплоснабжения ресурсоэффективных зданий / С.С. Федоров, Д.Н. Тютюнов, Н.В. Клюева, Л.И. Студеникина // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 1 (51). – С. 92-95.

6. Федоров С.С., Клюева Н.В., Бакаева Н.В. Оптимизация процесса управления системой теплоснабжения зданий // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 5 (61). – С. 90-95.

7. Федоров С.С., Тютюнов Д.Н., Клюева Н.В. Управление системой отопления зданий с позиции ресурсосбережения // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 5 (49). – С. 36-39.

8. Константинов И.С., Федоров С.С. Некоторые особенности управления системой теплоснабжения зданий, подключенных по зависимой схеме к источнику тепла // Промышленное и гражданское строительство. – 2016.– № 2. – С. 75-79.

References

1. Issledovanie zavisimosti temperatury teplonositelya ot dliny truboprovodov sistemy otopleniya / D.N. Tyutyunov, N.S. Kobelev, S.S. Fedorov, L.I. Studenikina, A.F. Pikhlap, A.V.Boytsov, V.A. Minko, A.S. Seminenko // Proceeding of the Southwest State University. – 2013. – № 3 (48). – S. 167-171.

2. Fedorov S.S., Kobelev N.S., Tyutyunov D.N. Matematicheskaya model' sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya parametrov teplonositelya otaplivaemykh zdaniy // Proceeding of the Southwest State University. – 2010. – № 3 (32). – S. 40-44.

3. Fedorov S.S., Kobelev V.N., Tyutyunov D.N. Algoritm avtomaticheskogo upravleniya privodom sistemy otopleniya zdaniy i sooruzheniy // Proceeding of the Southwest State University. – 2011. – № 5-2 (38). – S. 355-359.

4. Konstantinov I.S., Fedorov S.S. Algoritm upravleniya sistemoy mnogokonturnogo teplosnabzheniya zdaniy i sooruzheniy // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2015. – № 6 (62). – S. 107-111.

5. K voprosu modelirovaniya protsessa upravleniya sistemoy teplosnabzheniya resursoeffektivnykh zdaniy / S.S. Fedorov, D.N. Tyutyunov, N.V. Klyueva, L.I. Studenikina // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2014. – № 1 (51). – S. 92-95.

6. Fedorov S.S., Klyueva N.V., Bakaeva N.V. Optimizatsiya protsessa upravleniya sistemoy teplosnabzheniya zdaniy // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2015. – № 5 (61). – S. 90-95.

7. Fedorov S.S., Tyutyunov D.N., Klyueva N.V. Upravlenie sistemoy otopleniya zdaniy s pozitsii resursosbere-

zheniya // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2013. – № 5 (49). – S. 36-39.

8. Konstantinov I.S., Fedorov S.S. Nekotorye osobennosti upravleniya sistemoy teplosnabzheniya zdaniy, podklyuchennykh po zavisimoy skheme k istochniku tepla // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2016. – № 2. – S. 75-79.

Получено 22.04.16

S. S. Fedorov, Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: ssfedorov@list.ru)

D. N. Tyutyunov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: tjutjunov@mail.ru)

N. S. Kobelev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

S. I. Gornostayev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk) (e-mail: pgs_swsu@mail.ru)

A.V. Boykov, Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: tjutjunov@mail.ru)

ENERGY BALANCE OF SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF DEPENDENT HEAT SUPPLY

Some features of mathematical model operation of management of resursoeffektivny system of heat supply of production buildings and constructions, maintaining of constant temperature in which is especially critical for the technological process which is carrying out there, are considered.

In article emphasis on need of continuous modernization of control algorithms of system of distribution of technical power supplies is put. The choice of the optimum mode - a basis of management of a heatmass transfer in system of heat supply. In work research of system of heating of buildings (constructions) with dependent connection to thermal networks is conducted. The heat balance in pipelines of system of heating of the building for steel pipes is considered and the working formula connecting heat carrier temperatures in a feed line, a point of mixture of the heat carrier and temperature of internal air in the heated building or a construction is received. The analysis of the received transformations taking into account earlier removed ratios allowed to connect temperatures in a point of mixture of the heat carrier and internal air of the heated building with temperature of fresh air that has important practical value. The conducted researches allowed to receive dependence between heat carrier expenses in the feed line and the mixing device installed on a crossing point between giving and inverse pipelines that gave the chance to develop the block diagram of management of the continuous process of heat supply of buildings and constructions. The pilot studies of object of heat supply connected according to the dependent scheme to heat source, allow to present their structure taking into account inertial properties in the form of a series connection of a link of a dead time with an aperiodic link of first order. The algorithm of work of a control system taking into account influence of inertia of system of heat supply is offered.

Key words: *management of heating of system, mathematical model, resource-saving, function chart, heat supply.*

УДК 528.72;528.721.1

В.Г. Андронов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: vladia58@mail. ru)

С.Г. Емельянов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: rector @swsu.ru)

АВТОНОМНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Разработан метод автономного определения элементов внешнего ориентирования космических снимков, который может быть использован для повышения точности их геопривязки без использования опорных точек местности. Проведен анализ существующих подходов к определению элементов внешнего ориентирования космических снимков, включая методы инерциальной навигации и ориентации космических аппаратов, внешних траекторных радионавигационных измерений, спутниковой навигации и астронавигации. Рассмотрены известные пути коррекции показаний датчиков инерциальных

навигационных систем, необходимость которых обусловлена накоплением ошибок измерений положения и ориентации космического аппарата из-за постоянного интегрирования его линейных и угловых скоростей движения. Отмечено, что спутниковые навигационные системы являются внешними источниками информации по отношению к космическим аппаратам дистанционного зондирования Земли, вследствие чего группировка навигационных спутников может быть преднамеренно ограничена по точности, отключена на длительное время или вовсе выведена из строя. В то же время астронавигационные системы, основанные на звёздных датчиках, используют естественные внешние ориентиры, расположенные на бесконечно больших расстояниях от КА. Предложенный метод основан на математической обработке данных серии астроизмерений, выполненных звёздными датчиками из нескольких точек траектории орбиты, а именно до, во время и после включения целевой съёмочной аппаратуры. Полученная в работе навигационная модель обеспечивает нахождение значений элементов кеплеровской круговой орбиты и углов тангажа, крена и рыскания космического аппарата, которые являются оптимальными в терминах метода наименьших квадратов. После этого вычисляются уточнённые значения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования космического снимка на интервале включения съёмочной аппаратуры, которые используются далее для оперативной высокоточной геопривязки результатов дистанционного зондирования Земли и решения многих целевых задач.

Ключевые слова: *элементы внешнего ориентирования космических снимков, звёздные датчики, оперативная геопривязка космических снимков.*

***

Методологическую основу автономного определения элементов внешнего ориентирования (ЭВО) космических снимков составляют методы и средства инерциальной навигации [1-4], обеспечивающие измерение на борту космического аппарата (КА) составляющих его линейной и угловой скоростей движения. При этом текущие координаты и угловая ориентация КА, определяющие соответственно линейные и угловые ЭВО снимков, вычисляются путём интегрирования значений этих скоростей. Существенными недостатками инерциальной навигационной системы (ИНС) являются «дрейф нуля» и «уход осей», которые обусловлены накоплением ошибок измерений положения и ориентации КА из-за постоянного интегрирования его линейных и угловых скоростей движения [5-8]. Эти ошибки взаимосвязаны и растут таким образом, что через некоторое время погрешность измеряемых ИНС данных становится неприемлемо большой.

В частности, в работе [9] показано, что снижение точности определения ЭВО космических снимков через один час автономного функционирования составляет следующие величины: по линейным ЭВО – до десяти км, по угловым ЭВО – до 0,05 град. Очевидно, что такие ошибки определения ЭВО существенно снижают точность оперативной геопривязки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) по ЭВО космических снимков [10-11]. Вследствие этого мировой тенденцией в развитии методов и средств фотограмметрической обработки космических снимков является использование спутниковых навигационных и астронавигационных систем для коррекции инерциальных измерений [12].

Первые системы обеспечивают коррекцию положения начала всех бортовых систем отсчёта (центра масс КА) в инерциальном пространстве и ухода осей связанной системы координат (ССК) относительно орбитальной системы координат (ОСК) КА, вторые – коррекцию направлений осей ССК относительно инерциальной системы координат (ИСК) [13-14].

Вместе с тем очевидно, что спутниковые навигационные системы являются внешними источниками информации по отношению к КА ДЗЗ, вследствие чего группировка навигационных спутников может быть преднамеренно ограничена по точности, отключена на длительное время или вовсе выведена из строя [15-17]. Будем в дальнейшем называть эти случаи нештатным функционированием

спутниковых навигационных систем. В этих условиях существующие методы уточнения ЭВО, измеренных бортовыми средствами ИНС, базируются на использовании опорных точек местности, что существенно снижает оперативность и автономность фотограмметрической обработки космических снимков. Астронавигационные системы, основанные на звёздных датчиках (ЗД), используют естественные внешние ориентиры, расположенные на бесконечно больших расстояниях от КА. В этой связи актуальными являются исследования вопросов организации высокоточной автономной фотограмметрической обработки результатов ДЗЗ из космоса, основанной только на данных астронавигационных измерений.

Разработанный метод основан на математической обработке данных серии астроизмерений, выполненных ЗД из нескольких точек траектории орбиты КА ДЗЗ, а именно до, во время и после включения съёмочной аппаратуры. Постановка задачи заключается в следующем.

Пусть КА ДЗЗ совершает движение по круговой орбите и в момент t находится в точке S инерциального пространства (рис.1), заданного второй экваториальной ИСК *OXYZ*.

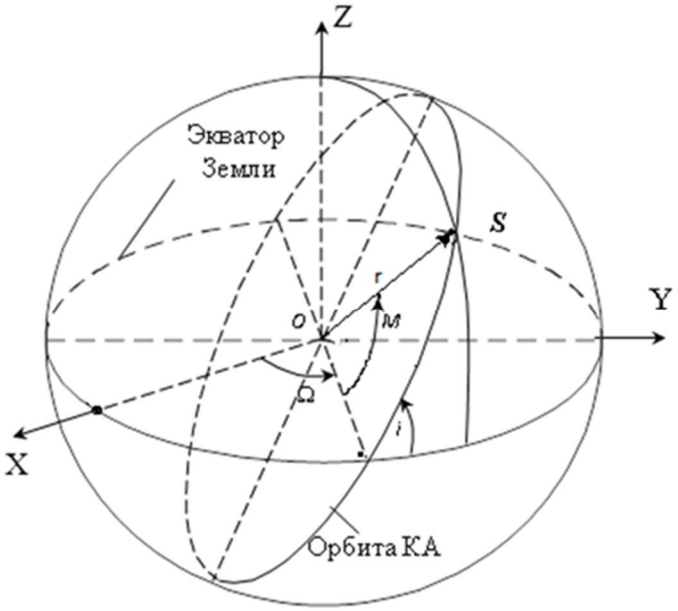


Рис.1. К постановке задачи

Для круговой орбиты справедливы следующие соотношения:

$a = |\boldsymbol{r}| = const$;

$e = 0$;

$M(t) = E(t) = \vartheta(t) = u(t)$,

где a, r, e – большая полуось, модуль радиуса-вектора КА и эксцентриситет орбиты;

$M(t)$, $E(t)$ и $\vartheta(t)$ – средняя, эксцентрическая и истинная аномалия КА;

$u(t)$ – аргумент широты КА [1-2]. Поэтому положение КА в инерциальном пространстве полностью определяется модулем $|r|$ радиуса-вектора $\boldsymbol{r}$, углом наклона плоскости орбиты i, долготой восходящего узла Ω и средней аномалией $M(t)$.

Положим (рис.2), что ЗД имеет фокусное расстояние f^*, а оси его системы координат $Sx^*y^*z^*$ жёстко закреплёны на борту КА под известными углами $\emptyset, \gamma, \eta$ относительно осей ССК $Sx^{\text{сск}}y^{\text{сск}}z^{\text{сск}}$.

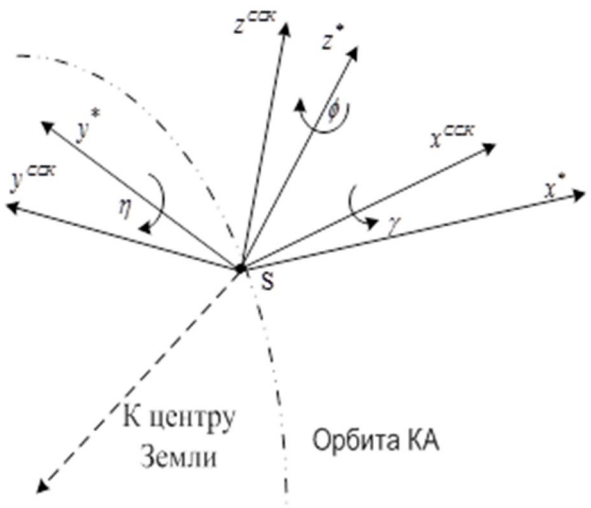


Рис.2. Взаимная ориентация осей систем координат ЗД и ССК КА

При этом матрица ортогональных преобразований $\mathbf{A_1}$ при переходе от системы координат ЗД к ССК априрно известна и имеет следующий вид [2]:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} a_{11}^{(1)} & a_{12}^{(1)} & a_{13}^{(1)} \\ a_{21}^{(1)} & a_{22}^{(1)} & a_{23}^{(1)} \\ a_{31}^{(1)} & a_{32}^{(1)} & a_{33}^{(1)} \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где $a_{mn}^{(1)}(m,n = 1,2,3) = \varphi_{mn}(\emptyset, \gamma, \eta)$.

Поскольку на практике встречается много вариантов крепления ЗД на борту КА [5-9], выражения для (1) оставим в общем виде. Отметим только, что оси x^*и y^* лежат в фокальной плоскости ЗД и образуют его посадочную плоскость в корпусе КА, а ось z^* направлена перпендикулярно этой плоскости от матрицы ПЗС к объективу.

Будем также считать, что матрица ортогональных преобразований $\mathbf{A}_2$ определяет переход от ССК КА к ОСК, а оси последней в каждый момент времени t_i расположены следующим образом (рис.3): ось $S_i x^{\text{ОСК}}$ направлена по трансверсальной составляющей скорости движения КА, ось $S_i z^{\text{ОСК}}$ – по радиусу-вектору $\boldsymbol{r}$, а ось $S_i y^{\text{ОСК}}$ дополняет систему до правой и направлена перпендикулярно плоскости орбиты КА.

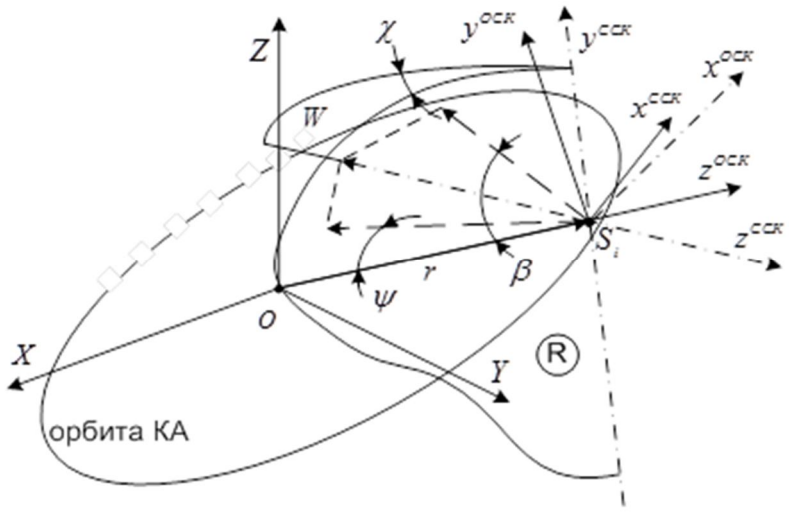


Рис.3. Взаимная ориентация осей ССК КА и ОСК

При этом мгновенная ориентация осей ССК КА относительно осей ОСК описывается углами тангажа ψ, крена β и рыскания χ, которые в фиксированный момент времени определим следующим образом [12-14]: угол тангажа ψ– это угол между проекцией оси $z^{ССК}$ на плоскость орбиты КА и радиусом-вектором r; угол крена β – это угол между проекцией оси $z^{ССК}$ на плоскость ®, проходящую через радиус-вектор r перпендикулярно плоскости орбиты КА, и радиус-вектором r;

угол рыскания χ – это угол между плоскостью W, проходящей через ось $z^{ССК}$ перпендикулярно плоскости орбиты КА, и плоскостью ®.

С учётом изложенного структура матрицы $\mathbf{A}_2$ имеет вид

$$\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} a_{11}^{(2)} & a_{12}^{(2)} & a_{13}^{(2)} \\ a_{21}^{(2)} & a_{22}^{(2)} & a_{23}^{(2)} \\ a_{31}^{(2)} & a_{32}^{(2)} & a_{33}^{(2)} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

а её элементы определяются следующими формулами:

$$\begin{aligned} a_{11}^{(2)} &= \cos\psi \cdot \cos\chi; \\ a_{12}^{(2)} &= \cos\psi \cdot \sin\chi; \\ a_{13}^{(2)} &= -\sin\psi; \\ a_{21}^{(2)} &= \sin\psi \cdot \sin\beta \cos\chi - \cos\beta \cdot \sin\chi; \\ a_{22}^{(2)} &= \sin\psi \cdot \sin\beta \cdot \sin\chi + \cos\beta \cdot \cos\chi; \\ a_{23}^{(2)} &= \sin\beta \cdot \cos\psi; \\ a_{31}^{(2)} &= \cos\beta \cdot \sin\psi \cdot \cos\chi + \sin\beta \cdot \sin\chi; \\ a_{32}^{(2)} &= \cos\beta \cdot \sin\psi \cdot \sin\chi - \sin\beta \cdot \cos\chi; \\ a_{33}^{(2)} &= \cos\psi \cdot \cos\beta. \end{aligned} \quad (3)$$

Условимся также, что матрица направляющих косинусов $\mathbf{A}_3$ определяет переход от ОСК к ИСК, а её структура будет иметь следующий вид:

$$\mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} a_{11}^{(3)} & a_{12}^{(3)} & a_{13}^{(3)} \\ a_{21}^{(3)} & a_{22}^{(3)} & a_{23}^{(3)} \\ a_{31}^{(3)} & a_{32}^{(3)} & a_{33}^{(3)} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} a_{11}^{(3)} &= \left[-\cos\Omega \sin M - \sin\Omega \cos i \cos M\right]; \\ a_{12}^{(3)} &= \sin\Omega \sin i; \\ a_{13}^{(3)} &= \left[\cos\Omega \cos M - \sin\Omega \cos i \sin M\right]; \\ a_{21}^{(3)} &= \left[-\sin\Omega \sin M + \cos\Omega \cos i \cos M\right]; \\ a_{22}^{(3)} &= -\cos\Omega \sin i; \\ a_{23}^{(3)} &= \left[\sin\Omega \cos M + \cos\Omega \cos i \sin M\right]; \\ a_{31}^{(3)} &= \sin i \cos M; \\ a_{32}^{(3)} &= \cos i; \\ a_{33}^{(3)} &= \sin i \sin M. \end{aligned} \quad (5)$$

Положим далее, что на некотором участке траектории движения КА ДЗЗ в момент московского времени t_0 группировка навигационных спутников стала функционировать в нештатном режиме, а целевой аппаратурой ДЗЗ в момент времени $t_0 < t_k \in \{t_i | i = \overline{1,I}\} < 24^h$ и звёздным датчиком в моменты $t_i = \{t_1, \dots, t_k, \dots t_I\}$ была выполнена съёмка соответственно Земли и звёздного неба (рис.4).

При этом допустим, что в моменты времени съёмки звёздного неба угловая ориентация ССК КА в ОСК не изменялась, т.е. ψ_i=const, β_i=const, χ_i=const. Известно также, что на каждом -м снимке звёздного неба (рис.5) измерены плоские координаты $\{x_{ij}^*, y_{ij}^* | i = \overline{1,I}; j = \overline{1,J}\}$ минимум двух звёзд (*), по бортовому каталогу определены их высокоточные инерциальные координаты $\{\alpha_{ij}, \delta_{ij}\}$, а в каждый момент времени t_i средствами ИНС измерены координаты $\tilde{X}_i, \tilde{Y}_i, \tilde{Z}_i$ и скорости $\tilde{\dot{X}}_i, \tilde{\dot{Y}}_i, \tilde{\dot{Z}}_i$ движения КА, значения углов $\tilde{\psi}_i$, $\tilde{\beta}_i$ и $\tilde{\chi}_i$, где тильда "~" над параметрами означает наличие ошибок их измерений, обусловливающее необходимость уточнения значений этих параметров. Требуется определить линейные ЭВО (координаты КА $X(t_k), Y(t_k), Z(t_k)$ и уг-

ловые ЭВО (углы ψ_k, β_k и χ_k) снимка, а также оператор $\Pi_k^{ск}$ перехода от ССК КА в ИСК в момент получения снимка земной поверхности.

Рис.4. Взаимное расположение точек съёмки звёздного неба и Земли

Метод решения поставленной задачи включает в себя следущие три этапа:

1) нахождение оператора $\Pi_k^{ск}$ снимка земной поверхности;

2) построение навигационной модели;

3) определение линейных и угловых ЭВО снимка земной поверхности.

На первом этапе для каждой j-й звезды, изобразившейся на i-м снимке (рис.5), по их измеренным плоским координатам $\{x_{ij}^*, y_{ij}^*\}$ вычисляются направляющие косинусы ортов $\boldsymbol{l}_{ij}^*$ в системе координат $S_i{}^* x^* y^* z^*$.

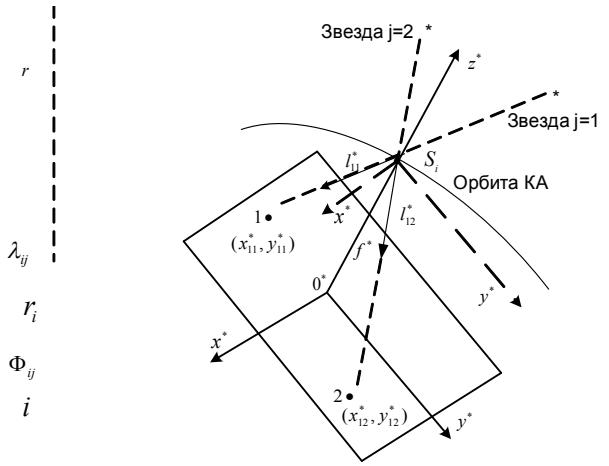


Рис.5. К определению направлений на звёзды в системе координат ЗД

$$\boldsymbol{l}_{ij}^* = (l_{x_{ij}}^*, l_{y_{ij}}^*, l_{z_{ij}}^*)^{\mathrm{T}} = \begin{pmatrix} x_{ij}^*/\Delta_{ij} \\ y_{ij}^*/\Delta_{ij} \\ f^*/\Delta_{ij} \end{pmatrix},$$

где $\Delta_{ij} = \sqrt{(x_{ij}^*)^2 + (y_{ij}^*)^2 + (f^*)^2}$. (6)

Далее по известным инерциальным координатам $\{\alpha_{ij}, \delta_{ij}\}$ звёзд вычисляются направляющие косинусы ортов

$$\boldsymbol{L}_{ij}^* = (L_{X_{ij}}^*, L_{Y_{ij}}^*, L_{Z_{ij}}^*)^{\mathrm{T}} = (cos\alpha_{ij} \cdot cos\delta_{ij}, sin\alpha_{ij} \cdot cos\delta_{ij}, sin\delta_{ij})^{\mathrm{T}}, \quad (7)$$

заданных в ИСК.

После этого для каждого снимка звёздного неба формируются и решаются системы уравнений

$$\boldsymbol{L}_{ij}^* = \Pi_i^* \cdot \boldsymbol{l}_{ij}^*, \quad (8)$$

в каждой из которой неизвестными являются элементы операторов Π_i^*, устанавливающие в моменты времени t_i ориентацию системы координат ЗД относительно ИСК. Алгоритм решения системы уравнений (8) приведен в работе [3], в которой также показано, что для решения на каждом i-м снимке необходимо распознать и измерить координаты не менее двух звёзд.

В результате вычислений для каждого снимка получают элементы матриц направляющих косинусов:

$$\Pi_i^* = \begin{bmatrix} p_{11}(t_i) & p_{12}(t_i) & p_{13}(t_i) \\ p_{21}(t_i) & p_{22}(t_i) & p_{23}(t_i) \\ p_{31}(t_i) & p_{32}(t_i) & p_{33}(t_i) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Для определения оператора $\Pi_k^{ск}$ используется априорно известная матрица направляющих косинусов (1).

Тогда имеем:

$$\Pi_k^{\text{ССК}} = \Pi_k^* \cdot \mathbf{A}_1^{\text{T}}. \qquad (10)$$

На втором этапе производится построение навигационной модели, устанавливающей функциональную связь астроизмерений и определяемых ЭВО снимка. С этой целью воспользуемся функциональной связью между ортами, определяющими направления на звезды в ИСК и ПСК:

$$\boldsymbol{L}_{ij}^* = \Pi_{\boldsymbol{ij}}^* \cdot \boldsymbol{l}_{ij}^* . \qquad (11)$$

Поскольку

$$\Pi_{\boldsymbol{ij}}^* = \boldsymbol{A}_{\boldsymbol{ij}} = \mathbf{A_3} \cdot \mathbf{A_2} \cdot \mathbf{A_1} , \qquad (12)$$

имеем

$$\boldsymbol{L}_{ij}^* = \boldsymbol{A}_{\boldsymbol{ij}} \cdot \boldsymbol{l}_{ij}^* . \qquad (13)$$

Векторно-матричное уравнение (13) в числе неизвестных содержит пять постоянных $(i, \Omega, \psi, \beta, \chi)$ параметров и один переменный $M(t_i)$, являющийся функцией от времени съёмки. Для получения однородной структуры навигационной модели (13), включающей в себя постоянное число неизвестных, подставим в (5) вместо средней аномалии $M(t_i)$ эквивалентное ей выражение [3]:

$$M(t_i) = M_0 + n_{\text{ср}}(t_i - t_0), \qquad (14)$$

где M_0 – средняя аномалия в начальную эпоху t_0;

$n_{\text{ср}}$ – среднее движение КА.

При этом под начальной эпохой t_0 будем понимать априорно известное московское время последней коррекции данных ИНС КА по спутниковым навигационным измерениям. Тогда в моменты времени астроизмерений $t_i \in (t_0, t_0 + \text{T})$, где T – период обращения КА, значения параметров $\tilde{n}_{\text{ср}}, \tilde{\imath}, \tilde{\Omega}, \tilde{\psi}, \tilde{\beta}, \tilde{\chi}$, полученные по данным ИНС, можно считать приближённо известными в достаточно близкой окрестности к своим истинным значениям.

Разработанная навигационная модель позволяет составить систему из $\text{I}\cdot J$ уравнений, содержащих семь уточняемых параметров $\tilde{n}_{\text{ср}}, \tilde{\imath}, \tilde{\Omega}, \tilde{\psi}, \tilde{\beta}, \tilde{\chi}$.

На *третьем этапе* выполняется уточнение элементов кеплеровской орбиты КА, по которым затем определяются линейные и угловые ЭВО снимка земной поверхности, полученного с борта КА в момент времени t_k.

С этой целью производится линеаризация уравнений навигационной модели (13) и для каждой -й звезды с найденными на первом этапе решения задачи направляющими косинусами $\boldsymbol{l}_{ij}^*$ и $\boldsymbol{L}_{ij}^*$ с учётом (5), (12) и (14) составляется и решается по методу наименьших квадратов следующая система уравнений поправок:

$$\frac{\partial(\text{L}^*_{\text{X}_{\text{ij}}}, \text{L}^*_{\text{Y}_{\text{ij}}}, \text{L}^*_{\text{Z}_{\text{ij}}})}{\partial \tilde{\text{a}}_{\text{ij}}} \cdot \frac{\partial \text{a}_{\text{ij}}}{\partial\left(\tilde{\text{a}}_{\text{ij}}^{(3)}, \tilde{\text{a}}_{\text{ij}}^{(2)}, \text{a}_{\text{ij}}^{(1)}\right)} \cdot \frac{\partial\left(\text{a}_{\text{ij}}^{(3)}, \text{a}_{\text{ij}}^{(2)}, \text{a}_{\text{ij}}^{(1)}\right)}{\partial(\tilde{\text{n}}_{\text{ср}}, \tilde{\imath}, \tilde{\Omega}, \tilde{\text{M}}_1, \tilde{\psi}, \tilde{\beta}, \tilde{\chi})} \cdot \begin{pmatrix} \Delta \text{n}_{\text{ср}} \\ \Delta \text{i} \\ \Delta\Omega \\ \Delta \text{M}_1 \\ \Delta\psi \\ \Delta\beta \\ \Delta\chi \end{pmatrix} + + \begin{pmatrix} \tilde{\text{L}}^*_{\text{X}_{\text{ij}}} - \text{L}^*_{\text{X}_{\text{ij}}} \\ \tilde{\text{L}}^*_{\text{Y}_{\text{ij}}} - \text{L}^*_{\text{Y}_{\text{ij}}} \\ \tilde{\text{L}}^*_{\text{Z}_{\text{ij}}} - \text{L}^*_{\text{Z}_{\text{ij}}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vartheta_{\text{X}_{\text{ij}}} \\ \vartheta_{\text{Y}_{\text{ij}}} \\ \vartheta_{\text{Z}_{\text{ij}}} \end{pmatrix}. \qquad (15)$$

Обозначим:

$$\mathbf{B}_{[3\times9]}^{(1)} = \frac{\partial(\text{L}^*_{\text{X}_{\text{ij}}}, \text{L}^*_{\text{Y}_{\text{ij}}}, \text{L}^*_{\text{Z}_{\text{ij}}})}{\partial \tilde{\text{a}}_{\text{ij}}};$$

$$\mathbf{B}_{[9\times27]}^{(2)} = \frac{\partial \text{a}_{\text{ij}}}{\partial\left(\tilde{\text{a}}_{\text{ij}}^{(3)}, \tilde{\text{a}}_{\text{ij}}^{(2)}, \text{a}_{\text{ij}}^{(1)}\right)};$$

$$\mathbf{B}_{[27\times7]}^{(3)} = \frac{\partial\left(\text{a}_{\text{ij}}^{(3)}, \text{a}_{\text{ij}}^{(2)}, \text{a}_{\text{ij}}^{(1)}\right)}{\partial\left(\tilde{\text{n}}_{\text{ср}}, \tilde{\imath}, \tilde{\Omega}, \tilde{\text{M}}_1, \tilde{\psi}, \tilde{\beta}, \tilde{\chi}\right)};$$

$$\mathbf{B}_{[3\times7]} = \left|\mathbf{B}_{[3\times9]}^{(1)} \cdot \mathbf{B}_{[9\times27]}^{(2)} \cdot \mathbf{B}_{[27\times7]}^{(3)}\right|;$$

$$\Delta\tilde{\mathbf{U}}_{(7,1)} = (\tilde{\text{n}}_{\text{ср}}, \tilde{\imath}, \tilde{\Omega}, \tilde{\text{M}}_1, \tilde{\psi}, \tilde{\beta}, \tilde{\chi})^{\text{T}};$$

$$\mathbf{L}_{(3,1)} = \begin{pmatrix} \tilde{\text{L}}^*_{\text{X}_{\text{ij}}} - \text{L}^*_{\text{X}_{\text{ij}}} \\ \tilde{\text{L}}^*_{\text{Y}_{\text{ij}}} - \text{L}^*_{\text{Y}_{\text{ij}}} \\ \tilde{\text{L}}^*_{\text{Z}_{\text{ij}}} - \text{L}^*_{\text{Z}_{\text{ij}}} \end{pmatrix};$$

$$\boldsymbol{\vartheta}_{(3,1)} = \begin{pmatrix} \vartheta_{X_{ij}} \\ \vartheta_{Y_{ij}} \\ \vartheta_{Z_{ij}} \end{pmatrix}.$$

Тогда для каждой включенной в обработку звезды можно составить векторно-матричное уравнение поправок:

$$\boldsymbol{B}_{[3\times7]} \cdot \Delta\widetilde{\boldsymbol{U}}_{(7,1)} + \boldsymbol{L}_{(3,1)} = \boldsymbol{\vartheta}_{(3,1)},$$

которое при числе звёзд $J > 7$ решается методом наименьших квадратов.

После получения МНК-оценок элементов кеплеровской орбиты и угловых ЭВО производится расчёт ошибок их вычисления и далее, учитывая известное соотношение $n_{\text{ср}} = \sqrt{\mu_{\oplus}} \cdot r^{3/2}$, где $\mu_{\oplus}$=398600,5 $\cdot 10^9$ м^3/с^2, определяется модуль |**r**| радиуса-вектора КА $\boldsymbol{r}$ и по известным формулам баллистики – координаты КА (линейные ЭВО) в момент включения съёмочной аппаратуры.

Таким образом, для решения задачи автономного высокоточного определения ЭВО космических снимков по астронавигационным измерениям звёздного неба необходимо с трёх разных точек траектории круговой орбиты КА получить по одному снимку звёздного неба, на каждом из которых можно опознать не менее двух звёзд.

Полученная в работе навигационная модель устанавливает функциональную связь между астронавигационными измерениями направлений на звёзды, элементами кеплеровской круговой орбиты КА, значениями углов тангажа, крена и рыскания КА и элементами матрицы ориентации, связанной с КА системы координат в инерциальном пространстве.

После нахождения значений элементов кеплеровской орбиты по известным формулам баллистики вычисляются уточнённые значения линейных и угловых ЭВО снимка в момент и/или на интервале включения съёмочной аппаратуры. Полученные значения ЭВО космических снимков используются далее для их оперативной высокоточной геопривязки и решения многих целевых задач.

Список литературы

1. Прохоров М., Захаров А. Ориентация и навигация в космосе – новые методы и перспективы // Физика космоса: труды 40-й Международной студенческой научной конференции (Екатеринбург, 31 янв.-4 февр. 2011 г.) – Екатеринбург, 2011. – С. 170–195.

2. Бахшиян Б. Ц., Федяев К. С. Основы космической баллистики и навигации: курс лекций. – М.: ИКИ РАН, 2013. – 119 с.

3. Lawrence A. Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance, and Control, Springer, 2012.

4. Noureldin A., Karamat T.B., and Georgy J., Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration, Springer, 2013.

5. Interferometric closed-loop fiber-optic gyroscopes / Yu. N. Korkishko, V.A. Fedorov, V.E. Prilutskii, V.G.Ponomarev, I.V. Morev, S.M. Kostritskii // in Proceedings of SPIE. – 2012. – Vol.8351, Third Asia Pacific Optical Sensors Conference, edited by John Canning, Gangding Peng, (SPIE, Bellingham, WA, 2012). P. 83513L-1–83513L-8.

6. Closed loop fiber optical gyroscopes for commercial and space applications / Yu.Korkishko, V.Fedorov, V. Prilutskii, V.Ponomarev, I.Morev, S. Kostritskii, A.Zuev, V.Varnakov // in Proc. Inertial Sensors and Systems - Symposium Gyro Technology – 2012. – Karlsruhe (Germany, 18-19 September), 2012. – P.14.1-14.15.

7. Software Seminatural Development for FOG Inertial Satellite Navigation System SINS-500 / A.V. Chernodarov, A.P. Patrikeev, Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov,

S.E. Perelyaev // Gyroscopy and Navigation. – 2010. – Vol. 1, N 4. – P. 330–340.

8. Андронов В.Г. Теоретические основы геоорбитального моделирования космических сканерных изображений высокого разрешения: монография / Юго-Зап.гос.ун-т. – Курск, 2012. – 260 с.

9. Андронов В.Г., Волобуев Ю.Н., Заичко В.А. Модель дрейфа связки проектирующих лучей в фокальной плоскости оптико-электронной сканирующей системы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №1. – С.166-170.

10. Андронов В.Г., Волобуев Ю.Н. Кинематическая модель углового движения связки проектирующих лучей в оптико-электронной сканирующей системе // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – №2. – Ч. 3. – С.218-223.

11. Андронов В.Г., Дегтярёв С.В., Клочков И.А. Общая геоорбитальная модель космической сканерной съёмки // Геоинформатика. – 2010. – №1. – С.48-52.

12. Андронов В.Г., Волобуев Ю.Н., Заичко В.А. Формирование связки проектирующих лучей в космической оптико-электронной сканирующей системе // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №1. – С.15-19.

13. Андронов В.Г., Клочков И.А., Мордавченко Т.В. Формирование угловых параметров космической сканерной съёмки в режимах трёхосного программного управления осью визирования КА // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2010. – №6. – С.43-47.

14. Андронов В.Г., Дегтярёв С.В., Клочков И. А. Особенности формирования космических сканерных изображений линейками матриц ПЗС // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010. – Т.8, № 7. – С.11-15.

15. Андронов В.Г., Клочков И.А., Лазарева Е.В. Общая модель скорости движения космических сканерных изображений в инерциальном пространстве // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2010. – №4. – С.58-61.

16. Андронов В.Г., Клочков И.А., Лазарева Е.В. Общая постановка и решение прямой фотограмметрической задачи для моноскопических космических изображений // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2009. – Т.7, № 4. – С.33-35.

17. Емельянов С.Г., Титов Д.В. Математическая модель распознавания и анализа изображений для встраиваемых оптико-электронных устройств // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание–2012: сборник материалов X Международной научно-технической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2012. – С. 37-38.

References

1. Prokhorov M.E, Zakharov A.И. Orientation and navigation in space - new methods and prospects // Physics of space: proceedings of the 40th International students ' scientific conference, Ekaterinburg (31 Jan.-4 Feb. 2011). – Ekaterinburg, 2011. – P. 170-195.

2. Bakhshiyan B. TS., Fedyaev K. S. Fundamentals of space ballistics and navigation: Course of lectures. – Moscow, 2013. – P. 119.

3. Lawrence A. Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance, and Control, Springer, 2012.

4. Noureldin A., Karamat T.B. and Georgy J. Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration, Springer, 2013.

5. Interferometric closed-loop fiber-optic gyroscopes / Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov, V.E.Prilutskii, V.G.Ponomarev, I.V.Morev, S.M.Kostritskii // in Proceedings of SPIE. – Vol.8351: Third Asia Pacific Optical Sensors Conference, edited by John Canning, Gangding Peng, (SPIE, Bellingham, WA, 2012). – P. 83513L-1–83513L-8.

6. Closed loop fiber optical gyroscopes for commercial and space applications / Yu.Korkishko, V.Fedorov, V.Prilutskii, V.Ponomarev, I.Morev, S. Kostritskii, A.Zuev, V.Varnakov // in Proc. Inertial Sensors and Systems - Symposium Gyro Technology 2012. – Karlsruhe (Germany, 18-19 September), 2012. – P.14.1-14.15.

7. Software Seminatural Development for FOG Inertial Satellite Navigation System SINS-500 / A.V. Chernodarov, A.P. Patrikeev, Yu.N. Korkishko, V.A .Fedorov, S.E. Perelyaev // Gyroscopy and Navigation. – 2010. – Vol. 1, N. 4. – P. 330–340.

8. Andronov V. G. Theoretical basis gewerbeallee simulation space scanner high-resolution images: monograph / Southwest State University. – Kursk, 2012. – 260 p.

9. Andronov V.G., Volobujev Y.N., Zaichko V.A. The model of drift of bunch projecting beams in focal plane of optical-electronicscanning system // Proceedings of the Southwest State University. Issue: Management, information technology, computer science. Medical instrument making. – 2013. – N 1. – P. 166-170.

10. Andronov V.G., Volobujev Y.N. Kinematic model of the angle motion of the bunch of projecting lines in optoelectronic scanning system // Proceedings of the Southwest State University. Issue: Management, information technology, computer science. Medical instrument making. – 2012. – Part 2, N. 3. – P. 218-222.

11. Andronov V.G., Degtyarev S.V., Klochkov I.A. General geoorbital model of space scanning sensing // GEO-INFORMATICS. – 2010. – N 1. – P. 48-52.

12. Andronov V.G., Klochkov I.A., Lazareva E.V. The general setting and sovlving of direct photogrammetric problem for phasmajector cosmic images // INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM. – 2009. – Vol. 7, N 1. – P. 33-35.

13. Andronov V.G., Zaichko V.A., Volobujev Y.N. Formation of bundles of projecting lines in space optical-electronic scanning system // Proceedings of the Southwest State University. Issue: Management, information technology, computer science. Medical instrument making. – 2013. – N 1. – P. 15-19.

14. Andronov V. G., Klochkov I. A., Mordovenko T. V. Formation of angular parameters of space scanner imagery in modes three-axis software control axis of sight Spacecraft // Izvestiya vuzov. Geodesy and aerial photography. – 2010. – N 6. – P. 43-47.

15. Andronov V.G., Degtyarev S.V., Klochkov I.A. The particularities of forming space scanner images by the lines matrix charge-coupled devices (CCD) // INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM. – 2010. – Vol. 8, N 7. – P. 11-15.

16. Andronov V. G., Klochkov I. A., Lazareva E. V. General model of speed space scanner images in the inertial space // Izvestiya vuzov. Geodesy and aerial photography. – 2010. – N 4. – P. 58-61.

Получено 29.04.16

V.G. Andronov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: vladia58@mail.ru)

S.G. Emelyanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: rector @swsu.ru)

AUTONOMOUS DETERMINATION OF THE EXTERIOR ORIENTATION PARAMETERS OF SATELLITE IMAGES

Developed a method of Autonomous determination of the exterior orientation parameters of satellite images, which can be used to improve the accuracy of their geo-referencing without using reference point. The analysis of existing approaches to the determination of the exterior orientation parameters of satellite images, including the methods of inertial navigation and guidance spacecraft navigation external trajectory measurements of satellite navigation and celestial navigation. Describes the known ways of correction of the sensor readings of inertial navigation systems, the necessity of which is caused by the accumulation of measurement errors of the position and orientation of the spacecraft due to the constant integration of its linear and angular speeds. Noted that satellite navigation systems are external sources of information in relation to the spacecraft remote sensing of the Earth, so that the group of navigation satellites can be intentionally limited in precision, disabled for a long time or even disabled. At the same time, uniform system based on star sensors, use natural landmarks, are located at infinitely large distances from the SPACECRAFT. The proposed method is based on mathematical processing of data series is proposed for made star sensors from several points of the trajectory of the orbit, namely, before, during, and after the inclusion of target shooting equipment. The navigation model allows finding the values of the elements of the Keplerian circular orbits and angles of pitch, roll, and yaw of the spacecraft, which are optimal in terms of least squares. Then calculates the updated values of linear and angular elements of exterior orientation of the space image in the interval the inclusion of imaging equipment, which are used further for the operational high-precision geo-referencing of the results of remote sensing of the Earth and the solution of many targets.

Key words: *exterior orientation parameters of satellite images, the star sensors, the operational georeferencing of satellite images.*

ОТОЗВАНА
28-08-2019

УДК 616.718.046-002-08: (616-009.819.6)

Н.М. Агарков, д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: nikiti4007@yandex.ru)

Т.И. Субботина, д-р мед. наук, профессор, Тульский государственный университет (e-mail: tulgu.bd.2@rambler.ru)

И.В. Коломиец, канд. мед. наук, ОАО «Росно-МС» (Курск) (e-mail: 20.12.1990@mail.ru)

Б.Д. Жидких, д-р мед. наук, профессор, ОАО «Росно-МС» (Курск) (e-mail: bor.zhidkih@gmail.com)

ФАРМАКОЭПИДЕМИОЛОГИЯ И ФАРМАКОТЕРАПИЯ ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ И МНОГОМЕРНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Полученные результаты комплексного фармакоэпидемиологического, фармакоэкономического и клиникофармакологического исследования являются научной основой рационализации фармакотерапии и повышения качества жизни больных гипертонической болезнью. Для повышения результативности фармакотерапии гипертонической болезни предлагается активнее использовать комбинированное лечение, фиксированные комбинированные препараты, диуретики и антагонисты кальция продолжительного действия. Фармакоэпидемиологический анализ гипотензивных средств необходимо осуществлять дифференцированно в городских и сельских территориях. В городских и сельских территориях отмечены высокий уровень кластеризации и внутригруппового взаимодействия гипертонической болезни с заболеваемостью ишемической болезнью сердца, стенокардии, острым инфарктом миокарда и цереброваскулярной патологией. Гипертоническая болезнь оказывает выраженное влияние на смертность от болезней системы кровообращения, ишемической болезни сердца и общую смертность в городах при отсутствии взаимосвязей в сельских районах. Распространенность гипертонической болезни среди сельских жителей превышает таковую в области и городах во все временные периоды и увеличилась с 572 в 2004 г. до 953 случаев на 100 000 населения в 2009 г. Сельские районы с высокой и низкой частотой гипертонической болезни характеризуются географической зависимостью. Разработанные математические модели обеспечивают классификацию территорий с высокой диагностической чувствительностью. Нейросетевые модели фармакоэпидемиологии гипотензивных препаратов в амбулаторных условиях отражают тактику фармакотерапии в городских и сельских территориях и отличаются в управляющих выводах капотеном, β-адреноблокаторами и диуретиками. Нерациональным в сельских районах является использование малоэффективного ингибитора АПФ капотена, комбинированного препарата – андипала, антагониста кальция- верапамила.

***Ключевые слова**: гипертоническая болезнь, фармакотерапия, математический анализ.*

***

Фармакоэпидемиологические исследования последних лет свидетельствуют о том, что среди населения планеты гипертонической болезнью страдают от 450 до 900 миллионов человек и более 3 миллионов ежегодно умирают от возникающих различных осложнений [1, 2]. К 2025 году прогнозируется увеличение больных гипертонической болезнью на 60 % и в абсолютных цифрах составит 1,56 миллиарда. В наибольшей степени повышение заболеваемости произойдёт в развивающихся странах, чем в индустриальных [3].

В США гипертоническая болезнь затрагивает 65 миллионов взрослых и является распространённой патологией, достигая в популяции 30% [3]. В Российской Федерации уровень болезней, характеризующихся повышенным артериальным давлением, в 2000 – 2008 гг. увеличился в 2,2 раза [4], а официально зарегистрировано более 40 миллионов пациентов с гипертонической болезнью, из которых у 90 % не достигается эффективный контроль артериального давления [5]. Это многократно повышает риск развития сердечно-сосудистых осложнений,

инвалидности и смертности, ассоциации которых редко анализируются в фармакоэпидемиологических исследованиях и с применением многомерных математических методов, позволяющих объективизировать выявленные соотношения.

Проведено ретроспективное исследование фармакоэпидемиологии гипотензивных препаратов за 2006-2010 гг. (1-е полугодие) и эпидемиологии гипертонической болезни за 2004-2009 гг. Распространённость гипертонической болезни изучена раздельно в городских и сельских районах области с оценкой динамики. Классификация территориальных систем в указанных группах проведена посредством математико-картографического моделирования и дискриминантного анализа. Для оценки эффективности применения гипотензивных средств на популяционном уровне исследованы ассоциации гипертонической болезни с заболеваемостью и смертностью вследствие болезней системы кровообращения, которые, по мнению B. Williams [2005], являются фиксированными конечными точками, отражающими результативность антигипертензивной фармакотерапии. При выявлении взаимосвязей гипертонической болезни с ассоциируемой патологией использованы многомерные математические методы (кластерный анализ, метод главных компонент) и корреляционный способ в соответствии с методическими требованиями [5].

Фармакоэкономический анализ лечения пациентов с рассматриваемой патологией на амбулаторном этапе включал изучение лекарственных препаратов, приобретённых за личные средства больными городской поликлиники №2 г. Курска и медико-санитарной части №125 г. Курчатова в 2008-2009 гг., т.е. тех медикаментов, которые ранее подвергались фармакоэпидемиологическому исследованию.

В амбулаторных условиях в сельских районах за 2008-2009 гг. выполнен аналогичным образом фармакоэкономический анализ. На стационарном этапе фармакоэкономическому анализу подвергнуты лекарственные средства, приобретённые аптеками горбольницы №2 и Глушковской центральной районной больницы за 2006 г. – 1-е полугодие 2010 г. для пациентов с гипертонической болезнью.

Распространённость гипертонической болезни в городских территориальных системах составила 481 случай, а в сельских районах – 825 случаев на 100 000 населения ($P < 0{,}001$). Математико-картографическое моделирование эпидемиологии гипертонической болезни среди городских территорий с высоким, средним и низким уровнем не выявило пространственной закономерности.

Среди сельских районов высокий уровень патологии установлен в районах, расположенных в юго-восточной (Беловский, Пристенский) и северо-восточной частях области (Советский, Черемисиновский). Географическая закономерность отмечена и для территорий с низкой частотой.

Неравномерность распространённости гипертонической болезни в городских и сельских территориях подтверждается результатами дискриминантного анализа, в результате которого получили математическую модель для заболеваемости в сельских районах

$$y_1 = -0{,}05\, x_2 - 0{,}60\, x_3 + 0{,}03\, x_4 - 0{,}62\, x_5 + 7{,}15\, x_6 + 0{,}46\, x_7 - 8{,}72,$$

а для городского населени

$$y_2 = 0{,}09\, x_2 - 0{,}62\, x_3 + 0{,}04\, x_4 - 1{,}12\, x_5 + 8{,}95\, x_6 + 0{,}31\, x_7 - 11{,}98,$$

где $x_2 - x_7$ – распространённость патологии в 2004-2009 гг.

Определив в дальнейшем расстояние Махаланобиса, установили, что ошибочно классифицированных сельских районов – 3 объекта, а городских, отнесённых к сельским, – 5 объектов. В целом общее количество правильно классифицированных территорий по распространённости

гипертонической болезни составило 22 из 30 возможных. Диагностическая чувствительность разработанной модели составила 84 %.

Компьютерное моделирование ассоциаций распространённости гипертонической болезни с заболеваемостью болезнями системы кровообращения жителей городов выявило прямую достоверную умеренную связь с частотой ишемической болезни сердца (r=+50), слабую прямую связь (r=+0,29) с частотой острого инфаркта миокарда. Прямая достоверная средняя связь характерна для заболеваемости острым инфарктом миокарда, ишемической болезнью сердца и стенокардией. Кластерный анализ показал наиболее тесную интеграцию стенокардии с цереброваскулярной патологией, сформировавших 1-й кластер. Второй кластер представлен заболеваемостью острым инфарктом миокарда и ишемической болезнью сердца. Совместно с последней уровень гипертонической болезни формирует 3-й кластер, с которым интегрирует заболеваемость болезнями системы кровообращения. Метод главных компонент выделил две компоненты с максимальным (78,24 %) вкладом первой, свидетельствующей о том, что увеличение частоты гипертонической болезни сопровождается ростом частоты ишемической болезни сердца, острого инфаркта миокарда.

В сельских районах заболеваемость гипертонической болезнью имеет более выраженную корреляцию с пятью из шести нозологий. Прямая средняя связь установлена с уровнем болезней системы кровообращения (r =+0,53), ишемической болезнью сердца (r =+0,57), общей заболеваемостью (r=+0,45), стенокардией (r=+0,57), цереброваскулярной патологией. Тесное межгрупповое взаимодействие гипертонической болезни с заболеваемостью болезнями системы кровообращения отразилось на дендрограмме (рис.1).

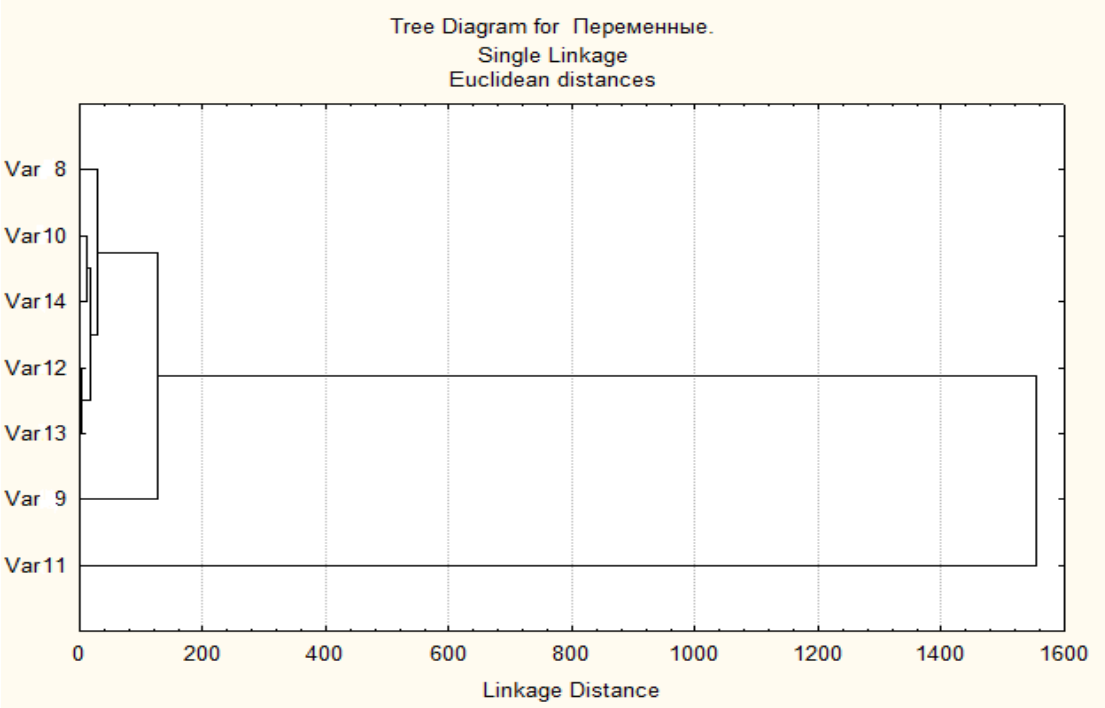


Рис. 1. Классификация болезней системы кровообращения и общей заболеваемости населения сельских районов области в 2004-2009 гг.: var 8 – заболеваемость гипертонической болезнью; var 9 – болезни системы кровообращения; var 10 – ишемическая болезнь сердца; var 11 – общая заболеваемость; var 12 – стенокардия; var 13 – инфаркт миокарда; var 14 – цереброваскулярная патология (на 100 000 населения). Влияние первой главной компоненты выше и составило 90,21 %

При компьютерном моделировании распространённости гипертонической болезни со смертностью от болезней системы кровообращения в городах области корреляция составила (r=+0,68), от ишемической болезни сердца (r=+0,68), от острого нарушения мозгового кровообращения (r=+0,21), общей смертности (r=+0,64). Кластерный и компонентный анализ выявил тесную интеграцию между смертностью вследствие цереброваскулярной патологии и острыми нарушениями мозгового кровообращения и снижением общей смертности, смертности от болезней системы кровообращения, ишемической болезни сердца при уменьшении распространённости гипертонической болезни. Однако в сельских районах исследуемые связи оказались слабыми и с обратной направленностью.

Анализ результатов обследования и опроса репрезентативного числа жителей г. Курска и г. Курчатова показал, что удельный вес больных гипертонической болезнью составляет 38,59 % с превалированием лиц с 1-й степенью патологии. Пациенты получают в основном двухкомпонентную терапию (46,23%), реже монотерапию – 38,41 % и трехкомпонентное лечение – 15,36 %. На амбулаторном этапе лечения в структуре монотерапии преобладают ингибиторы АПФ (47,25 %) и β-адреноблокаторы (19,47 %) ($P < 0,001$). Редко используются препараты с центральным механизмом действия. При комбинированной терапии чистыми сочетаниями являются: ингибитор АПФ и диуретик (36,44 %); ингибитор АПФ, диуретик и β-адреноблокатор (12,47 %); диуретик и β-адреноблокатор (15,12 %).

Фармакоэпидемиологический анализ гипотензивной терапии по группам препаратов выявил, что в структуре ингибиторов АПФ почти три четверти (73,54 %) занимает эналаприл в виде различных торговых наименований и производителей. Малоэффективные капотен и каптоприл используются в 8,40 % случаев. Редко применяются фиксированные комбинированные гипотензивные препараты. Среди β-адреноблокаторов в 17 % пациенты принимали эгилок. В группе антагонистов кальция доминируют нифедипин (40,82 %) и верапамил (25,62 %) с короткой продолжительностью действия. При нейросетевом моделировании гипотензивных препаратов значения позиций представлены эналаприлом, беталоком ЗОК, индапом, нифедипином, отражающими в определенной степени рациональность тактики лечения в амбулаторных условиях. Гипотензивной терапией в городских территориях охвачено 67,45 ± 1,02 % больных. В составе комплексной терапии гипертонической болезни и сопутствующей сердечно-сосудистой патологии пациенты редко используют гиполипидемические средства (16,0 %) и широкоантиагреганты (62,54 %).

При экспертной оценке из 6 предложенных гипотензивных препаратов наибольшее предпочтение по пяти критериям экспертами в городах отдано нолипрелу, набравшему в совокупности 129 баллов. Далее в порядке убывания баллов следуют лозап плюс (117 баллов), беталок ЗОК (115 баллов) и эналаприл (115 баллов). Преимущества нолипрела установлены по следующим критериям: достижение целевого уровня артериального давления, частота редких побочных реакций, доверие к фирме-производителю. Величина коэффициента конкордации W=0,697 указывает на согласованность мнений экспертов при ранжировании гипотензивных препаратов.

Фармакоэпидемиологическое исследование лечения больных гипертонической болезнью на амбулаторном этапе в сельских районах выявило, что среди обследованного контингента населения доля пациентов с данной патологией составляет 46,21 %. Большинство больных (42,32 %) за последний год обращались 2 раза в поликлинику в связи с заболеванием. Лечение осуществляется в 40,09 % в виде монотерапии, в 53,39 % применяется двухкомпонентная и в 6,52% – трёхкомпонентная терапия. Исследование классов антигипертензивных средств, ис-

пользуемых в качестве монотерапии, на основе медицинской документации выявило наиболее частый приём ингибиторов АПФ (53,16 %), антагонистов кальция (11,32 %), диуретиков (19,48 %) и редко β- и -адреноблокаторов (P < 0,001). Анализ схем комбинированной терапии больных гипертонической болезнью в сельских районах обнаружил абсолютное преимущество сочетания ингибитора АПФ с диуретиком (47,53 %), фиксированных комбинированных средств (16,16 %) (P < 0,001). Достоверно редко применялись диуретик и β-адреноблокатор (7,00 %), ингибитор АПФ, диуретик и β-адреноблокатор (2,45 %).

Распределение применяемых гипотензивных препаратов по фармакологическим классам указывает на то, что среди ингибиторов АПФ максимальный удельный вес (42,25%) приходиться на эналаприл. Значительную часть в данной группе занимают также диротон (21,72%) и капотен (20,68%). Класс β-адреноблокаторов представлен в основном конкором (24,59%), метопрололом (20,84%) и метокардом (16,28%). Основная доля пациентов принимают антагонисты первого поколения – верапамил (38,74%) и нифедипин (33,60%), а из диуретиков – индапамид (36,31%).

К специфике нейросетевой модели к фармакоэкоэпидемиологии гипотензивных препаратов в сельских районах относится наличие в ее структуре комбинированных средств, устаревшего ингибитора АПФ капотена (рис. 2).

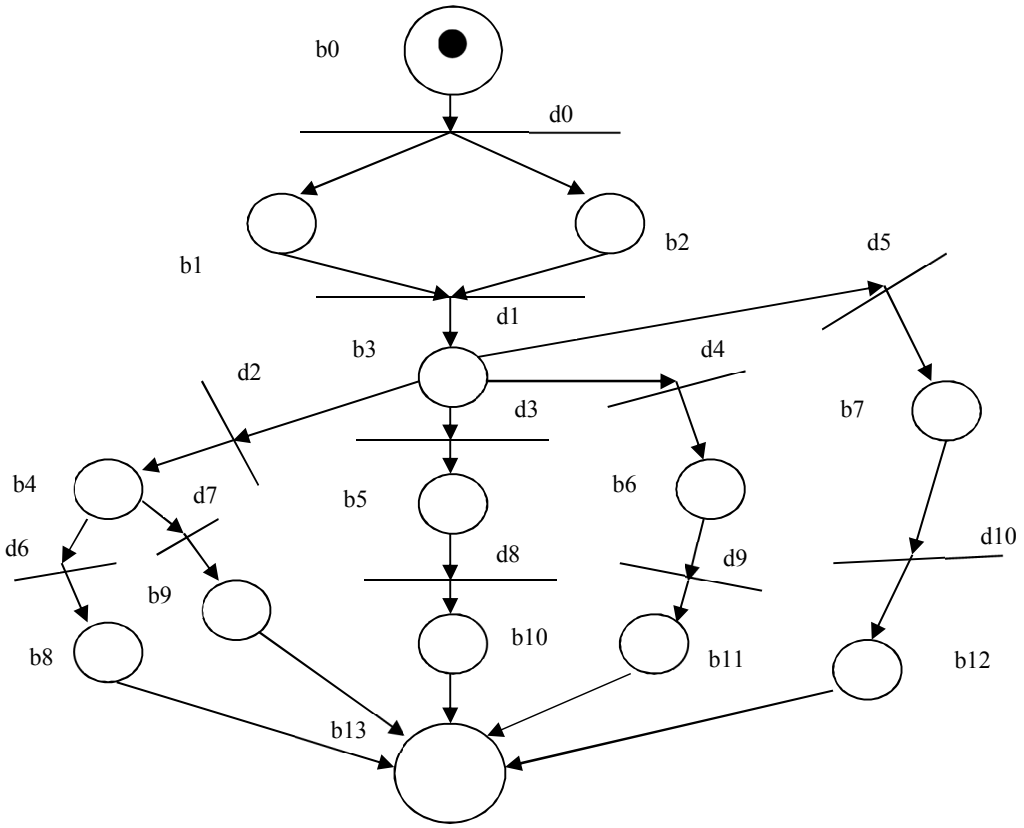


Рис.2. Нейросетевая модель фармакоэпидемиологии гипотензивных препаратов в сельских районах области: b_0 – начало фармакоэпидемиологического анализа гипотензивных препаратов в городах; b_1–анкетирование пациентов; b_2–выкопировка сведений из медицинских карт больных; b_3–фармакологический класс антигипертензивных средств; b_4–ингибиторы АПФ; b_5–диуретики; b_6–комбинированные средства; b_7–антагонисты кальция; b_8–эналаприл; b_9–капотен; b_{10}–индапамид; b_{11}–андипал; b_{12}–варапамил; b_{13}–оценка адекватности фармакоэпидемиологической ситуации в сельских районах

Среди комбинированных препаратов нерациональным является применение андипала. Нейросетивая модель указывает также на высокую распространенность верапамила и необходимость рационализации амбулаторного лечения по названным позициям. В сельских территориях гипотензивной терапией охвачено 59,14% больных обследованной репрезентативной выборки и редко используются статины (6,85%) в сравнении с антиагрегантами (54,82%) (P<0,001).

Врачами центральных районных больниц при экспертном анализе шести предложенных гипотензивных препаратов по интегральной величине рангов первое место занял лозап плюс (127 баллов). Наибольшую сумму лозап плюс набрал по достижении целевого уровня артериального давления. Следующие ранговые позиции соответствуют нолипрелу (122 балла), энапу (111 баллов). Расчетное значение коэффициента конкордации (W = 0,758) превышает $W_{\text{табл}}$ = = 0,508 и свидетельствует о согласованности мнений экспертов.

Список литературы

1. Информационный мониторинг частоты гипертонической болезни, гинекологической патологии и рационального использования лекарственных средств / Н. М. Агарков, М. Ю. Маркелов, И. В. Будник, А. П. Яковлев //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2009. – Т.8, №4. – С.893-894.

2. Информационная поддержка процесса выбора и назначения лекарственных средств / Н. М. Агарков, М. Ю. Маркелов, Д. И. Агаркова, И. В. Будник // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2009. – Т.8, №4. – С.1046-1048.

3. Анализ взаимосвязей, составляющих качество жизни и психовегетативных проявлений при гипертонической болезни и другой хронической патологии / Н. М. Агарков, Б. Д. Жидких, И. В. Коломиец, М. Ю. Маркелов // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т.XVI, №1. – С.223-224.

4. Методология анализа эффективности гипотензивных препаратов / Н. М. Агарков, М. Ю. Маркелов // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т.XVI, №4. – С.195-196.

5. Серёгин С.П., Забровский А.Н., Мишустин В.Н. Многокритериальное математическое моделирование и прогнозирование распространенности злокачественных новообразований // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2. – Ч.1. – С. 41-49.

References

1. Informacionnyj monitoring chastoty gipertonicheskoj bolezni, ginekologicheskoj patologii i racional'nogo ispol'zovanija lekarstvennyh sredstv / N. M. Agarkov, M. Ju. Markelov, I. V. Budnik, A. P. Jakovlev //Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2009. – T.8, №4.– S.893-894.

2. Informacionnaja podderzhka processa vybora i naznachenija lekarstvennyh sredstv / N. M. Agarkov, M. Ju. Markelov, D. I. Agarkova, I. V. Budnik //Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2009. – T.8, №4. – S.1046-1048.

3. Analiz vzaimosvjazej, sostavljajushhih kachestvo zhizni i psihovegetativnyh projavlenij pri gipertonicheskoj bolezni i drugoj hronicheskoj patologii / N. M. Agarkov, B. D. Zhidkih, I. V. Kolomiec, M. Ju. Markelov // Vestnik novyh medicinskih tehnologij. – 2009. – T.XVI, №1. – S.223-224.

4. Agarkov N. M., Markelov M. Ju. Metodologija analiza jeffektivnosti gipotenzivnyh preparatov//Vestnik novyh medicinskih tehnologij. – 2009. – T.XVI, №4. – S.195-196.

5. Serjogin S.P., Zabrovskij A.N., Mishustin V.N. Mnogokriteral'noe matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie rasprostranennosti zlokachestvennyh novoobrazovanij // Proceeding of the Southwest State University. – 2012. – №2. – Ch.1. – S.41-49.

Получено 31.03.16

RETRACTED
28-08-2019

N. M. Agarkov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: nikiti4007@yandex.ru)

T. I. Subbotina, Doctor of Medical Sciences, Professor, Tula State University-University
(e-mail: tulgu.bd.2@rambler.ru)

I. V. Kolomiets, Candidate of Medical Sciences, OAO «Rosno-MS» (Kursk)
(e-mail: 20.12.1990@mail.ru)

B.D. Zhidkikh, Doctor of Medical Sciences, OAO «Rosno-MS» (Kursk)
(e-mail: bor.zhidkih@gmail.com)

PHARMACOEPIDEMIOLOGY AND PHARMACOTHERAPY OF HYPERTENSION WITH THE USE OF MATHEMATICAL ALGORITHMS AND MULTI-DIMENSIONAL MATHEMATICAL ANALYSIS

The results of an integrated pharmaco-epidemiological, pharmaco-economic and clinicopharmacological research is a scientific basis for the rationalization of pharmacotherapy and improve the quality of life in patients with hypertension. To improve the efficiency of pharmacotherapy of hypertension are encouraged to use combination therapy, fixed combination drugs, diuretics and calcium antagonists, long-lasting action. Pharmaco-epidemiological analysis of antihypertensive drugs need to be implemented differentially in urban and rural areas. In urban and rural areas noted the high level of intra-group clustering and interaction of hypertension with the incidence of coronary heart disease, angina, acute myocardial infarction and cerebrovascular disease. Hypertension has a pronounced effect on mortality from circulatory system diseases, coronary heart disease and total mortality in cities in the absence of interlinkages in rural areas. The prevalence of hypertension among rural residents higher than that in the field, and cities in all time periods and has increased from 572 in 2004 to 953 per 100,000 population in 2009, Rural areas with high and low incidence of hypertension are characterized by geographical dependence. Mathematical models provide a classification of areas with high diagnostic sensitivity. Neural network model of pharmacoepidemiology antihypertensive drugs in the outpatient setting reflect the tactics of pharmacotherapy in urban and rural areas and differ in the conclusions of the governing capoten, β-blockers and diuretics. Irrational in the rural areas is the inefficient use of the ACE inhibitor capoten, combination drug – antipala, a calcium antagonist - faith-pamila.

Key words: *hypertension, drug therapy, mathematical analysis.*

УДК 004.032.26; 615.4

М.В. Дюдин, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)
(e-mail: katu-bmi@yandex.ru)

П.С. Кудрявцев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: katu-bmi@yandex.ru)

К.В. Подмастерьев, д-р техн. наук, профессор, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева (тел.: 8(7412)58-70-98)

С.А. Филист, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: sfilist@gmail.com)

О.В. Шаталова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ КЛАССИФИКАЦИИ РЕНТГЕНОГРАММ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Для автоматизированных систем классификации рентгеновских снимков разработаны компьютерные технологии моделирования границ ребер. Модель ребра позволяет получить глобальную информацию, на основе которой осуществляется классификация морфологических структур на рентгенограмме грудной клетки. Исследования показали, что после обработки флюорограммы грудной клетки градиентным оператором на изображении остаются наиболее яркими фрагменты границ ребер. Границы ребер могут быть восстановлены по этим фрагментам путем использования морфологического оператора, использующего нелокальную информацию. Метод определения границ ребер основан на морфологической фильтрации изображения, полученного в результате обработки рентгеновского снимка градиентным оператором.

Построение границы ребра представляет собой итерационный процесс, заключающийся в формировании структурообразующего элемента морфологического оператора, с последующим усилением яркости фрагментов изображения, принадлежащих границе ребра. Процесс синтеза морфологического оператора включает формирование структурообразующего элемента и выбор морфологической операции в структурообразующем элементе. Структурообразующий элемент морфологического оператора определяется сегментом модели ребра, попавшим в маску морфологического оператора. Для его формирования необходимо знать математическую модель границы ребра и смещение структурообразующего элемента относительно начала координат, в которых построена функция, отражающая математическую модель границы ребра.

При построении модели границы ребра выделены два подхода. При реализации первого подхода строятся две модели ребра: для заднего сегмента и для переднего сегмента ребра. При реализации второго подхода делается попытка описать задний и передний сегменты ребра одной математической моделью. При первом походе использовались полиномиальные и экспоненциальные модели. При втором подходе использовались только полиномиальные модели. Экспериментальные исследования показали, что второй подход нецелесообразен, так как в результате совместного моделирования задней и передней частей ребра получаются многосвязные кривые.

Алгоритмы построения модели отличаются использованием нелокальной информации при морфологической фильтрации изображения, полученного в результате обработки рентгеновского снимка локальными операторами.

Ключевые слова: *рентгеновский снимок, морфологический оператор, полиномиальная модель, алгоритм.*

***

Введение

Для решения задач распознавания образов по результатам анализа растровых полутоновых изображений необходимо решить задачу разделения исходного изображения на части (сегменты), различающиеся по своему семантическому содержанию. От качества сегментации зависит эффективность дальнейшего анализа и классификации изображений. Очень часто задача сегментации решается посредством локальных градиентных операторов [1]. При обработке изображения рентгеновского снимка (РС) посредством локального градиентного оператора на изображении формируются фрагменты границ ребер, являющиеся источником интенсивных помех при дальнейшем анализе изображения РС. Поэтому в целях повышения качества автоматического анализа РС эти фрагменты должны быть удалены с изображения. Но перед тем, как убрать эти фрагменты, на изображении РС должны быть полностью восстановлены границы ребер. В противном случае с РС может быть удалена полезная информация. Кроме того, восстановление границ ребер позволит провести коррекцию изображения во всех сегментах, затененных ребрами, независимо от их яркости.

Идея метода

Идея метода построена на морфологической фильтрации изображения, полученного в результате обработки РС одним из локальных градиентных операторов. Анализ изображений показывает, что после обработки флюорограммы градиентным оператором на изображении остаются наиболее яркими фрагменты границ ребер. Границы ребер могут быть восстановлены по этим фрагментам путем использования морфологического оператора, использующего нелокальную информацию. В качестве такой информации используем модели ребер, которые могут быть построены с учетом деления полей легких на области или без учета.

Алгоритм построения границы ребра

Построение границы ребра представляет собой итерационный процесс, схема алгоритма которого показана на рисунке 1.

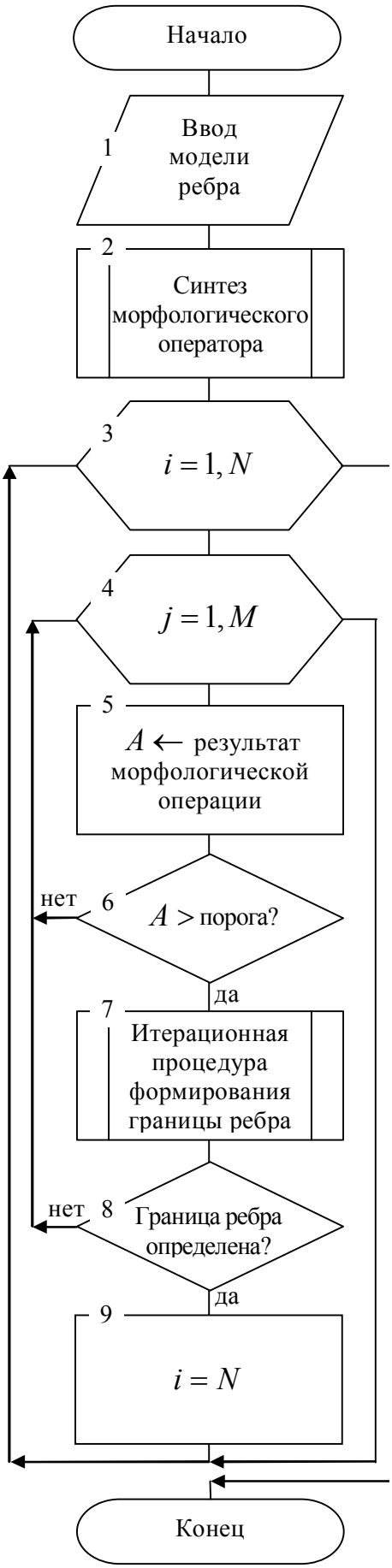


Рис. 1. Схема алгоритма построения границы ребра

В блоке 1 задается локальная или глобальная модель границы ребра. В блоке 2 синтезируется морфологический оператор, позволяющий усилить яркость фрагментов изображения, принадлежащих границе ребра. Процесс синтеза морфологического оператора включает формирование структурообразующего элемента и выбор морфологической операции в структурообразующем элементе. Структурообразующий элемент морфологического оператора определяется сегментом модели ребра, попавшим в маску морфологического оператора. Для его формирования необходимо знать математическую модель границы ребра и смещение Θ структурообразующего элемента относительно начала координат, в которых построена функция, отражающая математическую модель границы ребра. На рисунке 2 приведена иллюстрация этого процесса.

Модель границы ребра задана в координатах (x,y) с началом в точке (0,0), а фрагмент модели, формирующий структурообразующий элемент, задан в координатах (x_1, y_1) с началом в точке (i,j), определяющей координаты маски морфологического оператора.

Следовательно, переход от координат (x,y) к координатам (x_1, y_1) осуществляется посредством следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} x_1 = x - \Theta; \\ y_1 = y - f(\Theta), \end{cases} \qquad (1)$$

где $f(x)$ – модель границы ребра.

После формирования структурообразующего элемента задается морфологическая операция, осуществляемая в структурообразующем элементе.

Блоки 3 и 4 осуществляют процесс сканирования маской морфологического оператора исходного изображения F.

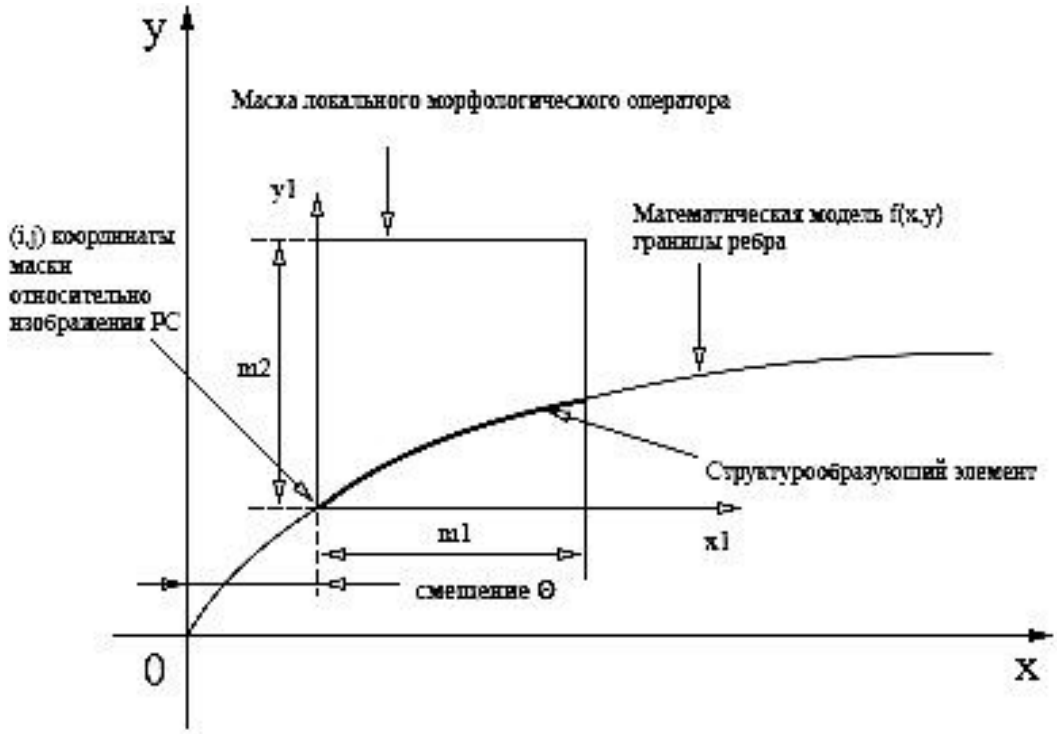


Рис. 2. Иллюстрация процесса формирования структурообразующего элемента

Процесс сканирования состоит в установке маски морфологического оператора в текущие координаты *(i,j)* изображения *F*. После этого вычисляется результат морфологической операции *A* (блок 5) и осуществляется сравнение его с порогом (блок 6). Если *A* больше порога, то начинается итерационная процедура поиска пикселей, определяющих границы ребра (блок 7), в противном случае продолжается процесс сканирования.

Если итерационная процедура не завершилась определением границы ребра, то есть было ложное «срабатывание» блока 6, то алгоритм также выходит на продолжение процесса сканирования.

Синтез морфологической операции

При формировании морфологического оператора введем следующие обозначения. Обозначим *B* как множество элементов, входящих в прямоугольную маску морфологического оператора размером $m1 \times m2$. Каждый элемент множества имеет три атрибута, принимающих целочисленные значения: интенсивность *b*, координата x_1 и координата y_1. Полагаем, что множество бинарное (значения интенсивности элементов множества равны нулю или единице).

Множество *B* формируется посредством операции дилатация

$$B = (W \oplus f_1(x)), \qquad (2)$$

где *W* – упорядоченное множество нулевых элементов, заданных в координатах $X1OY1$(в первом квадранте) посредством прямых $x_1=m1$ и $y_1=m2$ ($m1>0$ и $m2>0$) таким образом, что

$$w(x_1, y_1) \in W, \quad \forall((0 < x_1 < m1), \quad и\ (0 < y_1 < m2)). \qquad (3)$$

Функция $f_1(x)$ является одномерной функцией, построенной в координатах *XOY*. Согласно (1) при Θ=0 системы координат *XOY* и $X1OY1$ совпадают.

Под операцией дилатация в данном контексте будем понимать взаимодействие упорядоченного множества *W* с двумерной функцией $f_2(x,y)$, которое приводит к получению нового упорядоченного множества *B*, каждый пиксель которого определяется как результат морфологической операции:

$$(W \oplus f_1(x))(x_1, y_1) = \\ = \max\{w(x_1, y_1) + f_2(x+\Theta), \\ f_1(x+\Theta) \big| (x_1, y_1) \in D_w; \\ (x, y) \in D_{f1}\}, \qquad (4)$$

где D_w – область на двумерной плоскости $X1OY1$, занимаемая маской *W*;

Df_1 – область определения функции $f_2(x,y)$, которая вычисляется как совокупность точек пересечения плоскости $f_2(x,y)=1$ и поверхности $y\text{-}f_1(x)=0$, построенных в трехмерном пространстве.

Обозначим $b(x_1,y_1)$ двумерную функцию, формируемую множеством *B*. В качестве морфологической операции, реализуемой в структурообразующем элементе *B*, используем морфологическую свертку *A(i,j)*, определяемую как

$$A(i,j) = \sum_{x_1=0}^{m1-1} \sum_{y_1=0}^{m2-1} F(i+x_1, j+y_1) \cdot b(x_1, y_1), \qquad (5)$$

где *F*(*i,j*) – элемент обрабатываемого изображения, в который установлена маска морфологического оператора.

Алгоритм итерационной процедуры формирования границы ребра

Процесс поиска границы ребра начинается с определения поля сканирования. Поле сканирования задается набором ре-

перных точек. В принципе, поле сканирования – это сегмент изображения, в котором может находиться граница ребра. Для его определения достаточно построить на изображении модель границы ребра и выбрать вокруг полученной кривой зону пикселей, которая определяется погрешностью моделирования границы ребра и индивидуальными особенностями РС грудной клетки.

Определение границы ребра посредством итерационного приближения поясним с помощью рисунка 3.

Полагаем, что локальный фрагмент начала границы был получен посредством алгоритма (см. рис. 1). Далее необходимо определить, действительно ли выявлен сегмент границы, или это артефакт. Допустим, что это действительно начало границы ребра. Тогда через этот сегмент можно провести границу ребра на основе априорно полученной математической модели. На рисунке 3 показана эта граница. В действительности это может быть «ложное ребро» или «истинное ребро», и топология его границы не совпадает с топологией истиной границы.

Для прояснения ситуации осуществляем сканирование некоторой зоны пикселей вокруг глобальной модели ребра, которая задается на каждом шаге итерации. Для ускорения выполнения этой итерационной процедуры выберем по оси абсцисс (шаг сканирования) не один пиксель, а $m1/2$. По оси ординат (шаг сканирования) оставим один пиксель, но при этом маска перемещается относительно реперной точки в вертикальном направлении на величину Δ_y и $-\Delta_y$.

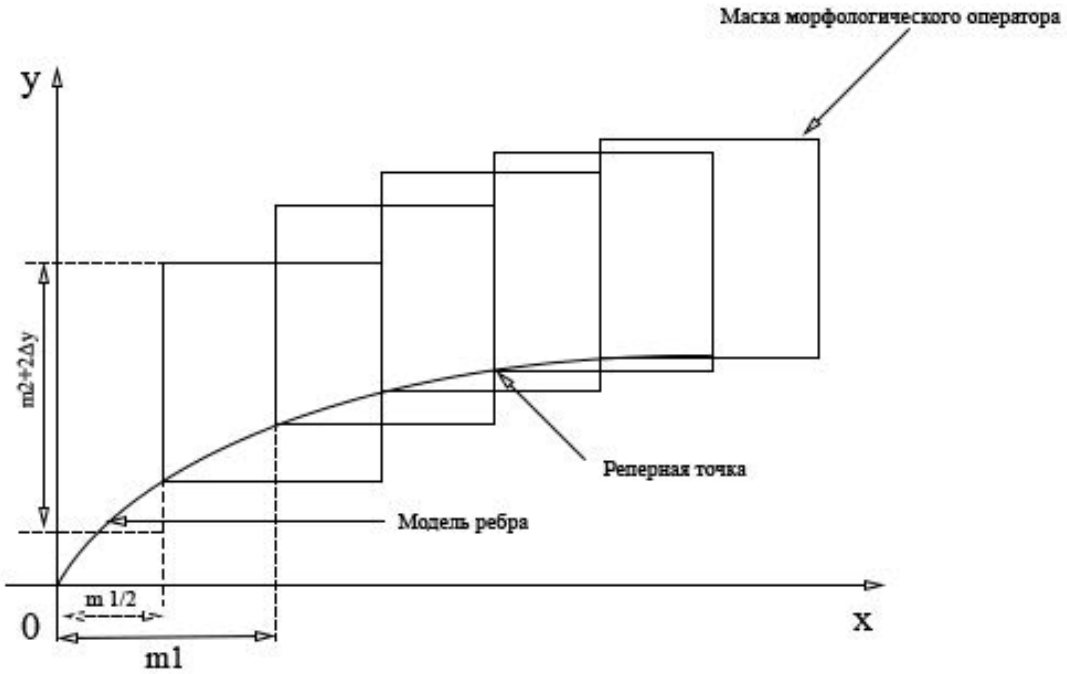


Рис. 3. Определение границы ребра посредством итерационного приближения

Таким образом, в каждом итерационном цикле определяется координата сегмента границы ребра и координата реперной точки. Координата q-й реперной точки по оси абсцисс определяется как $x_{q-1}+m1/2$, а по оси ординат $f_1(x_{q-1}+m1/2)$.

Алгоритм должен отвергать модель границы ребра с началом в точке (i,j) на плоскости изображения F в двух случаях. В первом случае фиксируется «разнос» локальных моделей относительно глобальной модели, что определяется про-

цессом накапливания увеличения расстояния по вертикальной оси между реперными точками и соответствующими координатами глобальной модели. Второй случай предусматривает остановку итерационного процесса в связи с низкими значениями результатов морфологических операций. Здесь необходимо учитывать, что в процессе сканирования в пределах маски морфологического оператора изображение ребра может «пропасть» или оказаться низкоинтенсивным. Поэтому порог для результата морфологической операции необходимо адаптировать к общей интенсивности пикселей изображения в пределах маски. Если же изображение границы ребра «пропало» в данной реперной точке, то это не говорит о том, что имеет место артефакт. Возможно, что оно появится вновь в следующей реперной точке. Поэтому необходим счетчик артефактов. Если число «пропаданий» границ изображения превысит определенный порог, то следует отказаться от поиска границы ребра с началом в данной координате изображения.

Перед определением границ ребер на РС необходимо выделить поля легких [2, 3]. Итерационный процесс заканчивается, когда реперная точка вышла за границу полей легких.

Схема алгоритма, реализующего итерационную процедуру поиска границы ребра, представлена на рисунке 4.

В блоке 1 задаются координаты первой реперной точки. Эти координаты определяются на выходе алгоритма, представленного на рисунке 1. При реализации алгоритма определяются координаты реперных точек, которые используются при реализации последующих процедур алгоритма. Поэтому в блоке 2 организуется счетчик реперных точек. В этом же блоке организуется счетчик артефактов, при превышении установленного уровня которого прекращается процедура определения границы ребра с координатами (i,j). В блоках 3 и 4 определяются координаты текущей реперной точки.

После определения координат текущей реперной точки может быть построен структурообразующий элемент для текущей реперной точки (блок 5). Эта процедура в основном связана с преобразованием координат глобальной модели границы ребра, в результате которого получаем локальную модель границы ребра, которая и определяет структурообразующий элемент.

В блоках 6 и 7 вычисляются морфологические операции в пикселях изображения F, лежащих в зоне сканирования маски морфологического оператора. Зону сканирования, кроме координат реперной точки, определяет параметр Δ_y, который подбирается эмпирически.

В блоках 8-10 определяются координаты следующей реперной точки. Как видно, локальная граница ребра может не совпадать с глобальной границей, что определяет разброс локальных границ. Разброс может достигнуть такой величины, которая не позволяет «собрать» глобальную границу ребра из локальных границ. Поэтому в блоке 15 осуществляется количественная оценка этого разброса, и в случае превышения ею порогового значения выносится решения об отсутствии границы ребра с началом в координатах (i,j) (блок 18).

В блоке 11 выявляются артефакты, связанные с «пропаданием» границы. Если таких артефактов слишком много, то также выносится решение об отсутствии границы ребра с началом в координатах (i,j) (блок 18).

В блоке 14 проверяется выход реперной точки за границу поля легких, что является признаком остановки процесса определения границы ребра.

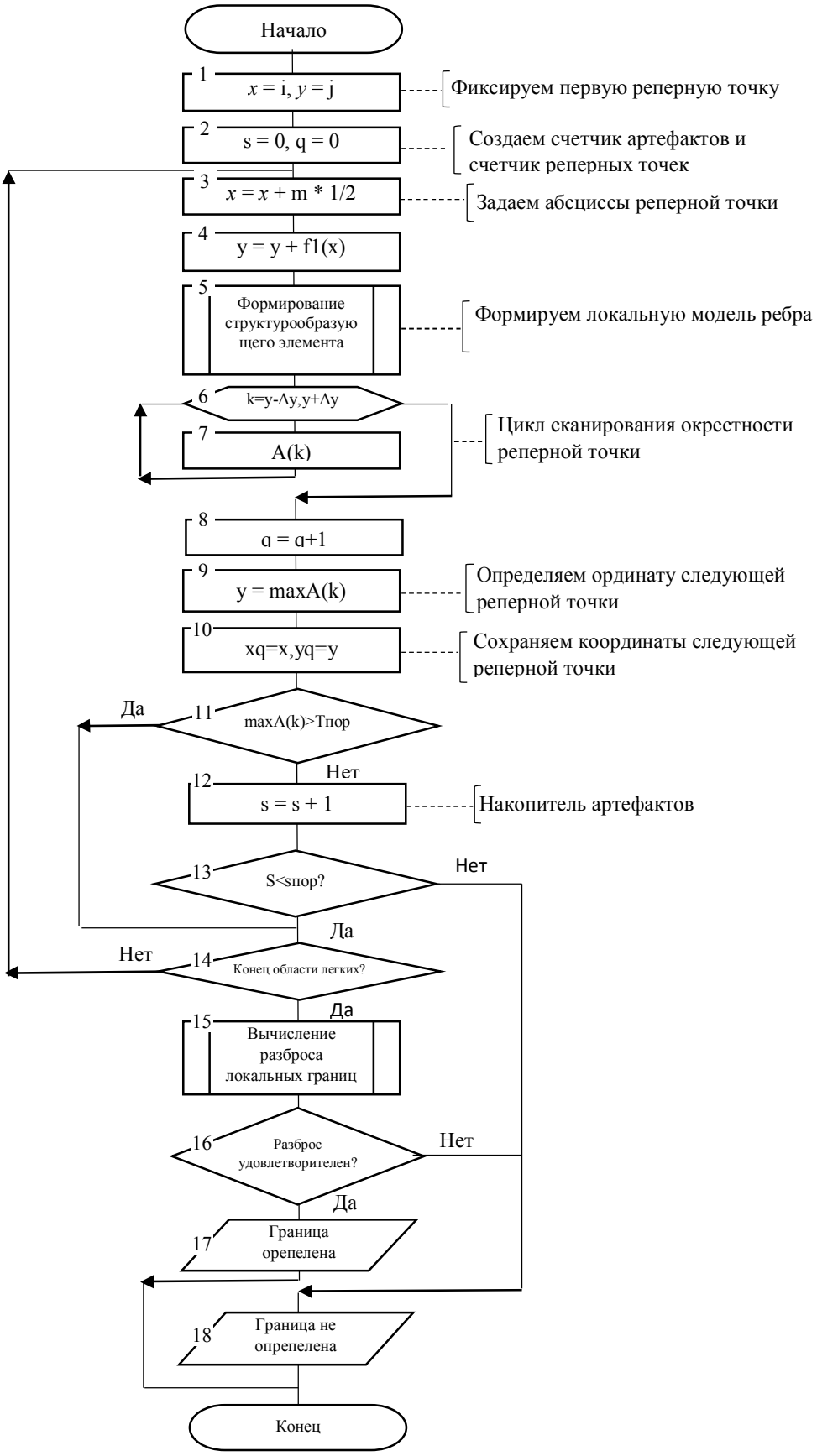
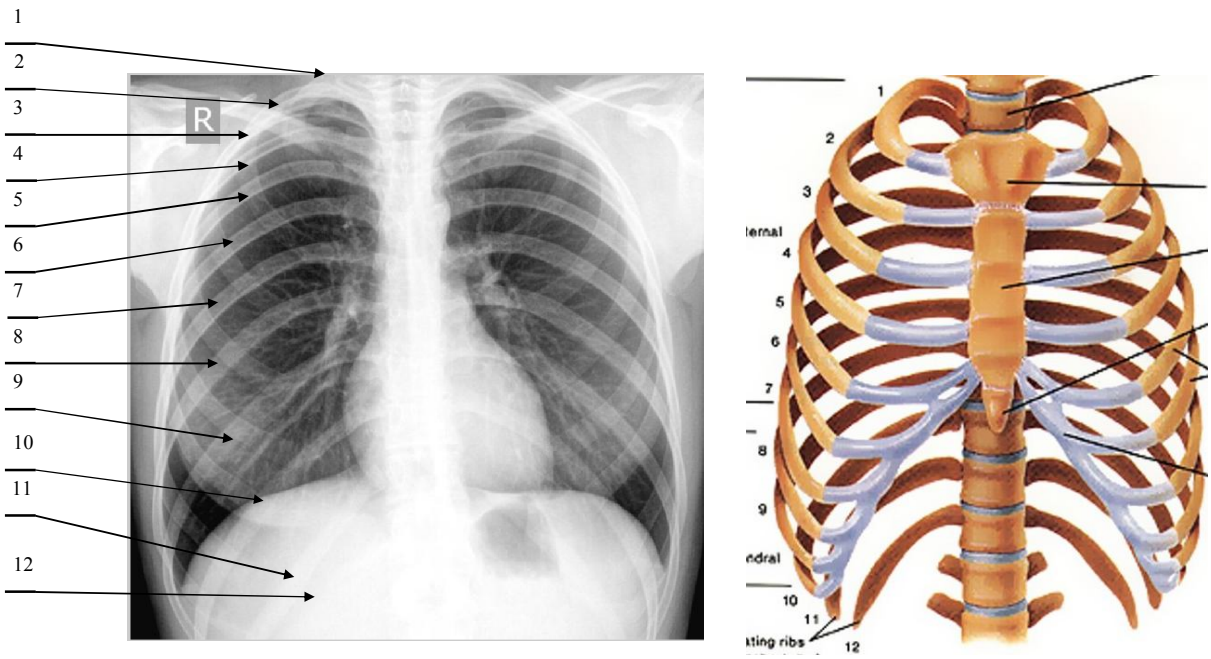


Рис. 4. Схема алгоритма итерационного процесса поиска границы ребра

Построение математической модели границы ребра

Для построения математической модели границы ребра рассмотрим рисунок 5.

Костные структуры грудной клетки поглощают и рассеивают рентгеновское излучение в значительно большей степени, чем ткань легких и другие мягкие ткани грудной клетки. Поэтому пленка за позвоночным столбом, ребрами, ключицей и лопатками получает меньшее облучение, и на РС соответствующие структуры будут намного светлее относительно других структур. В рентгенологии эти участки называют «затененными». Области, через которые рентгеновские лучи проходят с минимальным поглощением, называют «просветленными», хотя на РС они выглядят более темными (рис. 5,*а*).



а) *б)*

Рис. 5. Задняя прямая проекция рентгенограммы грудной клетки (*а*) и вид грудной клетки спереди (*б*)

Задние сегменты ребер расположены более-менее горизонтально, а передние проходят косо кпереди и книзу (рис. 5,*б*).

При построении модели границы ребра можно выделить два подхода. При реализации первого подхода строим две модели ребра: для заднего сегмента ребра и для переднего сегмента ребра. При реализации второго подхода делается попытка описать задний и передний сегменты ребра одной математической моделью.

При первом подходе используем полиномиальные и экспоненциальные модели. При втором подходе используем только полиномиальные модели.

Модели строим по таблицам экспериментальных данных, полученных на основе оцифровки реальных РС грудной клетки.

Таблица отражает структуру данных, которые используются для построения математических моделей. Из аналогичных таблиц данные переносятся в файлы данных текстового формата. Причем каждый файл соответствует одному столбцу таблицы.

Пример структуры экспериментальных данных
для построения математической модели границы ребра

Ребро №7						Ребро №9					
№ п/п	Задний сегмент		№ п/п	Передний сегмент		№ п/п	Задний сегмент		№ п/п	Передний сегмент	
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	40	402	1	38	410	1	58	513	1	58	514
2	49	346	2	39	412	2	60	511	2	56	519
3	59	326	3	41	432	3	62	506	3	54	525
4	66	314	4	43	439	4	63	502	4	53	531
5	75	303	5	45	451	5	69	490	5	52	537
6	80	296	6	49	458	6	74	478	6	51	541
7	97	277	7	53	466	7	80	468	7	50	549
8	103	269	8	57	476	8	90	455	8	49	553
9	116	260	9	60	480	9	98	443	9	48	557
10	126	253	10	65	482	10	111	428	10	47	563
11	138	243	11	69	492	11	124	415	11	48	568
12	148	237	12	72	498	12	142	400	12	49	571
13	162	229	13	75	499	13	158	386	13	50	572
14	177	222	14	81	504	14	169	373	14	51	581
15	184	217	15	85	510	15	180	363	15	52	582
16	197	214	16	88	513	16	191	350	16	53	585
17	198	213	17	93	517	17	203	343	17	54	587
18	209	212	18	100	523	18	214	335	18	55	590
19	218	208	19	105	527	19	226	329	19	58	599
20	231	210	20	106	528	20	230	326	20	63	610
21	241	212	21	111	531	21	236	324	21	66	614
22	248	211	22	112	533	22	242	324	22	70	620
23	262	215	23	125	541	23	255	323	23	73	623
24	276	218	24	133	547	24	261	320	24	80	630
25	288	222	25	143	554	25	277	323	25	85	637

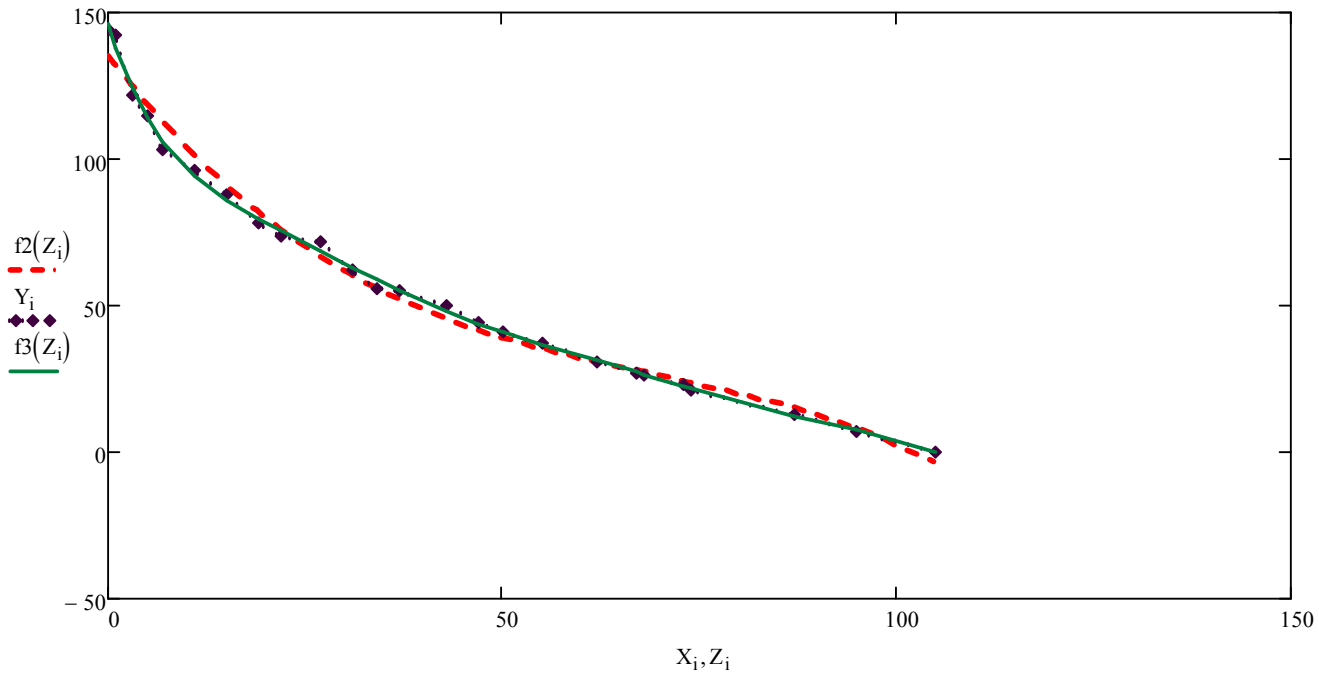
Экспериментальные исследования показали, что второй подход не целесообразен, так как в результате совместного моделирования задней и передней частей ребра получаются многосвязные кривые.

На рисунке 6 представлены модели, реализующие первый подход. Для моделирования границ ребер использовались полиномиальные модели третьего и седьмого порядков переднего (*а*) и заднего (*б*) сегментов ребра №7.

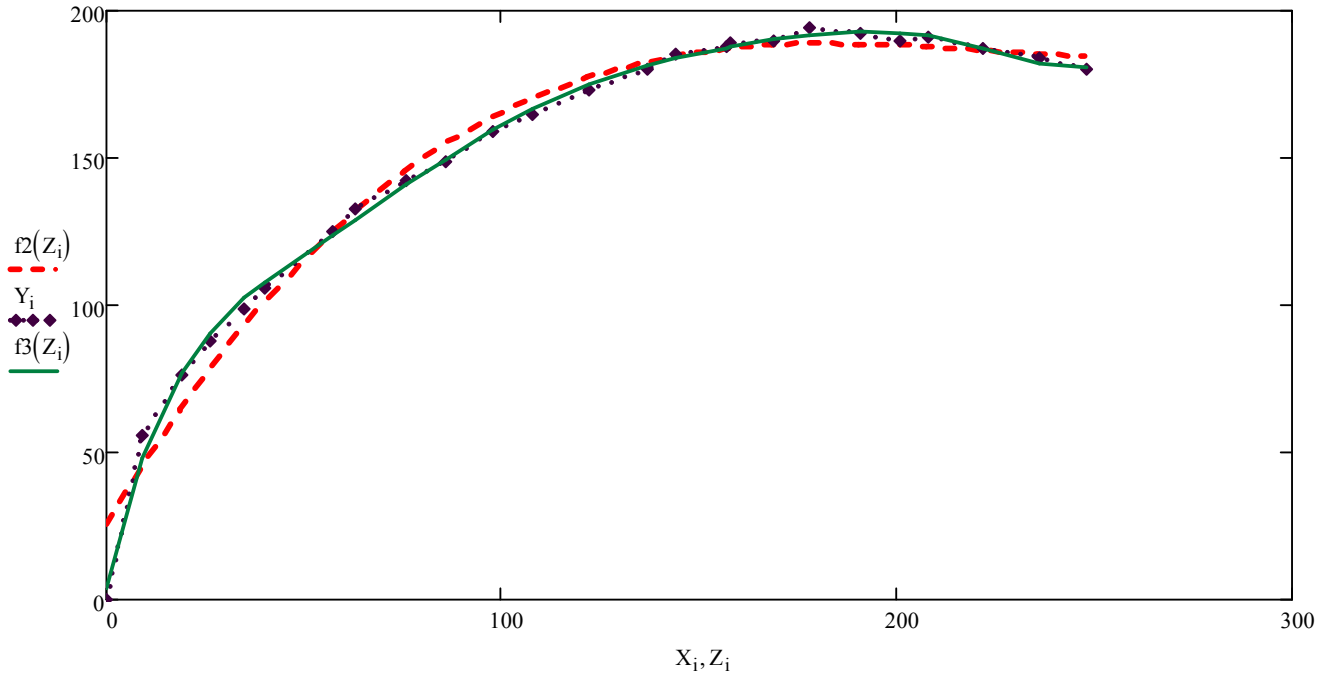
При формировании таблицы экспериментальных данных возникает проблема деления проекции ребра на пленку на передний и задний сегменты. Если при делении ориентироваться на рисунок 5, *б*, то при определенных номерах ребер получаем немонотонную функцию, при моделировании которой получаем артефакты. Примером может служить попытка моделирования границы передней части ребра №9 на основе данных, приведенных в таблице. Эти данные отражены в виде ромбов черного цвета на графике рисунка 7.

При построении модели использовалась немонотонная функция. Для получения корректной модели необходимо разделить ребро на сегменты таким образом, чтобы сегменты были представлены монотонными функциями.

На рисунке 8 представлены модели того же ребра №9 при выполнении вышеуказанного условия.



а)



б)

Рис. 6. Полиномиальные модели третьего и седьмого порядков переднего (*а*) и заднего (*б*) сегментов ребра №7

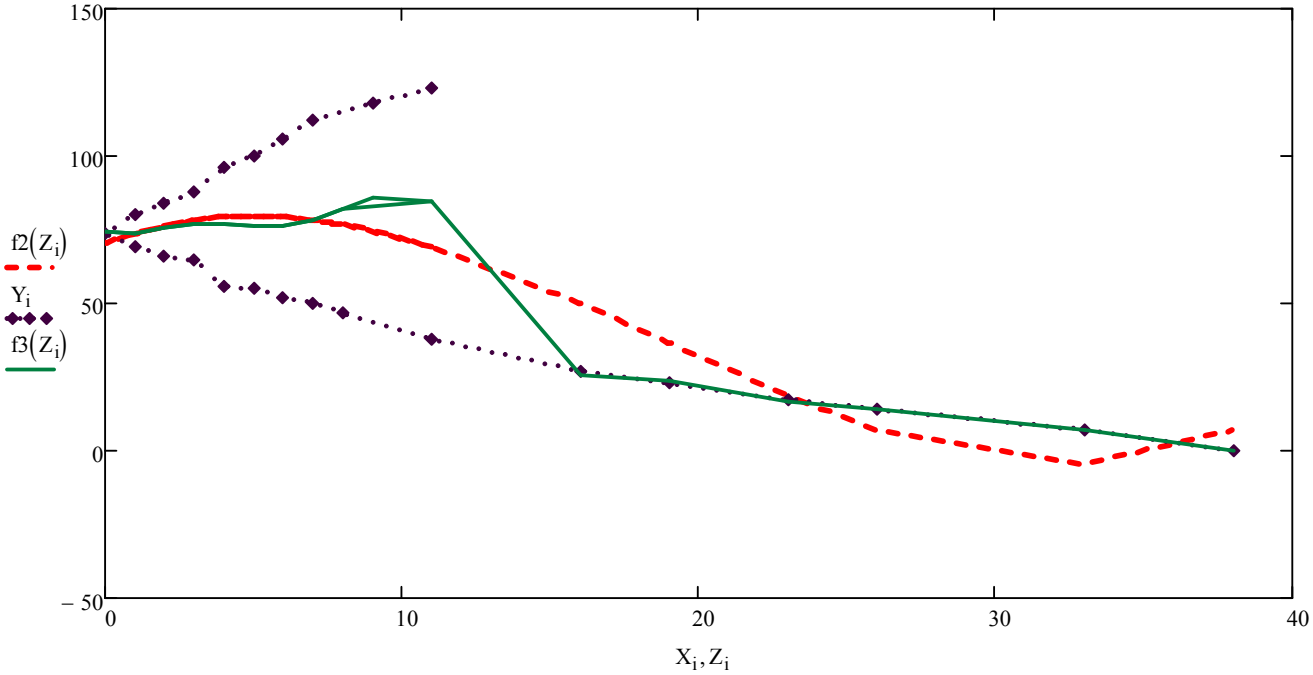
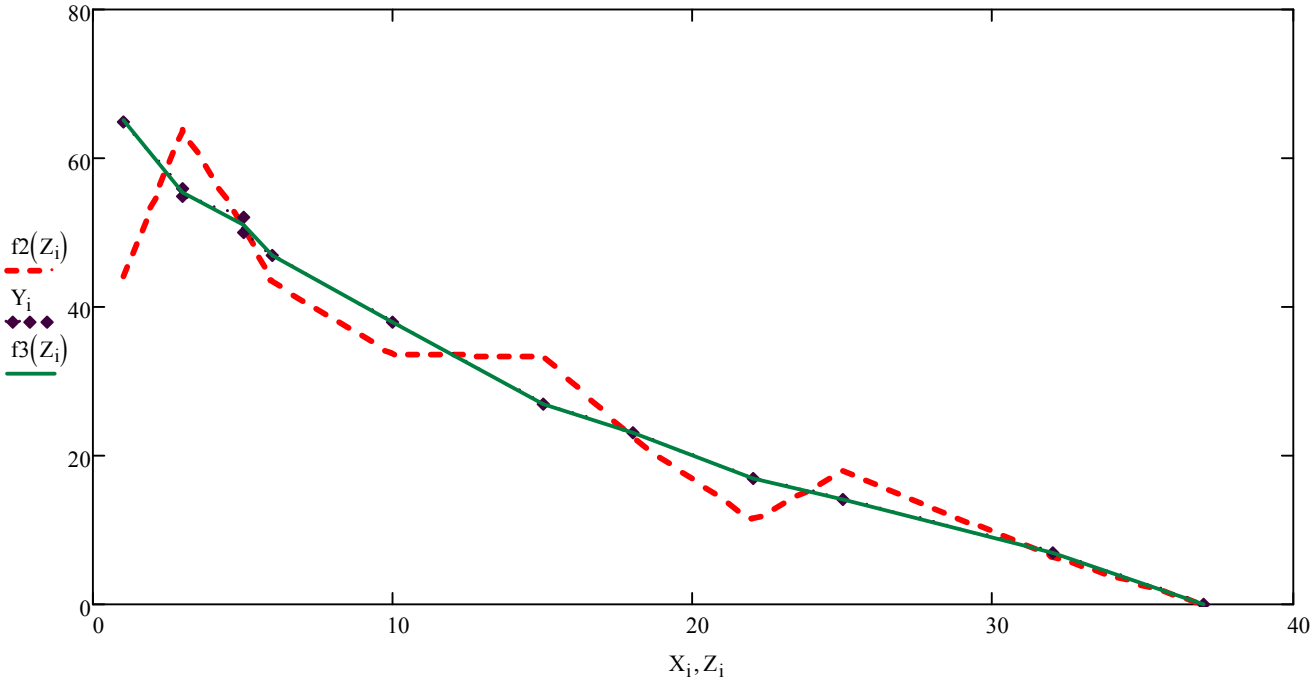
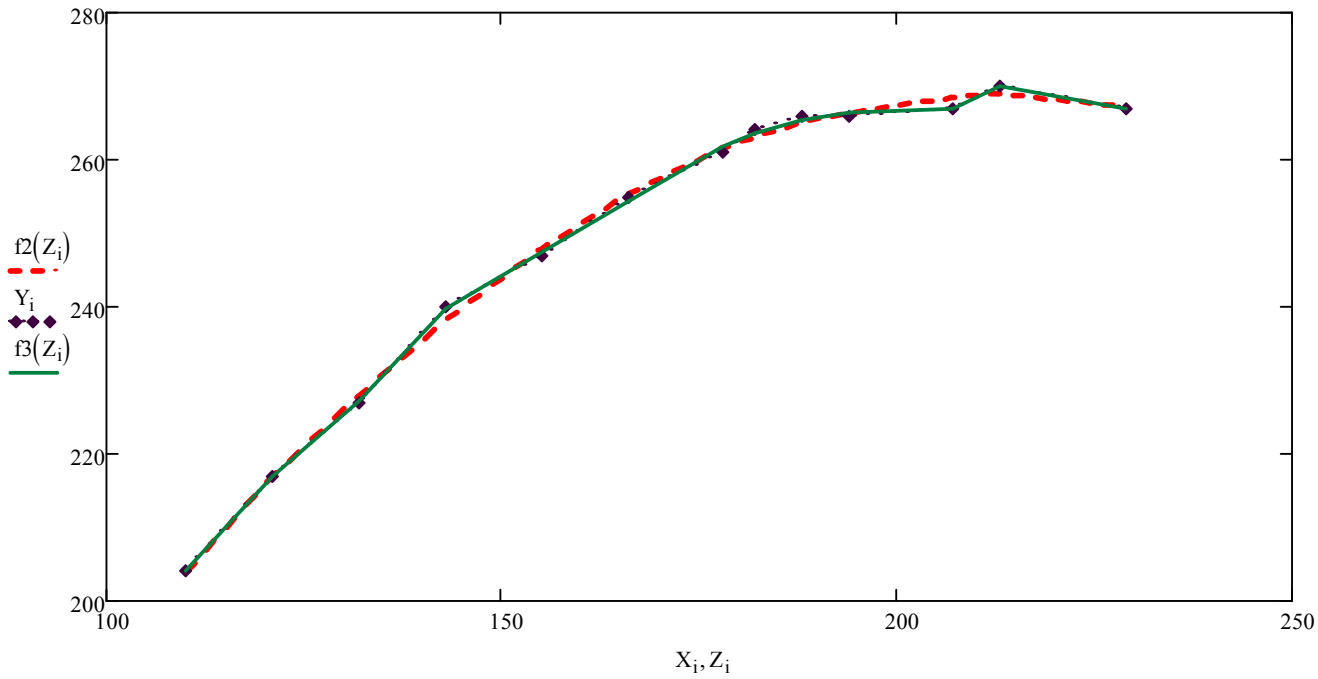


Рис. 7. Пример некорректного моделирования передней части границы ребра №9



а)

Рис. 8. Полиномиальные модели третьего и одиннадцатого порядков переднего (*а*) и заднего (*б*) сегментов ребра №9 (окончание см. на с. 106)



б)

Рис. 8. Окончание (начало см. на с. 105)

Выводы

Разработан метод выделения границ ребер на рентгеновском снимке грудной клетки, отличающийся использованием нелокальной информации при морфологической фильтрации изображения, полученного в результате обработки рентгеновского снимка градиентными операторами различного типа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00164 а.

Список литературы

1. Автоматические классификаторы сложноструктурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора / С.А. Филист, М.В. Дюдин, И.В. Зуев [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой» (СОИУ). – 2015. – Вып. 1. – С.130-140.

2. Способ выделения контура изображения легких на рентгеновском снимке грудной клетки / М.В. Дюдин, В.В. Жилин, П.С. Кудрявцев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. – № 4. – С. 107-114.

3. Дюдин М.В., Филист С.А., Кудрявцев П.С. Способ выделения и классификации контуров легких на изображениях флюорограмм грудной клетки // Наукоемкие технологии. – 2014. – Т.15, № 12. – С. 25-30.

References

1. Avtomaticheskie klassifi-katory slozhno strukturiruemyh izobrazhenij na osnove mul'timetodnyh tehnologij mno-

gokriterial'nogo vybora / S.A. Filist, M.V. Djudin, I.V. Zuev [et al.] // Voprosy radiojelektroniki. Serija «Sistemy i sredstva otobrazhenija informacii i upravlenija spectehnikoj» (SOIU). – 2015. – Vol. 1. – P.130-140.

2. Sposob vydelenija kontura izobrazhenija legkih na rentgenovskom snimke grudnoj kletki / M.V. Djudin, V.V. Zhilin, P.S. Kudrjavcev [et al.] // Proceeding of the Southwest State University. Ser.: Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2014. – № 4. – P. 107-114.

3. Djudin M.V., Filist S.A., Kudrjavcev P.S. Sposob vydelenija i klassifikacii konturov legkih na izobrazhenijah fljuorogramm grudnoj kletki // Naukoemkie tehnologii. – 2014. – Vol. 15, № 12. – P. 25-30.

Получено 14.04.16

M.V. Dyudin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: katu-bmi@yandex.ru)

P.S. Kudryavtsev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: katu-bmi@yandex.ru)

K.V. Podmastserev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Orel State University (Orel) (tel. 8(7412)58-70-98)

S.A. Filist, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sfilist@gmail.com)

O.V. Shatalova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)

MATHEMATICAL MODEL FOR INTELLECTUAL SYSTEMS OF THE CATEGORIZATIONS X-RAY THORAX

For automated classification of x-ray images computer technologies of ribs borders simulation has been developed in the current paper. The model of the ribs allows to obtain global information, based on which the classification of morphological structures on the chest x-ray. The model of the ribs allows to obtain global information that allows to classify morphological structures of X-ray images of the chest/ Our investigations show that after processing of fluorograms using the gradient operator borders of ribs become brighter compare to original image/ Boundary edges can be recovered on these fragments by morphological operator, which uses nonlocal information. Method for the determination of the ribs boundaries based on morphological images filtration obtained as result of processing of x-ray gradient operator.

Visualization of ribs borders represented as iteration process of forming a structural element of the morphological operator, followed by increased brightness of the image fragments that are belong to the ribs border.

The process of synthesis of morphological operator includes forming of structural element and choosing of morphological operator in structural element. The structural element of morphological operator determined by ribs border segment. To create a structural element important to know mathematical model of ribs border and shifting a structural element about origin of coordinate system in which function that represents mathematical model of ribs border created.

We are used two approaches in creation of ribs border model. In first approach two models created: model for posterior segment and anterior ribs segment. The second approach based on attempt to describe posterior and anterior segments by one mathematical model. The first approach is using polynomial and exponential models. The second approach used only polynomial models. Experimental results show that the second approach is not advisable because overall modeling of anterior and posterior ribs parts create a multiply connected curves

Algorithms of models creation are different in using of non-local information during image morphological filtration created during processing of x-ray image by local operators.

Key words: *x-ray, morphological operator, polynomial model, algorithm.*

УДК 681.3

Е.Н. Коровин, д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет (e-mail: korovin@saums.vorstu.ru)

Е.И. Новикова, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет (тел.: (473) 246-76-99)

М.А. Сергеева, ассистент, Воронежский государственный технический университет (тел.: (473) 246-76-99)

ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИКИ ГИПЕРПЛАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭНДОМЕТРИЯ

Статья посвящена применению современных компьютерных технологий, математических методов решения задач диагностики, а также визуализации результатов обработки медицинской информации. Для повышения эффективности диагностики гиперпластических процессов эндометрия предлагается использовать метод построения дерева решений, являющийся одним из важных приемов для проведения «добычи данных и разведывательного анализа», базирующийся на совокупности методов аналитической обработки больших массивов информации для выявления наиболее значимых закономерностей при обработке биомедицинских данных. Для построения дерева решения использовались статистические данные по 230 пациенткам с гиперпластическими процессами эндометрия: гиперплазия эндометрия (96 человек), полип эндометрия (78 человек) и полип цервикального канала (56 человек). Для построения «дерева решений», ориентированного на диагностику развития гиперплазии эндометрия, полипа эндометрии и полипа цервикального канала пациенток по набору входных признаков, использовалась программа Deductor и алгоритм C4.5. Обучающая выборка состояла из 150 историй больных, из них 57 пациентов с вероятностью развития гиперплазии эндометрия, 50 – полип эндометрия, 43 – полип цервикального канала. В результате было построено несколько деревьев решений: полное (бинарное), полное с множеством потомков в узле, компактное (бинарное), компактное с множеством потомков в узле. Достоверность построенных «деревьев решений» была выявлена путем проверки тестовой выборки из 80 историй больных (39 пациенток с вероятностью развития гиперплазии эндометрия, 28 пациенток с полипом эндометрии, 13 пациенток с полипом цервикального канала), не вошедших в обучающую выборку. В результате анализа полученных результатов было выбрано «полное (бинарное) дерево решения». Апробация построенной модели была проведена на тестовой выборке, где достоверность постановки диагноза по методу «деревьев решений» составляет 77,5 %, а именно 82,05 %, 76,92 % и 71,43 % соответственно для развития гиперплазии эндометрии, полипа цервикального канала и полипа эндометрии.

Ключевые слова: *гиперплазия эндометрия, полип цервикального канала, полип эндометрии, дерево решений, предикторные переменные.*

***

Деревья решений – один из методов автоматического анализа данных. Построение деревьев классификации – один из наиболее важных приемов, используемых при проведении «добычи данных и разведывательного анализа», реализуемый как совокупность методов аналитической обработки больших массивов информации с целью выявить в них значимые закономерности и/или систематические связи между предикторными переменными, которые затем можно применить к новым совокупностям измерений.

Деревья решений представляют собой последовательные иерархические структуры, состоящие из узлов, которые содержат правила, т.е. логические конструкции вида "если … то …". Конечными узлами дерева являются "листья", соответствующие найденным решениям и объединяющие некоторое количество объектов классифицируемой выборки. Это похоже на то, как положение листа на дереве можно задать, указав ведущую к нему последовательность ветвей, начиная от корня и кончая самой последней веточкой, на которой лист растет.

Существует множество алгоритмов, реализующих построение деревьев решений, из которых наиболее распространены следующие:

– CART (Classification and Regression Tree), представляет собой алгоритм построения бинарного дерева решений – дихотомической классификационной модели; каждый узел дерева при разбиении имеет только двух потомков; алгоритм решает задачи как классификации, так и регрессии;

– C4.5 – алгоритм построения дерева решений с неограниченным количеством потомков у узла, разработанный Р. Куинленом; не умеет работать с непрерывным целевым полем, поэтому решает только задачи классификации;

– QUEST (Quick, Unbiased, Efficient Statistical Trees) – программа, в которой используются улучшенные варианты метода рекурсивного квадратичного дискриминантного анализа, позволяющие реализовать многомерное ветвление по линейным комбинациям порядковых предикторов; содержит ряд новых средств для повышения надежности и эффективности индуцируемых деревьев классификации.

Для построения дерева с одномерным ветвлением, находясь на каждом внутреннем узле, необходимо найти такое условие проверки, связанное с одной из переменных j, которое бы разбивало множество, ассоциированное с этим узлом на подмножества. Общее правило для выбора опорного признака можно сформулировать следующим образом: «выбранный признак должен разбить множество X^* так, чтобы получаемые в итоге подмножества X^*_k, $k = 1, 2, ..., p$, состояли из объектов, принадлежащих к одному классу, или были максимально приближены к этому, т. е. количество чужеродных объектов из других классов в каждом из этих множеств было как можно меньше».

Большинство из известных алгоритмов являются «жадными алгоритмами»: если один раз был выбран атрибут и по нему произведено разбиение на подмножества, то алгоритм не может вернуться назад и выбрать другой атрибут, который дал бы лучшее разбиение. И поэтому на этапе построения дерева нельзя сказать даст ли выбранный атрибут в конечном итоге оптимальное разбиение.

После индукции дерева решений его можно использовать для распознавания класса нового объекта. Обход дерева решений начинается с корня дерева. На каждом внутреннем узле проверяется значение объекта X_m по атрибуту, который соответствует алгоритму проверки в данном узле, и в зависимости от полученного ответа находится соответствующее ветвление, и по этой дуге осуществляется движение к узлу, находящемуся на уровень ниже, и т.д. Обход дерева заканчивается, как только встретится узел решения, который и дает название класса объекта X_m.

В данной работе использованы статистические данные по 230 пациенткам с гиперпластическими процессами эндометрия, из которых: гиперплазия эндометрия (96 человек), полип эндометрия (78 человек) и полип цервикального канала (56 человек).

Актуальность проблемы гиперпластических процессов эндометрия у больных репродуктивного возраста не теряет своего значения как с позиций восстановления и сохранения репродуктивной функции, так и профилактики онкопатологии.

Гиперпластические процессы эндометрия (ГПЭ) – это доброкачественная патология слизистой оболочки матки, которая развивается на фоне относительной или абсолютной гиперэстрогении. Перерождение гиперпластических процессов эндометрия в состояние рака происходит в 0,20—50% случаев и зависит от морфологических особенностей заболевания,

длительностью его рецидивов, возрастом пациентки.

Гиперпластические процессы в эндометрии составляют большую и разнообразную группу, в основном связанную с гормональными нарушениями.

Для построения «дерева решений», ориентированного на диагностику развития гиперплазии эндометрия, полипа эндометрии и полипа цервикального канала пациенток по набору входных признаков, использовалась программа Deductor и алгоритм C4.5. Обучающая выборка состояла из 150 историй больных, из них 57 пациентов с вероятностью развития гиперплазии эндометрия, 50 – полип эндометрия, 43 – полип цервикального канала.

В результате было построено несколько деревьев решений: полное (бинарное), полное с множеством потомков в узле, компактное (бинарное), компактное с множеством потомков в узле.

Достоверность построенных «деревьев решений» было выявлено путем проверки тестовой выборки из 80 историй больных (39 пациенток с вероятностью развития гиперплазии эндометрия, 28 пациенток с полипом эндометрии, 13 пациенток с полипом цервикального канала), не вошедших в обучающую выборку.

Сравнительная характеристика эффективности разработанных «деревьев решений» представлена в таблице 1.

Таблица 1

Результаты работы алгоритма программы

№	Дерево решения	Обучающее		Тестовое	
		Кол-во	%	Кол-во	%
1	Полное (бинарное)	105	70	62	77,5
2	Полное с множеством потомков в узле	83	55,33	49	61,25
3	Компактное (бинарное)	90	60	52	65
4	Компактное с множеством потомков в узле	81	54	35	43,75
5	Полное с тремя потомками в узле	78	52	40	50
6	Компактное с тремя потомками в узле	64	42,67	48	60

Исходя из результатов таблицы было выбрано «полное (бинарное) дерево решения». Полное бинарное дерево, построенное без применения жестких мер по обрезанию ветвей, применяет 12 предикторных переменных, состоит из 140 узлов и использует 109 логических правил.

Фрагмент «Дерева решений» для диагностики гиперплазии эндометрии, полипа цервикального канала и полипа эндометрии представлен на рисунке.

Просмотр «дерева решений» позволяет определить, какие факторы являются более значимыми (верхние узлы дерева), а какие вообще не оказывают влияния (отсечены алгоритмом).

В таблице 2 приведены наиболее значимые признаки и процентная зависимость выходного поля от входных факторов.

Для постановки диагноза «вероятность развития гиперплазии эндометрия» построенным «деревом решения» было сгенерировано 51 правило:

16 правил с достоверностью 100 % (из них с поддержкой 2 % 4 правила; с 1,33 % 4 правила и с 0,67 % 8 правил);

1 правило с достоверностью 75 % и поддержкой 2,67 %;

2 правила с достоверностью 66,67 % и поддержкой 2 %;

12 правил с достоверностью 50 % (из них с поддержкой 2,67 % 1 правило и с 1,33 % 11 правил);

1 правило с достоверностью 33,33 % и поддержкой 2 %;

19 правил без поддержки достоверности.

- ЕСЛИ (Стандартно)
  - Гормональное лечение = да
    - Наступление менархе = 11-12 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
    - Наступление менархе = 13-14 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
    - Наступление менархе = 15 лет и старше ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
    - Наступление менархе = 9-10 лет
      - Отягощенный соматический анамнез = гипертоническая болезнь ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
      - Отягощенный соматический анамнез = заболевание почек ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
      - Отягощенный соматический анамнез = заболевания желудочно-кишечного тракта ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
      - Отягощенный соматический анамнез = заболевания щитовидной железы ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
      - Отягощенный соматический анамнез = нет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
      - Отягощенный соматический анамнез = ожирение ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
      - Отягощенный соматический анамнез = сахарный диабет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
  - Гормональное лечение = нет
    - осложнения родов = да
      - Отягощенный гинекологический анамнез = воспаление придатков ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
      - Отягощенный гинекологический анамнез = миома матки ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
      - Отягощенный гинекологический анамнез = нет ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
      - Отягощенный гинекологический анамнез = патология шейки матки ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
      - Отягощенный гинекологический анамнез = эндометриоз ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
    - осложнения родов = нет
      - кол-во родов = 1 роды
        - НМЦ с менархе = да ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
        - НМЦ с менархе = нет
          - Отягощенный гинекологический анамнез = воспаление придатков
            - Наступление менархе = 11-12 лет
              - возраст = 18-20 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
              - возраст = 21-25 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
              - возраст = 26-30 лет ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
              - возраст = 31-35 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
              - возраст = 36-40 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
              - возраст = 41-45 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Наступление менархе = 13-14 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Наступление менархе = 15 лет и старше ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Наступление менархе = 9-10 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
          - Отягощенный гинекологический анамнез = миома матки ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
          - Отягощенный гинекологический анамнез = нет
            - Отягощенный соматический анамнез = гипертоническая болезнь ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Отягощенный соматический анамнез = заболевание почек ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Отягощенный соматический анамнез = заболевания желудочно-кишечного тракта ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Отягощенный соматический анамнез = заболевания щитовидной железы ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Отягощенный соматический анамнез = нет
              - кол-во беременностей = 1 беременность ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
              - кол-во беременностей = 2 беременности
                - возраст = 18-20 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
                - возраст = 21-25 лет ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
                - возраст = 26-30 лет ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
                - возраст = 31-35 лет
                  - Наступление менархе = 11-12 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
                  - Наступление менархе = 13-14 лет ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
                  - Наступление менархе = 15 лет и старше ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
                  - Наступление менархе = 9-10 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
                - возраст = 36-40 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
                - возраст = 41-45 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
              - кол-во беременностей = 3 и более беременностей ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
              - кол-во беременностей = нет ТОГДА Диагноз = полип эндометрия
            - Отягощенный соматический анамнез = ожирение ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - Отягощенный соматический анамнез = сахарный диабет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
          - Отягощенный гинекологический анамнез = патология шейки матки
            - возраст = 18-20 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
            - возраст = 21-25 лет ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
            - возраст = 26-30 лет
              - Наступление менархе = 11-12 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия
              - Наступление менархе = 13-14 лет ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
              - Наступление менархе = 15 лет и старше ТОГДА Диагноз = полип цервикального канала
              - Наступление менархе = 9-10 лет ТОГДА Диагноз = вероятность развития гиперплазии эндометрия

Рис. Фрагмент «Дерева решений» по классификации гинекологических заболеваний

Таблица 2

Значимость атрибутов

Атрибут	Значимость, %
Отягощенный гинекологический анамнез	21,46
Возраст	19,381
Наступление менархе	15,078
Отягощенный соматический анамнез	9,597
Кол-во родов	8,203
Кол-во беременностей	7,575
Кол-во абортов	5,681
Гормональное лечение	4,71
НМЦ в анамнезе	4,075
НМЦ с менархе	2,635
Осложнения родов	1,607
Отягощенный гинекологический анамнез	21,46

Для постановки диагноза «полип цервикального канала» было сформировано 36 правил:

13 правил с достоверностью 100 % (из них с поддержкой 2 % 1 правило; с 1,33 % 5 правил и с 0,67 % 7 правил);

5 правил с достоверностью 66,67 % и поддержкой 2 %;

2 правила с достоверностью 50 % и поддержкой 1,33 %;

16 правил без поддержки достоверности.

Для постановки диагноза «полип эндометрии» было сформировано 22 правила:

7 правил с достоверностью 100 % (из них с поддержкой 3,33 % 1 правило; с 1,33 % 1 правило и с 0,67 % 5 правил);

1 правило с достоверностью 80 % и поддержкой 3,33 %;

2 правила с достоверностью 75 % и поддержкой 2,67 %;

4 правила с достоверностью 66,67 % и поддержкой 2 %;

1 правило с достоверностью 57,14 % и поддержкой 4,67 %;

7 правил без поддержки достоверности.

Апробация построенной модели была проведена на тестовой выборке: неправильный диагноз был поставлен семи пациенткам с вероятностью развития гиперплазии эндометрии, трем пациенткам с полипом цервикального канала и восьми пациенткам с полипом эндометрии. Таким образом, достоверность постановки диагноза по методу «деревьев решений» составляет 77,5 %, а именно 82,05 %, 76,92 % и 71,43 % для развития гиперплазии эндометрии, полипа цервикального канала и полипа эндометрии соответственно.

Преимущество «деревьев решений» состоит в том, что они идеально приспособлены для графического представления результатов, и поэтому сделанные на их основе выводы гораздо легче интерпретировать, чем если бы они были представлены только в числовой форме.

Список литературы

1. Новикова Е.И., Родионов О.В. Алгоритмизация и управление процессом диагностики гинекологических заболеваний на основе многовариантного моделирования: монография. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2012. – 132 с.

2. Новикова Е.И., Родионов О.В., Коровин Е.Н. Моделирование биомедицинских систем: учебное пособие. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2008. – 196 с.

3. Родионов О.В., Сергеева М.А., Сидорова А.К. Построение имитационной модели диагностики и лечения гиперпластических процессов эндометрия на основе сетей Петри // Системный анализ и управление в биомедицинских системах: журнал практической и теорети-

ческой биологии и медицины. – 2015. – Т.14, №. 3. – С. 574-576.

4. Родионов О.В., Сергеева М.А. Процедура оценки состояния развития патологии эндометрия у женщин на основе нейростатистического моделирования // Системный анализ и управление в биомедицинских системах: журнал практической и теоретической биологии и медицины. – 2016. – Т.15, №. 1. – С. 110-114.

5. Суржикова С.Е., Шаталова О.В., Федянин В.В. Программно-аппаратный комплекс диагностики социально значимых заболеваний // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – № 2(15). – С. 79-87.

References

1. Novikova E. I., Rodionov O. V. Algorithmization and management the diagnosis of gynecological diseases based on multivariate modeling: monograph. – Voronezh: VSTU, 2012. – 132 p.

2. Novikova E. I., Rodionov O. V., Korovin E. N. Modeling of biomedical systems: tutorial. – Voronezh: VSTU, 2008. – 196 p.

3. Rodionov O. V., Sergeeva M. A., Sidorov A. K. Construction a simulation model for diagnosis and treatment of endometrial hyperplastic processes based on Petri nets // System analysis and management in biomedical systems: the journal of the practical and theoretical biology and medicine. – 2015. – T. 14, N 3. – P. 574-576.

4. Rodionov O. V., Sergeeva M. A. Evaluation Procedure the state of development of endometrial pathology in women on the basis of eurostatistical simulation // System analysis and control in biomedical systems: the journal of the practical and theoretical biology and medicine. – 2016. – T. 15, N 1. – S. 110-114.

5. Surzhikova S. E., Shatalova O. V., Fedyanin V. V. Software-hardware complex for diagnostics of socially significant diseases // Proceeding of the Southwest State University: Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2015. – N 2(15). – P. 79-87.

Получено 31.03.16

E.N. Korovin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Voronezh State Technical University (e-mail: korovin@saums.vorstu.ru)

E.I. Novikova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University (tel.: (473) 246-76-99)

M.A. Sergeeva, Assistant, Voronezh State Technical University (tel.: (473) 246-76-99)

THE TREE BUILDING SOLUTIONS ENSURING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF DIAGNOSIS OF ENDOMETRIAL HYPERPLASTIC PROCESSES

The article is devoted to application of modern computer technologies, mathematical methods of solution in this vein diagnostics and visualization of results of processing of medical information. To enhance the effectiveness of diagnostics of hyperplastic processes of the endometrium are encouraged to use a method of constructing a decision tree, which is one of the important techniques for conducting data mining and is dewatering analysis" based on the totality of the methods of analytical processing of large amounts of information to identify the most important regularities when processing biomedical data. To build a decision tree was used statistical data on 230 patients with endometrial hyperplasia: endometrial hyperplasia (96), endometrial polyp (78) and a polyp of the Church-kalinago channel (56). To build a "decision tree" based on the diagnosis of development of endometrial hyperplasia, endometrial polyp and polyp of the cervical canal of the patients in the set of input features, we used the program with deductor and the algorithm of C4.5. The training sample consisted of 150 stories patients, of whom 57 patients with risk of developing endometrial hyperplasia, a 50 – endometrial polyp, 43 - a polyp of the cervical channel. The result was built several decision trees: full binary, complete with many descendants in the node a compact (binary), compact with many descendants in the node. The accuracy of the constructed "decision trees" were identified by examining a test sample of 80 histo-ries of patients (39 patients with risk of developing endometrial hyperplasia, 28 patients with polyp endo-scopy, 13 patients with a polyp of the cervical canal) that are not included in the training data. The analysis of the obtained results was selected a complete binary tree of solutions". Testing of the constructed model was performed on the test sample, where the accuracy of diagnosis by the method of trees "resolutions" is 77.5 %, namely 82,05 %, 76,92 %, 71,43 % for the development of endometrial hyperplasia, the polyp of the cervical canal and endometrial polyp, respectively.

Key words: *endometrial hyperplasia, polyp cervical polyp endometrial, decision tree, predictor variables.*

УДК 519.688

Е. А. Старцев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

С. Н. Кореневская, инженер, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

И. И. Хрипина, инженер, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

Л. В. Стародубцева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ВОДИТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В СТРУКТУРЕ МЧС

Работа посвящена актуальной проблеме повышения качества жизни и надежности работы водителей, занятых в структурах МЧС, путем решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, вызываемых их профессиональной деятельностью.

Показывается, что в условиях плохой формализации, анализируемой структуры данных (классы здоров - болен и здоров – предболезнь сильно пересекаются и не имеют четко выраженных границ) целесообразно использовать аппарат нечеткой логики принятия решений, в частности, аппарат синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил, разработанный на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ.

В качестве факторов риска исследуемых классов профессиональных заболеваний было сформировано несколько разнородных групп.

Анализ видов профессиональных заболеваний среди водителей транспортных средств, задействованных в структурах МЧС России, показал, что среди водителей, длительное время находящихся за рулем без резкой смены температурного режима и при удовлетворительном кондиционировании кабины, наиболее распространёнными заболеваниями являются остеохондроз и простатит. С использованием теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша по этим классам заболеваний были сформированы конкретные списки информативных признаков и синтезированы соответствующие коллективы нечетких гибридных правил прогнозирования и ранней диагностики исследуемых болезней.

По задаче прогнозирования появления остеохондроза были отобраны девять признаков, по каждому диагнозу этого заболевания – еще пять признаков, связанных с болевыми ощущениями. Для задач прогнозирования и ранней диагностики хронического простатита из 55 исходных признаков было отобрано 20 информативных признаков.

По сформированным пространствам информативных признаков были синтезированы коллективы соответствующих нечетких решающих правил, базирующихся на модифицированных итерационных моделях Е. Шортлифа.

Результаты математического моделирования показали, что уверенность в принимаемых решениях превышает величину 0,85.

Проверка качества работы решающих правил на репрезентативных контрольных выборках показала, что для задач прогнозирования прогностическая значимость превышает величину 0,87, а для задач ранней диагностики диагностическая эффективность превышает уровень 0,9.

***Ключевые слова**: нечеткая логика, информационно-аналитическая модель, профессиональные заболевания, водители транспортных средств, хронический простатит, остеохондроз.*

***

Введение

Задачи прогнозирования и диагностики заболеваний, включая профессиональные заболевания водителей транспортных средств, относятся к общему классу анализа состояния сложных человеко-машинных комплексов, основным аппаратом исследования которых является системный анализ.

При этом вопросы разработки и выбора методов и средств обработки информации для эффективного решения конкретных задач анализа и управления сложными объектами, в которых активно взаимодействуют человек и техническая

система в окружении других элементов среды обитания, не являются тривиальными, они требуют творческой работы высококвалифицированных экспертов, в ходе которой обогащается теория и практика системного анализа, управления и обработки информации в медицинских и технических системах.

Одной из актуальных проблем, связанных с эффективной и надежной работой человеко-машинных систем, требующих использования и развития методов системного анализа, является задача повышения надежности работы человека-оператора, задействованного в контуре управления технической системой.

Анализ структуры и технологии получения информации о компонентах человеко-машинных систем, влияющих на состояние здоровья операторов, показывает, что для принятия адекватных решений целесообразно использовать аппарат нечеткой логики, который в свою очередь требует определенной модернизации с целью получения более эффективных средств анализа и управления исследуемым классом сложных систем.

Таким образом, актуальность работы определяется необходимостью разработки и внедрения современных методов системного анализа, управления и информационных технологий в сферу анализа и эффективного управления сложными человеко-машинными системами и, в частности, для оператора, взаимодействующего с различными типами транспортных средств.

Информационно-аналитическая модель принятия решений

Среди множества профессий сотрудников Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) значительное место занимают водители транспортных средств различных типов и назначений. Анализ профессиональных заболеваний этой категории людей позволил выделить ряд факторов риска, провоцирующих такие достаточно часто фиксируемые заболевания, как остеохондроз, простатит и заболевания системы дыхания, когда работа водителей связана с резким изменением температуры и попаданием в экологически неблагоприятные условия.

Подробный анализ наиболее существенных факторов риска позволил выделить из них несколько разнородных групп:

– признаки, относящиеся к эргономике транспортных средств (ETS);

– индивидуальные факторы риска, связанные с образом жизни и индивидуальным здоровьем (IFR);

– факторы риска экологической природы (EFR).

Учитывая особенности функционирования организма и способы синтеза соответствующих моделей, из индивидуальных факторов риска выделяются такие показатели, как функциональное состояние (FS) и функциональный резерв организма (FR).

По тем же причинам выделяют такие показатели, как психоэмоциональное напряжение (PN) и длительное физическое утомление (FU), которые могут порождаться как эргономикой транспортных средств, так и индивидуальными особенностями организма и условиями жизни.

Для задач ранней диагностики кроме различных факторов риска необходимо использовать дополнительные специфические инструментальные методы исследований (IMI), традиционно принятые в медицинской практике.

Анализ структуры данных, используемых для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, показал, что исследуемые классы состоя-

ний водителей транспортных средств имеют существенные и аналитически не определяемые зоны пересечений, а связь искомых признаков с искомыми прогнозами и диагнозами носит скрытый (латентный) характер. В этих условиях, с учетом рекомендаций [4, 5, 6, 33, 37], в качестве математического аппарата выбран метод синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил, достаточно подробно описанный в работах [4, 5, 9, 10, 33].

С учетом опыта проектирования систем поддержки принятия решений, использующих технологию мягких вычислений, накопленного на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета (БМИ ЮЗГУ), для проектирования базы знаний предлагается информационно-аналитическая модель, приведенная на рисунке.

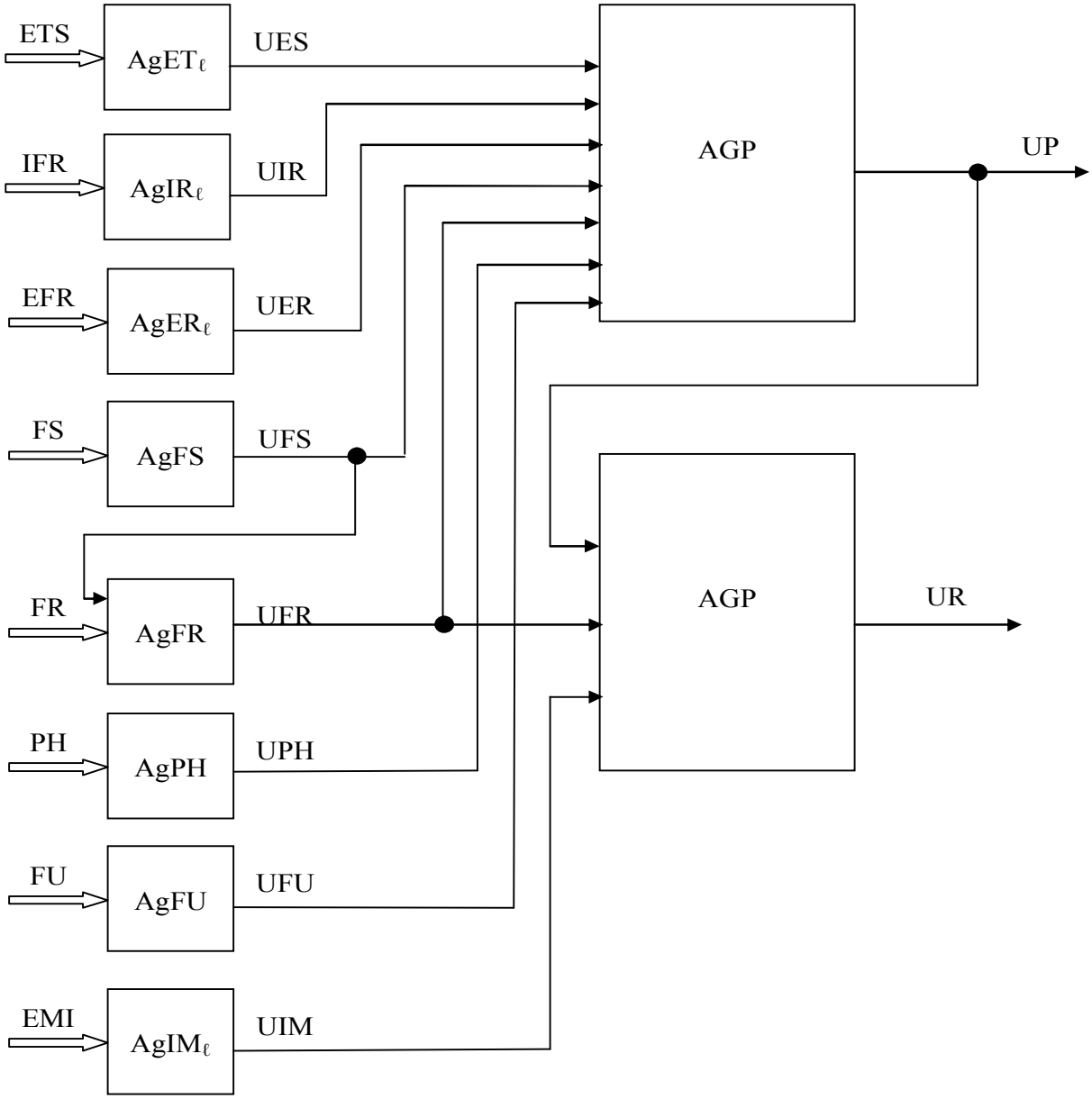


Рис. Информационно-аналитическая модель принятия решений о состоянии водителей

По выбранным подпространственным информативным признаками синтезируется множество частных агрегаторов (Ag), например метод синтеза коллективов гибридных нечетких математических моделей, описанный в работах [4, 5, 6, 27, 33].

Эти агрегаторы обеспечивают расчет: уверенности в прогнозе появления профессионального заболевания ω_ℓ водителя транспортного средства по факторам риска, связанным с эргономикой транспортного средства (UES);

– уверенности в прогнозе ω_ℓ по группе индивидуальных факторов риска (UIR);

– уверенности в прогнозе ω_ℓ от экологических факторов риска (UER);

– уровня функционального состояния (UFS);

– уровня функционального резерва (UFR);

– уровня психоэмоционального напряжения (UPH);

– уровня длительного физического утомления (UFU);

– уверенности в наличии ранней стадии заболевания ω_ℓ по группе специфических признаков, традиционно используемых в медицинской практике (UIM).

Частные решения, получаемые агрегаторами первого уровня, объединяются в финальные решающие правила агрегаторами второго уровня AGP и AGR, реализуя нечеткие математические модели вида

$$UP = F_{UA}(UES, UIR, UER, UES, UFR, UPH, UFU); \quad (1)$$

$$UR = F_{UR}(UP, UFR, UIM), \quad (2)$$

где UP и UR – уверенности в прогнозе и наличии ранних стадий заболевания по исследуемому классу ω_ℓ;

F_{UA} и F_{UR} – соответствующие функции агрегации.

Методической основой синтеза математических моделей, используемых в информационно-аналитической структуре, приведенной на рисунке, является теория синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил, описанных в общем виде в работах [4, 5, 6, 9, 10, 33]. Применительно к решаемым в работе задачам показатели UES, UIR, UER и UIM зависят от конкретных классов ω_ℓ, и синтез соответствующих математических моделей определяется структурой исходных данных конкретного заболевания. В качестве базовых примеров синтеза правил этого типа можно использовать результаты работ [2, 7, 8, 11, 12, 13].

Синтезу моделей для определения UFS, UFR, UPH, UFU посвящены работы кафедры БМИ ЮЗГУ [1, 14, 16, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 35, 36], которые вполне можно использовать для решения задач, поставленных в данной статье.

Модели прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний водителей транспортных средств

Анализ видов профессиональных заболеваний среди водителей транспортных средств, задействованных в структурах МЧС России, показал, что среди водителей, длительное время находящихся за рулем без резкой смены температурного режима и при удовлетворительном кондиционировании кабины, наиболее распространенными заболеваниями являются остеохондроз и простатит. Водители, работающие в условиях некачественного кондиционирования воздуха в кабине и часто покидающие кабину с выходом во внешнюю среду с резким перепадом температур, приобретают заболевания системы дыхания. Часть водителей работает в экологически неблагоприятных условиях (наличие угарного газа, фенолов и др.), что может приводить к

заболеваниям, провоцируемым вредными веществами окружающей среды.

В данной работе рассмотрим вопросы синтеза математических моделей прогнозирования и ранней диагностики таких заболеваний, как остеохондроз и простатит.

На экспертном уровне по заболеванию остеохондроз были выделены эргономические и индивидуальные факторы риска. По классам высокий риск возникновения остеохондроза и его ранняя стадия выбраны следующие факторы риска [3]:

$x1$ – избыточность веса;

$x2$ – наследственность;

$x3$ – дефекты осанки (сколиоз, сутулость и др.);

$x4$ – сопутствующие заболевания;

$x5$ – избыточная статическая нагрузка на пояснично-крестцовый отдел позвоночника;

$x6$ – избыточная динамическая нагрузка на пояснично-крестцовый отдел позвоночника;

$x7$ – неблагоприятный микроклимат;

$x8$ – работа в условиях вибрации;

$x9$ – привычка сидеть сутулясь.

Следующая группа признаков связана с болевыми ощущениями, которые характерны для предболезни и болезни. В эту группу признаков вошли следующие факторы (факторы боли):

$x10$ – боли в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, возникающие без видимой причины;

$x11$ – боли в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, возникающие после переохлаждения;

$x12$ – боли в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, возникающие после физической нагрузки;

$x13$ – максимальная продолжительность болей в пояснично-крестцовом отделе позвоночника;

$x14$ – давность появления болей (в годах);

$x15$ – учащение болей в пояснично-крестцовом отделе позвоночника за последний год.

По приведенной системе признаков без учета факторов боли, которые, по мнению экспертов, характеризуют классы предболезнь и болезнь, были построены функции принадлежности к классу высокий риск заболевания остеохондрозом ω_{PO} в ближайшие три года.

Для определения стадии предболезнь (класс $\omega_{ПО}$) были получены функции принадлежности по $x10 - x15$. Результаты метаматематического моделирования показали, что уверенность в принимаемых решениях по остеохондрозу превышает величину 0,9.

Отличительной особенностью остеохондрозов является то, что при одних и тех же болевых синдромах и общих факторах риска окончательные диагнозы могут существенно отличаться.

Например, при пояснично-крестцовых болях неясного происхождения они могут быть вызваны опухолевыми процессами, хронической артериальной недостаточностью нижних конечностей и т.д., что требует проведения дополнительных специальных исследований [3].

Для решения задачи прогнозирования возникновения и обострения хронического простатита (классы ω_{PX}, ω_{OX}) специалисты-урологи выделили 55 информативных признаков, разбитых на пять крупных блоков [18]:

I – социально-экономические факторы $x1,\ldots,x4$;

II – эргономические факторы $x5,\ldots,x13$;

III – поведенческие факторы $x14,\ldots,x34$;

IV – факторы питания $x35,\ldots,x40$;

V – медико-биологические факторы $x41,\ldots,x55$.

Полный перечень всех факторов риска с расшифровкой их градаций приведен в работе [18].

Для диагностики хронического простатита специалистами-урологами была сформирована система диагностических признаков, получаемых на основании алгоритма обследования, разработанного с учетом рекомендаций Международной согласительной конференции по улучшению диагностики и лечения простатита и алгоритма обследования пациентов с хроническим простатитом.

Рабочий словарь признаков включает:

- субъективные признаки, получаемые при анкетировании пациентов по вопроснику, разработанному на основании опросников NIH-CPSI, СОС-ХП, МИЭФ-5: $x1$ – локализация боли или дискомфорта; $x2$ – появление или усиление болей после полового сношения; $x3$ – боль или дискомфорт при завершении полового сношения (эякуляции); $x4$ – боль или жжение при мочеиспускании; $x5$ – ослабление струи мочи, прерывистое мочеиспускание или ощущение неполного опорожнения мочевого пузыря; $x6$ – потребность мочиться ранее чем через 2 ч после последнего мочеиспускания; $x7$ – частота ночного мочеиспускания; $x8$ – длительное вытекание мочи каплями после мочеиспускания; $x9$ – выделение секрета простаты в конце мочеиспускания или при дефекации; $x10$ – суммарный балл шкалы эректильной функции (МИЭФ); x11 – частые беспричинные эрекции; $x12$ – преждевременная эякуляция; $x13$ – снижение качества оргазма; $x14$ – бесплодие;
- объективные признаки: результаты пальцевого ректального исследования: $x15$ консистенция + размеры железы: $x16$ – структура железы; $x17$ – симметричность; $x18$ – болезненность; диагностический массаж простаты: $x19$ – количество секрета простаты в каплях: $x20$ – постмассажная деформация; микроскопическое исследование секрета простаты: x21 – количество лейкоцитов при микроскопии мазка; $x22$ – количество лецитиновых зерен; $x23$ – обнаружение микрофлоры при микроскопии мазка; $x24$ – микробиологическое исследование экскрементов простаты; $x25$ – данные ТРУЗИ простаты; $x26$ – результаты ПЦР секрета простаты.

Подробное описание структуры этого признакового пространства приведено в работе [18].

После оптимизации структуры признакового пространства с использованием пакета RUMM2020 было оставлено 20 информативных признаков, обеспечивающих уверенность в правильной постановке диагноза не хуже 0,9.

Результаты клинических испытаний

С целью объективизации оценки качества работы полученных решающих правил были сформированы контрольные выборки с расчетом таких показателей качества принятия решений, как диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС), прогностическая значимость положительных ($ПЗ^+$) и отрицательных ($ПЗ^-$) результатов.

Для задачи оценки работы решающего правила прогноза возникновения остеохондроза было организовано наблюдение за пациентами больниц г. Курска. В начале эксперимента у пациентов измерялись значения прогностических признаков $x1$-$x9$. Контрольные выборки формировались следующим образом. Пациенты, которые в течение трех лет не заболели остеохондрозом, были отнесены к классу ω_0, а пациенты, получившие различные стадии заболевания, – к классу ω_{PO}. Для проведения статистических рас-

четов для каждого из классов было отобрано по 100 человек.

После трех лет наблюдений проверялась точность “срабатывания” правила относительно порогового значения UP, равного 0,5:

$$ПЗ^{+} = \frac{n_1}{(n_1 + n_2)} \text{ и } ПЗ^{-} = \frac{n_3}{(n_3 + n_4)}, \qquad (3)$$

где n_1 – число заболевших, правильно классифицируемых правилом;

n_2 – число не заболевших, отнесенных решающим правилом к заболевшим;

n_3 – число не заболевших, правильно классифицированных решающим правилом;

n_4 – число заболевших, отнесенных правилом к здоровым людям.

Определялись показатели “срабатывания“ прогностических решающих правил.

Проведенные расчеты показали, что $ПЗ^{+}$=0,87, а $ПЗ^{--}$ = 0,89.

Аналогично оценивалось качество работы решающих правил прогнозирования возникновения (класс ω_{PX}) и обострения (класс ω_{0X}) хронического простатита.

По этой задаче по классу ω_{PX} были получены следующие результаты: $ПЗ^{+}$=0,9, а $ПЗ^{-}$ = 0,87, по классу ω_{0X}: $ПЗ^{+}$=0,95, а $ПЗ^{-}$ = 0,95.

По классам ранней диагностики рассчитывались общепринятые в медицинской практике показатели ДЧ, ДС и ДЭ. Все они на контрольных выборках превышают значение 0,9.

Таким образом, в ходе проведенных испытаний было доказано достаточно высокое качество нечетких правил, решающих задачи прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний водителей транспортных средств, занятых в структуре МЧС.

Список литературы

1. Бойцова Е.А., Шуткин А.Н., Магеровский М.А. Оценка уровня функциональных резервов организма на основе технологии мягких вычислений и модели Г. Раша // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2015. – Т.14, № 4. – С. 3-7.

2. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний на основе оценки функционального резерва человека с помощью гетерогенных нечетких моделей / В.Н. Гадалов, В.А. Иванов, В.И. Снопков, В.В. Серебровский // Медицинская техника. – 2013. – №4. – С. 6-9.

3. Прогнозирование возникновения, ранняя и дифференциальная диагностика остеохондрозов поясничного отдела позвоночника на основе нечеткой логики принятия решений / М.А. Ефремов, Н.А. Кореневский, О.В. Родионов, С.А. Филист // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2006. – Т.5, № 4. – С. 939.

4. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – №1 (289). – С. 33-35.

5. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №2. – С. 99-103.

6. Кореневский Н.А., Башир А.С., Горбатенко С.А. Синтез гибридных нечетких решающих правил для прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья в экологически неблагоприятных регионах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техни-

ка, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №4. – С. 69-73.

7. Оценка эргономики транспортных средств на основе нечетких гибридных моделей / Н.А. Кореневский, А.А. Бурмака, Л.В. Стародубцева, С.А. Горбатенко // Биотехносфера. – 2012. – №1(14). – С. 50-54.

8. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Оценка эргономики биотехнических систем с помощью нечетких моделей Е.Шортлифа // Медицинская техника. – 2013. – №4. – С.4-6.

9. Кореневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2013. – Т.12, №4. – С. 905-909.

10. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2008. – №2. – С. 18-24.

11. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н.А. Кореневский, Н.А. Серебровский, В.И. Коптева, Н.А. Говорухина. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2012. – 231 с.

12. Комплексная оценка уровня функциональных резервов организма человека на основе нечетких моделей принятия решений/ Н.А. Кореневский, А.Н. Коростелев, В.В. Нечаева, Е.А. Бойцова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2010. – №2. – С.30-36.

13. Метод оценки функционального резерва человека-оператора на основе комбинированных правил нечеткого вывода / Н.А. Кореневский, А.Н. Коростелев, Л.В. Стародубцева, В.В. Серебровский // Биотехносфера. – 2012. – №1. – С.44-49.

14. Использование теории измерения латентных переменных для оценки уровня психоэмоционального напряжения / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, Е.Н. Кореневская // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – №3. – С. 103-118.

15. Кореневский Н.А., Шуткин А.Н., Бойцова Е.А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. – 2015. – №6. – С. 37-40.

16. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.В. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 472 с.

17. Коцарь А.Г. Разработка и исследование методов и средств управления процессами прогнозирования, диагностики, профилактики и лечения хронического простатита: дис. ... канд. мед. наук: 05.13.01. – Воронеж, 2003. – 147 с.

18. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда: монография / С.П. Серегин, О.Н. Воробьева, С.Н. Кореневская [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2015. – 166 с.

19. Маслак А.А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах: монография. – М., 2006. – 333 с.

20. Синтез решающих правил для оценки уровня психоэмоционального напряжения и утомления с использованием двумерных классификационных пространств и векторной алгебры/ В.И. Серебровский, А.Н. Шуткин, А.В. Бойцов,

С.Н. Кореневская // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – №5(56). – С. 58-63.

21. Филатова О.И. Метод, модели и алгоритм анализа и управления функциональным состоянием человека на основе нечётких гетерогенных правил принятия решений: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17. – Курск, 2011.

22. Чурсин Г.В., Кореневский Н.А., Бурмака А.А. Прогнозирование и ранняя дифференциальная диагностика профессиональных заболеваний водителей транспортных средств с использованием нечетких моделей // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2010. – №2. – С. 54-63.

23. Чурсин Г.В., Кореневский Н.А., Лукашов М.И. Нечеткая оценка роли физического утомления в рецидиве хронических заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2009. – №3. – С. 692-697.

24. Чурсин Г.В., Кореневский Н.А., Коростелев А.Н. Комплексная очценка эргономических свойств транспортных средств на основе нечетких моделей и ее использование в задачах прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2010. – Т.9, №1. – С. 21-26.

25. Шкатова Е.С., Магеровский М.А., Мухатаев Ю.В. Оценка функционального состояния и функционального резерва организма по энергетической сбалансированности меридианных структур // Современные тенденции резвития техники и технологии: сборник научных трудов по материалам VIII международной научно-практической конференции. – Белгород, 2015. – Ч. 2, №8. – С. 132-135.

26. Шуткин А.Н. Методология синтеза нечетких гибридных решающих правил для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2010. – Т.14, №3. – С. 593-600.

27. Шуткин А.Н. Оценка уровня психоэмоционального напряжения на основе комбинированных нечетких моделей и модели Г. Раша // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. –№6(314). – С. 122-129.

28. Использование гибридных нечетких моделей для оценки степени утомления / А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, А.В. Бойов, С.Н. Кореневская // Известия Юго-Западного государственного универнситета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – №2. – С. 107-118.

29. Шуткин А.Н. Оценка функционального состояния и здоровья человека с использованием теории измерения латентных переменных на основе моделей Г. Раша // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2014. – Т.13, №4. – С. 927-932.

30. Шуткин А.Н., Бойцова Е.А., Стародубцева Л.В. Оценка уровня утомления с использованием теории измерения латентных переменных // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2014. – Т.14, №3. – С. 553-561.

31. Getting Started RUMM 2010/ Rasch Unidimensional Measurement Models. – Pert.: RUMM Laboratory Ltd, 2001. – 87 p.

32. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision- Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering, May. – 2015. – Vol. 49. – Is. 1. – P. 46-49.

33. Asswstment of Ergonomics of Biotechnical Systems Using Shortliffe Fuzzy Models / N. A. Korenevskiy, V. N. Gadalov, E. N. Korovin, V.I. Serebrovskiy // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 47. – Is. 4. – P. 173-176.

34. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N.A. Korenevskiy, R.T.Al-Kasasbeh, F.Ionescouc, M.Alshamasin, E.Alkasasbeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings. – 2013. – Vol. 40. – IFMBE. – P. 213-216.

35. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N.A. Korenevskiy, R.T.Al-Kasasbeh, F.Ionescouc, M.Alshamasin, E.Alkasasbeh, A.P. Smith // Mega-Conference on Biomedical Engenering: Proceedings of the 4th-international conference in the development of biomedical engineering. – Ho Chi Minh City (Vietnam), 2012. – P.354-357.

36. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. – Vol.43, N4. – P. 187-190.

37. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 42, N2. – P.67-72.

References

1. Bojcova E.A., Shutkin A.N., Magerovskij M.A. Ocenka urovnja funkcional'nyh rezervov organizma na osnove tehnologii mjagkih vychislenij i modeli G.Rasha // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2015. – Vol.14, № 4. – S. 3-7.

2. Prognozirovanie i rannjaja diagnostika zabolevanij na osnove ocenki funkcional'nogo rezerva cheloveka s pomoshh'ju geterogennyh nechetkih modelej / V.N. Gadalov, V.A. Ivanov, V.I. Snopkov, V.V. Serebrovskij // Medicinskaja tehnika. – 2013. – №4. – S. 6-9.

3. Prognozirovanie vozniknovenija, rannjaja i differencial'naja diagnostika osteohondrozov pojasnichnogo otdela pozvonochnika na osnove nechetkoj logiki prinjatija reshenij / M.A. Efremov, N.A. Korenevskij, O.V. Rodionov, S.A. Filist // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2006. – Vol.5, № 4. – S. 939.

4. Korenevskij N.A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki prinjatie reshenij dlja medicinskih jekspertnyh sistem // Medicinskaja tehnika. – 2015. – №1 (289). – S. 33-35.

5. Korenevskij N.A. Metod sinteza geterogennyh nechetkih pravil dlja analiza i upravlenija sostojaniem biotehnicheskih sistem // Proceeding of the Southwest State University. Ser.: Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2013. – №2. – S. 99-103.

6. Korenevskij N.A., Bashir A.S., Gorbatenko S.A. Sintez gibridnyh nechetkih reshajushhih pravil dlja prognozirovanija, ocenki i upravlenija sostojaniem zdorov'ja v jekologicheski neblagoprijatnyh regionah // Proceeding of the Southwest State University. Ser.: Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2013. – №4. – S. 69-73.

7. Ocenka jergonomiki transportnyh sredstv na osnove nechetkih gibridnyh modelej / N.A. Korenevskij, A.A. Burmaka, L.V. Starodubceva, S.A. Gorbatenko // Biotehnosfera. – 2012. – №1(14). – S.50-54.

8. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Ocenka jergonomiki biotehnicheskih sistem s pomoshh'ju nechetkih modelej E.Shortlifa // Medicinskaja tehnika. – 2013. – №4. – S.4-6.

9. Korenevskij N.A., Ruckoj R.V., Dolzhenkov S.D. Metod prognozirovanija i diagnostiki sostojanija zdorov'ja na osnove kollektivov nechetkih reshajushhih pravil // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2013. – Vol.12, №4. – S. 905-909.

10. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Sintez nechetkih setevyh modelej, obuchaemyh po strukture

dannyh dlja medicinskih jekspertnyh sistem / // Medicinskaja tehnika. – 2008. – №2. – S. 18-24.

11. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvaemyh vrednymi proizvodstvennymi i jekologicheskimi faktorami na osnove geterogennyh modelej/ N.A. Korenevskij, N.A. Serebrovskij, V.I. Kopteva, N.A. Govoruhina. – Kursk: Izd-vo Kursk. gos. s.-h. ak, 2012. – 231 s.

12. Kompleksnaja ocenka urovnja funkcional'nyh rezervov organizma cheloveka na osnove nechetkih modelej prinjatija reshenij/ N.A. Korenevskij, A.N. Korostelev, V.V. Nechaeva, E.A. Bojcova // Biomedicinskaja radiojelektronika. – 2010. – №2. – S.30-36.

13. Metod ocenki funkcional'nogo rezerva cheloveka operatora na osnove kombinirovannyh pravil nechet-kogo vyvoda / N.A. Korenevskij, A.N. Korostelev, L.V. Starodubceva, V.V. Serebrovskij // Biotehnosfera. – 2012. – №1. – S.44-49.

14. Ispol'zovanie teorii izmerenija latentnyh peremennyh dlja ocenki urovnja psihojemocional'nogo naprjazhenija/ N.A. Korenevskij, A.N. Shutkin, E.A. Bojcova, E.N. Korenevskaja // Proceeding of the Southwest State University. Ser. Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2015. – №3. – S. 103-118.

15. Korenevskij N.A., Shutkin A.N., Bojcova E.A. Ocenka i upravlenie sostojaniem zdorov'ja na osnove modelej G. Rasha / // Medicinskaja tehnika. – 2015. – №6. – S. 37-40.

16. Ocenka i upravlenie sostojaniem zdorov'ja obuchajushhihsja na osnove gibridnyh intellektual'nyh tehnologij: monografija / N.A. Korenevskij, A.N. Shutkin, , S.A. Gorbatenko, V.V. Serebrovskij. – Staryj Oskol: TNT, 2015. – 472 s.

17. Kocar' A.G. Razrabotka i issledovanie metodov i sredstv upravlenija processami prognozirovanija, diagnostiki, profilaktiki i lechenija hronicheskogo prostatita // dis. ... kand. med. nauk: 05.13.01. – Voronezh, 2003. – 147 s.

18. Matematicheskie modeli prognozirovanija i profilaktiki recidivov infarktov miokarda v reabilitacionnom monografija / S.P. Seregin, O.N. Vorob'eva, S.N. Korenevskaja [et al.]. – Kursk, 2015. – 166 s.

19. Maslak A.A. Izmerenie latentnyh peremennyh v social'no-jekonomicheskih sistemah. Monografija. – M., 2006. – 333 s.

20. Sintez reshajushhih pravil dlja ocenki urovnja psihojemocional'nogo naprjazhenija i utomlenija s ispol'zovaniem dvumernyh klassifikacionnyh prostranstv i vektornoj algebry / V.I. Serebrovskij, A.N. Shutkin, A.V. Bojcov, S.N. Korenevskaja // Proceeding of the Southwest State University. – 2014. – №5(56). – S. 58-63.

21. Filatova O.I. Metod, modeli i algoritm analiza i upravlenija funkcional'nym sostojaniem cheloveka na osnove nechjotkih geterogennyh pravil prinjatija reshenij: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.11.17. – Kursk, 2011.

22. Chursin G.V., Korenevskij N.A., Burmaka A.A. Prognozirovanie i rannjaja differencial'naja diagnostika professional'nyh zabolevanij voditelej transportnyh sredstv s ispol'zovaniem nechetkih modelej // Biomedicinskaja radiojelektronika. – 2010. – №2. – S. 54-63.

23. Chursin G.V., Korenevskij N.A., Lukashov M.I. Nechetkaja ocenka roli fizicheskogo utomlenija v recidive hronicheskih zabolevanij // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2009. – №3. – S. 692-697.

24. Chursin G.V., Korenevskij N.A., Korostelev A.N. Kompleksnaja ochenka jergonomicheskih svojstv transportnyh sredstv na osnove nechetkih modelej i ee ispol'zovanie v zadachah prognozirovanija i diagnostiki professional'nyh zabolevanij // Sis-

temnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2010. – Vol..9, №1. – S. 21-26.

25. Shkatova E.S., Magerovskij M.A., Muhataev Ju.V. Ocenka funkcional'nogo sostojanija i funkcional'nogo rezerva organizma po jenergeticheskoj sbalansirovannosti meridiannyh struktur // Sbornik nauchnyh trudov po materialam VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii // Sovremennye tendencii rezvitija tehniki i tehnologii", chast' II, №8. – Belgorod, 2015. – S. 132-135.

26. Shutkin A.N. Metodologija sinteza nechetkih gibridnyh reshajushhih pravil dlja reshenija zadach prognozirovanija i rannej diagnostiki zabolevanij provociruemyh obrazovatel'nym // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2010. – Vol.14, №3. – S. 593-600.

27. Shutkin A.N. Ocenka urovnja psihojemocional'nogo naprjazhenija na osnove kombinirovannyh nechetkih modelej i modeli G. Rasha // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2015. –№6(314). – S. 122-129.

28. Ispol'zovanie gibridnyh nechetkih modelej dlja ocenki stepeni utomlenija / A.N. Shutkin, E.A. Bojcova, A.V. Bojov, S.N. Korenevskaja // Proceeding of the Southwest State University. Ser. Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. –2015. – №2. – S. 107-118.

29. Shutkin A.N. Ocenka funkcional'nogo sostojanija i zdorov'ja cheloveka s ispol'zovaniem teorii izmerenija latentnyh peremennyh na osnove modelej G.Rasha // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2014. – Vol.13, №4. – S. 927-932.

30. Shutkin A.N., Bojcova E.A., Starodubceva L.V. Ocenka urovnja utomlenija s ispol'zovaniem teorii izmerenija latentnyh peremennyh, // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. – 2014. – Vol.14, №3. – S. 553-561.

31. Getting Started RUMM 2010/ Rasch Unidimensional Measurement Models. – Pert.: RUMM Laboratory Ltd, 2001. – 87 p.

32. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision- Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering, May. – 2015. – Vol. 49. – Is. 1. – P. 46-49.

33. Asswstment of Ergonomics of Biotechnical Systems Using Shortliffe Fuzzy Models / N. A. Korenevskiy, V. N. Gadalov, E. N. Korovin, V.I. Serebrovskiy // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 47. – Is. 4. – P. 173-176.

34. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N.A. Korenevskiy, R.T.Al-Kasasbeh, F.Ionescouc, M.Alshama-sin, E.Alkasasbeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings. – 2013. – Vol..40. – P.213-216.

35. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N.A. Korenevskiy, R.T.Al-Kasasbeh, F.Ionescouc, M.Alsha-masin, E.Alkasasbeh, A.P. Smith // "Mega-Conference on Biomedical Engenering" Proceedings of the 4th-international conference in the development of biomedical engineering. – Ho Chi Minh City (Vietnam), 2012. – P.354-357.

36. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. – Vol.43, N 4. – P. 187-190.

37. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 42, N 2. – P.67-72.

Получено 26.04.16

E.A. Startsev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

S.N. Korenevskaya, Engineer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

I.I. Khripina, Engineer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

L. V. Starodubseva, Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

FORECASTING AND EARLY DIAGNOSIS OF OCCUPATIONAL DISEASES OF DRIVERS WORKING IN THE STRUCTURE OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS

The work is devoted to the actual problem of the life quality and the reliability of the drivers, which worked in the Ministry of Emergency Situations structures. This is achieved by solving the problems of forecasting and early diagnosis of diseases caused by their professional activities.

The paper shows that in poor formalization for analyzed data structures (classes healthy - sick and healthy - predbolezn greatly overlap and have no distinct boundaries) it should be used fuzzy logic of decision-making and apparatus for the synthesis of hybrid ensembles of fuzzy decision rules, developed at the Department of biomedical engineering at SWSU.

Symptoms related to the ergonomics of vehicles; individual risk factors related to lifestyle and individual health; risks of environmental nature.

Analysis of the types of occupational diseases drivers of vehicles of the structures of the Ministry of emergency situations of Russia, showed that among the drivers for a long time behind the wheel without a sharp change of temperature regime and a satisfactory conditioning of the cabin most common diseases osteochondrosis and prostatitis. Using the theory of measuring the latent variables with the model G. Rush for these classes of diseases were formed specific lists of informative features and synthesized relevant groups of hybrid fuzzy rules for the prediction and early diagnosis of the studied diseases.

Nine features were selected for the task of forecasting the emergence of degenerative disc disease, for the diagnosis of this disease every five symptoms associated with painful sensations. To predict problems and early diagnosis of chronic prostatitis of 55 initial signs 20 informative features were selected.

According shaped space informative features were synthesized bands corresponding fuzzy decision rules based on the modified iterative models E. Shortlifa.

Mathematical modeling results showed that confidence in the decisions made exceeds 0.85.

Checking the quality of decision rules on representative test samples showed that the problems of forecasting predictive value exceeds the value of 0.87, and for the early detection of problems diagnostic efficiency level of greater than 0.9.

***Key words**: fuzzy logic, information-analytical model, occupational disease, vehicle drivers, chronic prostatitis, and osteochondrosis.*

УДК 61:57

А.О. Позин, гл. инженер, Агропромышленный Холдинг «Мираторг», ООО «Брянская мясная компания» (Брянск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

В.В. Руденко, канд. техн. наук, доцент, Курский институт социального образования

С.А. Горбатенко, канд. техн. наук, доцент, Курский институт социального образования

Р.А. Крупчатников, д-р техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АКУПУНКТУРЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

В работе рассматриваются вопросы применения современных методов акупунктуры для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний человека и животных. Показывается, что методы рефлексодиагностики и рефлексотерапии, применяемые к сельскохозяйственным животным и человеку, имеют много схожих черт, что создает предпосылки для создания единой методической и аппаратно-программной базы исследования.

В качестве основного математического аппарата предлагается использовать модифицированные накопительные процедуры Е. Шортлифа, дополненные четким условием определения конкретной патологии.

При выборе показателя, характеризующего энергетическое состояние БАТ, рекомендуется учитывать, что электрическое напряжение акупунктурных точек несет большее количество информации о состоянии организма, чем электрическое сопротивление, но в этом сигнале больше мешающих факторов. Для решения практических задач электрическое напряжение предпочтительнее использовать для диагностики тонких изменений наличных функциональных состояний организма. Для прогнозирования и диагностики ранних стадий рекомендуется использовать активную составляющую электрического сопротивления, измеряемого на переменном токе силой 2 mkA, частотой 1 кГц.

При решении задач прогнозирования и диагностики состояний человека и животных методами рефлексодиагностики предлагается использовать два подхода: через таблицу отклонений (интервалов сопротивлений) электрических характеристик БАТ, от их номинальных значений, через функции принадлежности к исследуемому классу заболеваний. Второй подход более предпочтителен по точности, но требует определенных математических навыков среди экспертов-медиков (ветеринаров). Первый подход предполагает наличие большого практического опыта рефлексотерапевтов.

При синтезе конкретных математических моделей для различных типов заболеваний человека и животных рекомендуется пользоваться общими рекомендациями, разработанными на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ в рамках общей теории биофизики акупунктуры.

Показано, что описанный в работе подход хорошо зарекомендовал себя на задачах прогнозирования и ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний у человека и маститов у крупного рогатого скота.

Ключевые слова: *акупунктура, комбинированные нечеткие решающие правила, человек, животное, агропромышленный комплекс.*

***

С развитием теоретических основ биофизики акупунктуры и повышения точности регистрации энергетических характеристик биологически активных точек в настоящее время появляется возрастающий интерес к использованию методов акупунктуры в различных сферах человеческой деятельности.

В данной работе изучаются возможности современной акупунктуры применительно к агропромышленному комплексу. Причем такое применение перспективно как при оценке и коррекции состояния человека, так и животных. Практика использования методов акупунктуры при работе с сельскохозяйственными животными и человеком показывает, что методики проведения рефлексодиагностики и рефлексотерапии весьма схожи, что создает предпосылки для создания единой методической и аппаратно-программной базы исследований.

Опыт использования энергетических характеристик БАТ для решения различных практических задач показал, что качество решаемых задач значительно повышается, если при выборе информативных точек и при синтезе соответствующих решающих правил учитывать особенность «вывода» информации о состоянии внутренних структур организма на эти точки.

К таким особенностям относятся:

– вывод большого количества информации на одну точку (множество диагнозов, симптомов, синдромов);

– цикличные изменения энергетического состояния БАТ в течение суток даже при нормальной энергетической сбалансированности меридиан;

– большой объем данных, который нужно анализировать, если патология заранее не известна.

Такие особенности информации, передаваемой на БАТ, затрудняют процедуру выбора информативных точек.

Однако, если учитывать особенности анатомии и физиологии меридианных структур организма, механизм выбора информативной БАТ может быть значительно упрощен.

Эти особенности состоят в том, что большинство БАТ не имеют полностью совпадающих списков диагнозов, синдромов и симптомов, совокупность кото-

рых в специальной литературе называют ситуациями [7, 10, 11, 13].

Проведенные исследования показали, что при наличии не совпадающих ситуаций можно подобрать такие комбинации БАТ, анализ которых позволяет подтвердить исследуемую ситуацию (диагноз) и опровергнуть ситуации, «выводимые» на БАТ, но отсутствующие у исследуемого. Эти комбинации называют диагностически значимыми точками (ДЗТ) [7,10].

В работах [7,10] подробно описываются методики и алгоритмы определения списков ДЗТ.

При синтезе математических моделей для прогнозирования и диагностики состояния человека и животных следует учитывать тот факт, что чем больше число биологически активных точек свидетельствует в пользу гипотезы ω_ℓ , тем больше уверенность в принимаемом решении.

Это позволяет рассматривать перспективность использования базовой модели Е. Шортлифа, эффективность работы которой в медицинских приложениях неоднократно доказывалась многими исследованиями [4–9, 12].

Базовая накопительная формула Е. Шортлифа определяется следующей итерационной моделью:

$$КУ_{\omega_\ell}(j+1)= КУ_{\omega_\ell}(j)+ КУ^*_{\omega_\ell}(Y_i)\times \times [\,1 - КУ_{\omega_\ell}(j)]\,, \qquad (1)$$

где $КУ_{\omega_\ell}(j)$ – коэффициент уверенности в гипотезе ω_ℓ на j-м шаге итерации;

$КУ^*_{\omega_\ell}(Y_i)$ – коэффициент уверенности в ω_ℓ от одного свидетельства (фактора) Y_i.

Смысл формулы (1) состоит в том, что эффект нового свидетельства (Y_i) в пользу гипотезы ω_ℓ при уже известных свидетельствах сказывается на смещении $КУ_{\omega_\ell}$ в сторону полной определенности на расстояние, зависящее от нового свидетельства. Важными свойствами приведенной формулы являются ее симметричность в том смысле, что порядок следования Y_i не имеет значения.

В другой, часто неиспользуемой модификации формула Е. Шортлифа имеет вид [4, 5, 8, 9, 10, 11]:

$$КУ_{\omega_\ell}(j+1)= КУ_{\omega_\ell}(j)+ + \mu_{\omega_\ell}(\,Y_i)[\,1 - КУ_{\omega_\ell}(j)], \qquad (2)$$

где $\mu_{\omega_\ell}(Y_i)$ – функция принадлежности к исследуемому классу состояний ω_ℓ с базовой переменной Y_i;

i – номер базовой переменной (информативного признака).

При выборе показателя, характеризующего энергетическое состояние БАТ, рекомендуется учитывать, что электрическое напряжение акупунктурных точек несет большее количество информации о состоянии организма, чем электрическое сопротивление, но в этом сигнале больше мешающих факторов. Для решения практических задач электрическое напряжение предпочтительнее использовать для диагностики тонких изменений наличных функциональных состояний организма. Для прогнозирования и диагностики ранних стадий рекомендуется использовать активную составляющую электрического сопротивления, измеряемого на переменном токе силой 2 mkA, частотой 1 кГц [7,14].

При решении задач прогнозирования и диагностики состояний человека и животных методами рефлексодиагностики наиболее часто используют два подхода:

1) через таблицу отклонений (интервалов сопротивлений) электрических характеристик БАТ от их номинальных значений;

2) через функции принадлежности к исследуемому классу заболеваний.

Первый подход предполагает наличие большого практического опыта рефлексотерапевтов. Второй подход более предпочтителен по точности, но требует определенных математических навыков среди экспертов-медиков (ветеринаров).

При построении табличной модели строкам соответствуют имена отобранных БАТ, столбцам – отклонения сопротивлений от номинальных значений или интервалы сопротивлений. Элементами таблицы служат коэффициенты уверенности в принимаемых решениях.

Естественным условием выбора точек для такой таблицы является то, что их использование при классификации не должно уменьшать уверенность в гипотезе ω_ℓ. Тогда в терминологии работы [7] частные табличные коэффициенты уверенности имеют тот же смысл, что и меры увеличения доверия. Исходными посылками для выбора величин $КУ^*_{jr}$ может служить частость появления того или иного диапазона измеренных сопротивлений в рассматриваемом классе заболеваний или другие меры информативности (например, по Кульбаку). Учитывая, что величина $КУ^*_{jr}$ должна быть всегда меньше единицы, любые оценки $КУ^*_{jr}$ должны быть подвергнуты соответствующей нормировке.

Таблица иллюстрирует принцип построения табличной модели по прогнозированию патологии сердца.

Частные коэффициенты уверенности для прогнозирования заболеваний сердца

R(кОм) / БАТ	>500	400 500	300 399	200 299	100 199	90 99	80 89	70 79	60 69	50 59	40 49	<40
C9*	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	0.95
C7*	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	0.5	0.8	0.95
C4	0	0	0	0.1	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
C6*	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3

В этой таблице символ * обозначает принадлежность точек меридиана сердца к группе ДЗТ. Использование дополнительных точек C8, C4, C6, по мнению экспертов, «усиливает» уверенность в принимаемых решениях.

Величины частных коэффициентов уверенности в приведенном примере определялись через информативную меру Кульбака, которая для пар альтернативных гипотез (заболеет – не заболеет) определяется в соответствии с выражением

$$I_{jr} = \sum [f_3(A_j^r) - f_m(A_j^r)] \lg \frac{f_3(A_j^r)}{f_m(A_j^r)}, \qquad (3)$$

где f_3 и f_m – частоты r-го интервала сопротивления для j–й БАТ для людей, у которых не прогнозируются и прогнозируются заболевания сердца соответственно.

В таблицу были включены те БАТ, для которых I_{jr}>120.

Учитывая, что максимальная расчетная величина I_{max} = 450, а эксперты определили, что максимально достижимая уверенность в искомом прогнозе по энергетическим характеристикам БАТ не превышает величины 0.95, частные коэффициенты уверенности определялись из следующей пропорции:

$$\frac{I_{\max}}{0.95} = \frac{I_{jr}}{КУ_{jr}},$$

откуда $КУ_{jr} = 0.95 \frac{I_{jr}}{I_{\max}}$.

Общая уверенность в том, что у пациента появятся заболевания сердца (класс ω_c) $КУ_c$ определяется выражением (1) с заменой $КУ^*_{\omega_\ell}(Y_j)$ на $KY_{j+1,r}$.

При использовании функций принадлежности в качестве базовых переменных предлагается использовать относительные отклонения текущих значений сопротивлений БАТ R_j от их номинальных значений $R_{j\text{ном}}$, которые расчитываются по формуле

$$\delta R_j = \frac{|R_{j\text{ном}} - R_j|}{R_{j\text{ном}}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Чтобы исключить влияние посторонних ситуаций на исследуемую патологию ω_ℓ, в работе [7] рекомендуется при синтезе решающих правил проверять четкое условие вида:

ЕСЛИ [Для всех точек Y_j, принадлежащих ДЗТ, для класса ω_ℓ сопротивление R_j больше выбранного порогового значения δR_jпор] ТО[Решать задачу определения уверенности в диагнозе (прогнозе) ω_ℓ] ИНАЧЕ [Уверенность в диагнозе (гипотезе ω_l) равна нулю].

С учетом четкого условия выражение (2) принимает следующий вид:

$$\text{ЕСЛИ } \left(Y_j \in [ДЗТ]_\ell : \delta R_j \geq \delta R_j пор\right) \text{ ТО}$$
$$\left\{\text{КУ}_{\omega_l}(j+1) = \text{КУ}_{\omega_l}(j) + \mu_{\omega_l}(\delta R_{j+1})\left[1 - \text{КУ}_{\omega_l}(j)\right]\right\}, \quad (5)$$
$$\text{ИНАЧЕ } (\text{КУ}_{\omega_l} = 0).$$

Характерной особенностью энергети-ческих характеристик БАТ и ряда других информативных признаков является то, что они могут изменяться под воздействием однократных относительно коротких возмущающих внутренних или внешних воздействий, после чего, если организм обладает достаточным адаптационным потенциалам, возвращаться в рамки допустимых значений или находиться за рамками значений, считающихся нормой, достаточно длительное время (неделя, месяц, год и т.д.)

Первый случай реже соответствует патологическому отклонению в организме человека, а второй случай, как правило, свидетельствует о высоком риске появления и развития заболеваний или об имеющейся патологии. Причем, чем большее время наблюдается отклонение энергетических характери-стик БАТ от номинальных значений, тем увереннее можно говорить о наличии гипотезы ω_ℓ.

Учесть время отклонений энергетических характеристик БАТ от соответствующих номинальных значений в формулах расчета коэффициентов уверенности в гипотезах ω_ℓ можно, введя понятие различных уровней доверия. Например, к первому уровню доверия со своими частными решающими правилами следует отнести выводы, делаемые по результатам однократных измерений, ко второму уровню доверия – результаты, получаемые при устойчивой тенденции выхода измеряемых пара-метров за рамки номинальных значений в течение недели, месяца и т.д

С учетом сказанного целесообразно соответствующие функции принадлежности строить для каждого уровня доверия $-q - \mu^q_{\omega_\ell}(\delta R_j)$. Расчет частных коэффициентов уверенности для каждого из уровней доверия в зависимости от существа решаемой задачи и предпочтений экспертов можно производить различными способами.

Например, в первом варианте для каждого из выбранных интервалов времени записывается продукционное правило следующего вида:

$$\text{ЕСЛИ } T_q, \text{ТО } \left[\text{КУ}_{\omega_\ell} = \mu^q_{\omega_\ell}(\delta R_j)\right], \quad (6)$$

где T_q – интервал времени, в течение которого наблюдается выход R_j за рамки номинальных значений.

Во втором варианте коэффициент уверенности для различных уровней доверия r может быть определён путём умножения коэффициента уверенности

для первого уровня доверия $КУ^1_{\omega_\ell}$ на весовой коэффициент $\gamma_{\omega_\ell}(D_j, t^*_j)$, который зависит от величины Dj выхода измеряемого сопротивления R_j за рамки номинальных значений и от времени t^*_j, в течение которого R_j удерживается за рамками номинального значения.

В этом варианте скорректированный коэффициент уверенности определяется выражением

$$КУr_{\omega_\ell} = \gamma_{\omega_\ell}(D_j, t^*_j) \cdot КУ^1_{\omega_\ell}. \quad (7)$$

При выборе значений $\gamma_{\omega_\ell}(D_j, t^*_j)$ следует учитывать, что

$$КУr_{\omega_\ell} < 1.$$

При синтезе систем поддержки принятия решений, использующих методы рефлексодиагностики и рефлексотерапии, одной из необходимых задач является сопряжение средств измерения и воздействия на БАТ с персональным компьютером. Эта задача решается с использованием специализированного модуля сопряжения с биообъектом (МСБ).

На рисунке 1 представлен вариант структуры многоканального МСБ, реализующего съем электрического потенциала с биологически активных точек и многоканальное воздействие на них с помощью многоканального управляющего токового генератора (УТГ) [13].

В этой схеме электроды съема информации об электрических параметрах БАТ $ЭС_1, \ldots, ЭС_n$ подключены к коммутатору входных цепей (КВЦ), который управляется со стороны первого RISC микроконтроллера (RISK MK1) типа AT90S8615, коммутатор входных цепей определяет схему отведений. В режиме рефлексотерапии КВЦ подключает управляемый токовый генератор к электродам воздействия. Электрическое напряжение, снимаемое с БАТ, усиливается блоками операционных усилителей типа OP497. На рисунке 1 приведена схема 16-канального регистратора (четыре блока по четыре канала каждый).

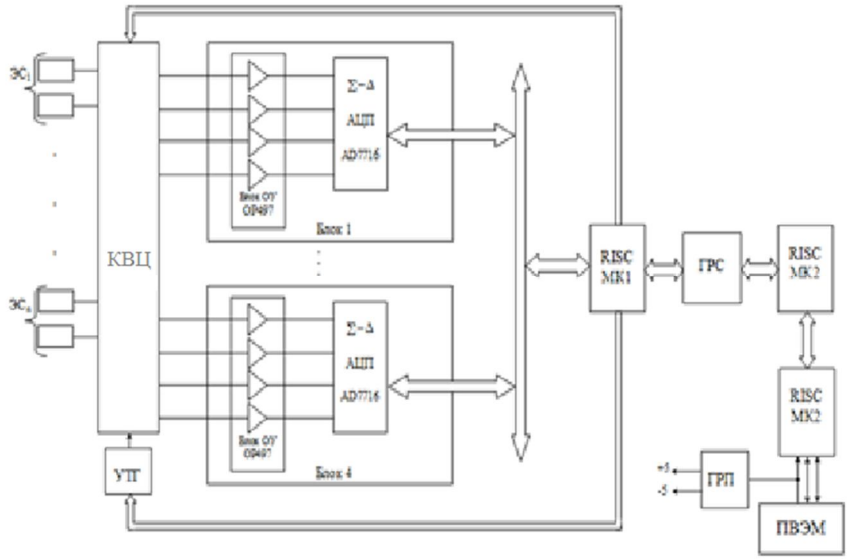


Рис. 1. Структурная схема многоканальной системы ввода информации об электрических характеристиках БАТ

Преобразование аналоговых сигналов в цифровой код производится с помощью программируемых четырехканальных сигма-дельта-АЦП типа AD 7716. Использование сигма-дельта-АЦП позволяет обеспечивать широкий дина-

мический диапазон регистрируемых сигналов. Кроме того, использование этого типа АЦП позволяет отказаться от фильтров высоких частот крупногабаритными высокостабильными конденсаторами. Программным способом реализуется набор качественных цифровых ФВЧ или, вообще, работа ведется с нулевой нижней частотой, что свойственно приборам для научных исследований. Также возможны программные решения интеллектуальной привязки изолинии раздельно по каждому из каналов на основе избирательного изменения постоянной времени цифрового ФВЧ.

Кроме управления КВЦ первый микроконтроллер осуществляет коммутацию выходов АЦП, а также задает режим работы управляемого токового генератора. Гальваническая развязка по сигнальным цепям осуществляется блоком ГРС (HCPL261N), а гальваническая развязка питания осуществляется блоком ГРП (THI0511). Управление обменом с ПВЭМ осуществляет второй микроконтроллер RISC МК2 через универсальный последовательный контроллер МК3 USB порта.

При измерении сопротивлений биологически активных точек УТГ задает измерительный ток, а блоки операционных усилителей заменяются на блоки преобразования сопротивления в напряжения (ПСН). Вариант схемы ПСН для измерений на постоянном токе показан на рисунке 2 [13].

В этой схеме управляемый токовый генератор формирует постоянное напряжение $U_п$, которое через резистор R_1 и стабилизатор VD подает напряжение $U_{ст}$ на сопротивление ткани биообъекта $R_т$. Это обеспечивается тем, что напряжение на прямом и инверсном входах ОУ практически равны.

Выходное напряжение ОУ определяется выражением

$$U_{вых} = U_{ст}\left(1 + \frac{R_2}{R_T}\right).$$

Из последнего выражения R_T определяется программным путем.

При измерениях сопротивлений на переменном токе схема ПСН значительно усложняется.

На рис. 3 приведена схема измерения на переменном токе [13].

Для этой схемы УТГ формирует переменное синусоидальное напряжение с фиксированной максимальной амплитудой U_m. Стабилизация измерительного тока для сопротивления биоткани R_T обеспечивается источником тока, собранном на элементах $ОУ_1$ и VT_1, …, VT_6.

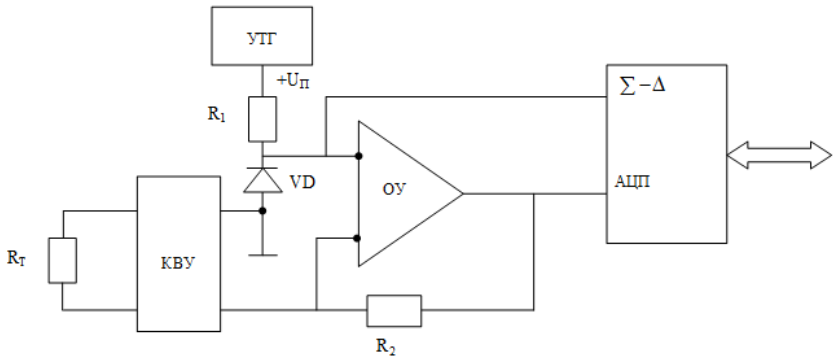


Рис. 2. Схема ПСН постоянного тока

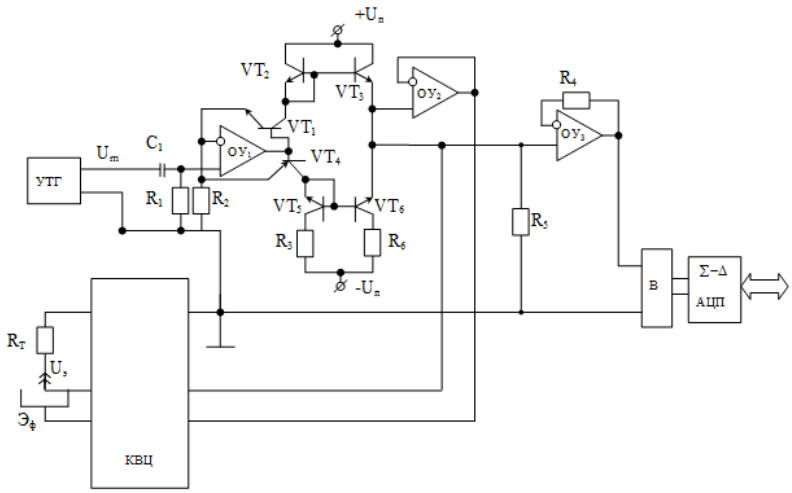


Рис.3. Схема ПСН для измерений на переменном токе

Амплитуда тока, протекающего через объект измерений (R_T), определяется следующим выражением:

$$I_m = \frac{U_m}{R_2}.$$

Этот ток создает на сопротивлении биообъекта падение напряжения $U_T = I_m R_T$, которое усиливается усилителем $ОУ_3$ и выпрямляется выпрямителем (В). Усилитель ОУ2 используется для фокусирования электрического тока с помощью электрода $Э_ф$, окружающего измерительный электрод $U_Э$. Благодаря этому электрический ток от источника проходит только через определенно часть поверхности биологической ткани, что позволяет локализовать зону измерений.

Учитывая сложность ПСН переменного тока, схему рис. 1 целесообразно модифицировать, обеспечивая коммутацию электродов в режиме измерения к одному ПСН, который работает на один сигнал-дельта АЦП.

Примеры использования информации об энергетических характеристиках БАТ для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса описаны в работе [6,12].

Авторами исследовались приложения средств анализа электрического сопротивления БАТ для диагностики ранних сроков беременности и маститов у крупного рогатого скота [1, 2, 3].

Во всех случаях были получены приемлемые для практической медицины и ветеринарии результаты.

Список литературы

1. Горбатенко С.А. Использование меридианных моделей для диагностики маститов // Медико-экологические информационные технологии – 2001: материалы Четвертой международной научно-практической конференции. – Курск, 2001. – С.150-152.

2. Горбатенко С.А. Использование электрических характеристик биологически активных точек для диагностики маститов // Здоровье населения в современных условиях: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Курск, 2000. – С. 41-42.

3. Горобец Ю.Н., Горбатенко С.А., Руденко В.В. Модель формирования электрических потенциалов проекционных зон человека и животных // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2001. – №3. – С. 50-57.

4. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – №1. – С. 33-35.

5. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №2. – С. 99-103.

6. Кореневский Н.А., Коптева Н.А., Крупчатников Р.А. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний сельскохозяйственных рабочих на основе нечеткой логики принятия решений // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т. 4, №7. – С. 86-89.

7. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 528 с.

8. Кореневский Н.А. , Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2008. – №2. – С. 18-24.

9. Кореневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2013. – Т. 12, № 4. – С. 905-909.

10. Кореневский Н.А., Буняев В.А., Крупчатников Р.А. Синтез прогностических и диагностических нечетких решающих правил по электрическим характеристикам проекционных зон для медико-экологических приложений // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2009. – №4. – С. 39-46.

11. Кореневский Н.А., Гадалов В.Н., Снопков В.Н. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т.11, №2. – С. 515-521.

12. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных нечетких моделей / Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2012. – 231 с.

13. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений для врачей рефлексотерапевтов: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 424 с.

14. Портнов Ф.П. Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига: Зинатне, 1980. – 245 с.

References

1. Gorbatenko S.A. Ispol'zovanie meridiannykh modelej dlya diagnostiki mastitov // Materialy chetvertoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Mediko-ehkologicheskie informatsionnye tekhnologii – 2001». – Kursk, 2001. – S.150-152.

2. Gorbatenko S.A. Ispol'zovanie ehlektricheskikh kharakteristik biologicheski aktivnykh tochek dlya diagnostiki mastitov // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Zdorov'e naseleniya v sovremennykh usloviyakh». – Kursk, 2000. –S. 41-42.

3. Gorobets YU.N., Gorbatenko S.A., Rudenko V.V. Model' formirovaniya ehlektricheskikh potentsialov proektsionnykh zon cheloveka i zhivotnykh // Biomeditsinskaya radioehlektronika. – 2001. – №3. – S. 50-57.

4. Korenevskij N.A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki prinyatiya reshenij dlya meditsinskikh ehkspertnykh sistem // Meditsinskaya tekhnika. – 2015. – №1. – S. 33-35.

5. Korenevskij, N.A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem // Proceeding of the Southwest State University. Ser. Management, Computer facil-

ities, computer science. Medical instrument making. – 2013. – №2. – S.99-103.

6. Korenevskij N.A., Kopteva N.A., Krupchatnikov R.A. Prognozirovanie i rannyaya diagnostika zabolevanij sel'sko-khozyajstvennykh rabochikh na osnove nechetkoj logiki prinyatiya reshenij // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – T. 4, №7. – S. 86-89.

7. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., Al'-Kasasbekh R.T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ehkologii na osnove nechetkikh setevykh modelej. – Staryj Oskol: TNT, 2013. –528 s.

8. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Sintez nechetkikh setevykh modelej, obuchaemykh po strukture dannykh dlya meditsinskikh ehkspertnykh sistem // Meditsinskaya tekhnika. – 2008. – №2. – S. 18-24.

9. Korenevskij N.A., Rutskoj R.V., Dolzhenkov S.D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkikh reshayushhikh pravil //Sistemnyj analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. – 2013. – T. 12, № 4. – S. 905-909.

10. Korenevskij N.A., Bunyaev V.A., Krupchatni R.A. Sintez prognosticheskikh i diagnosticheskikh nechetkikh reshayushhikh pravil po ehlektricheskim kharakteristikam proektsionnykh zon dlya mediko-ehkologicheskikh prilozhenij // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. – Tekhnicheskie nauki. – 2009. – №4. – S. 39-46.

11. Korenevskij N.A., Gadalov V.N., Snopkov V.N. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. – 2012. – T.11, №2. – S. 515-521.

12. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ehkologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh nechetkikh modelej / N.A. Korenevskij, V.I. Serebrovskij, N.A. Kopteva, T.N. Govorukhina. – Kursk, 2012. – 231s.

13. Korenevskij N.A., Krupchatni–kov R.A. Intellektual'nye sistemy podderzhki prinyatiya reshenij dlya vrachej refleksoterapevtov: monografiya. – Staryj Oskol: TNT, 2013. – 424 s.

14. Portnov F.P. EHlektropunkturnaya refleksoterapiya. – Riga: Zinatne, 1980. – 245 s.

Получено 26.04.16

A.O. Pozin, Chief Engineer, Agricultural Holding "Agribusiness", LLC "Bryansk Meat Company» (Bryansk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

V.V. Rudenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kursk Institute of Social Education (Kursk)

S.A. Gorbatenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kursk Institute of Social Education (Kursk)

R.A. Krupchatnikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

PROGNOSTIC AND DIAGNOSTIC CAPABILITIES ACUPUNCTURE IN AGRICULTURE

The paper deals with the application of modern acupuncture methods for the solution problem of forecasting and diagnostics humans and animals diseases. It is shows that reflexodiagnostics and reflexology methods are applied to agricultural animals and humans, because they have many similarities It creates the prerequisites for the creation of a unified methodical and hardware and software research base.

As a general mathematical formalism is proposed to use modified storage procedure E. Shortlifa complemented by a clear definition of the specific disease condition.

It is recommended to consider when choosing a figure BAP condition that the voltage of acupuncture points is more informative than the electrical resistance (in the signal over confounding factors). In solving the practical problems of voltage is better to use for the diagnosis of subtle changes in the functional state of the body cash. To

predict and diagnose the early stages it is recommended to use an active component of the electrical resistance measured at AC power Mka 2, 1 kHz.

It is proposed to use two approaches in solving the problems of forecasting and diagnostics of the statuses of humans and animals reflexodiagnostic methods. The first approach is done by the table of deviations (interval resistance) electrical characteristics of the BAT from their nominal values. The second approach is via functions belonging to the studied class of diseases.It is more accurate, but requires some mathematical skills among medical experts (veterinarians). The first approach assumes the presence of a large practical experience of reflex therapy.

It is recommended to use the general recommendations developed at the Department of Biomedical Engineering SWSU within the general theory of acupuncture Biophysics in the synthesis of specific mathematical models for various types of human and animal diseases.

It is shown that described the approach has worked well in the tasks of forecasting and early diagnosis of cardiovascular disease in humans and mastitis in cattle.

Key words: *acupuncture, combined fuzzy decision rules, a person, animal, agriculture.*

УДК 61:57

Н.А. Кореневский, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

А.Н. Шуткин, канд. физ.-мат. наук, Воронежский институт государственной противопожарной службы МЧС России (e-mail: anshutkin@mail.ru)

В.Н. Николаев, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

В.В. Серебровский, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ОЦЕНКА УРОВНЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДЛЯ ПЛОХОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ДАННЫХ В МЕДИЦИНЕ, ПСИХОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

При решении задач прогнозирования и классификации в медицине, экологии, психологии, биологии и других смежных областях знаний одной из важных задач является задача оценки и выбора информативных (наиболее существенных) признаков. В практических приложениях наиболее часто для оценки информативности данных используются различные статистические методы, например, на основе методов классификации, на основе энтропии, на основе непараметрических оценок плотности и др.

Одним из ограничений существующих методов оценки информативности признаков является требование репрезентативности обучающих выборок, что на практике не всегда выполняется.

В данной работе рассматривается возможность использования теории измерения латентных переменных, метода группового учета аргументов и экспертного оценивания при решении задач оценки и выбора информативных признаков в условиях недостаточной статистики при плохоформализуемой структуре данных.

Теория измерения латентных переменных разрабатывалась для исследования взаимосвязей переменных, имеющих скрытую (латентную) природу по отношению к плохо формализуемым понятиям типа психоэмоциональное напряжение, утомление, функциональное состояние, прогноз появления и развития заболеваний, ранняя стадия заболевания и др.

В качестве меры информативности в этой теории используется переменная Location, которая рассчитывается с использованием диалогового пакета RUMM 2020.

Метод группового учета аргументов (МГУА) характеризуется использованием моделей структурно-параметрической идентификации, представленных полиномами Колмогорова-Габора. В качестве меры информативности для этой группы моделей предлагается использовать величины весовых коэффициентов и показатели степени.

Экспертную информативность предлагается определять по методикам, хорошо зарекомендовавшим себя в квалиметрии.

В работе приводится формула расчета финальной информативности, получаемая агрегацией рассматриваемых составляющих.

Показывается, что рассчитываемые величины информативности могут использоваться для оценки величин параметров функций принадлежности, применяемых в теории нечеткой логики принятия решений.

Ключевые слова: *информативные признаки, модель Г. Раша, метод группового учета аргументов, экспертное оценивание.*

***

При решении задач прогнозирования и классификации в медицине, экологии, психологии, биологии и других смежных областях знаний одной из важных задач

является задача оценки и выбора информативных (наиболее существенных) признаков. В практических приложениях наиболее часто для оценки информативности данных используются различные статистические методы, например, на основе методов классификации на основе энтропии на основе непараметрических оценок плотности и др. [2,7]

Одним из ограничений существующих методов оценки информативности признаков является требование репрезентативности обучающих выборок, что на практике не всегда выполняется.

В данной работе рассматривается возможность использования теории измерения латентных переменных и метода группового учета аргументов при решении задач оценки и выбора информативных признаков в условиях недостаточной статистики при плохоформализуемой структуре данных.

Теория измерения латентных переменных разрабатывалась для исследования взаимосвязей переменных, имеющих скрытую (латентную) природу по отношению к плохо формализуемым понятиям типа психоэмоциональное напряжение, утомление, функциональное состояние, прогноз появления и развития заболеваний, ранняя стадия заболевания и др.

Рассмотрим, как, используя механизмы, реализуемые в теории измерения латентных переменных, решать задачи оценки информативных признаков для плохоформализуемых структур данных. Теория измерения латентных переменных ItemResponseTheory (IRT) является общепризнанной теорией перехода от индикаторных переменных к латентным. Уникальность модели Г. Раша состоит в том, что она задает механизм преобразований формальных наблюдений за исходом событий в объективные измерения на метрической шкале латентных стимулов этих событий [1,13,18].

В теории IRT устанавливается связь между двумя множествами значений латентных переменных.

Первое множество – значения латентных переменных, характеризующих уровень качества объектов наблюдения θ_i, где i – номер объекта и i=1,2, …, n.

Второе множество – значения латентных переменных, определяющих значимость j-го индикатора β_j ,j=1,2, …, m.

Для математической модели Г. Раша, связывающего «успех» объекта с уровнем его качества и значимостью индикатора, принята логистическая функция, имеющая следующий вид:

$$P_{tj} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}, \qquad (1)$$

где P_{tj} – вероятность достижения i-м объектом значения латентного переменного θ при значении j-й индикаторной переменной β_j .

Графики данной функции называются характеристическими кривыми индикаторов.

Для исследования роли индикаторных переменных в формировании латентной переменной разработан пакет прикладных программ RUMM 2020 (*Rasch Unidimensional Measurement Models*) [13,18]. Используя значения индикаторных переменных, переведенных в логиты, пакет RUMM 2020 строит теоретические (характеристические) кривые модели Г. Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных этой модели и в ходе итерационных процедур формируют пространство информативных признаков.

Относительно теоретической кривой по обучающей выборке формируется три примерно равные группы − с низким, средним и высоким уровнем исследуемых состояний, для которых определяются координаты их средних значений. Считается, что если индикатор (информативный признак) хорошо соответствует общему набору индикаторов, то точки соответствующие "слабым", "средним" и "сильным" уровням, близко располагают-

ся относительно характеристической кривой.

Мера близости координат средних значений к теоретической кривой Г. Раша определяется по критерию Хи-квадрат.

В ходе реализации пакета RUMM 2020 рассчитываются:

– степень соответствия индикаторных переменных модели измерения (латентной переменной «утомление» - *ChiSq Prob* ($\chi^2_{\text{критич.}}$ Pr*ob*);

– местоположение индикаторной переменной, измеряемой в логитах (*Location*);

– погрешность измерения местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах (*SE*);

– величина, характеризующая суммарное отклонение значений данного индикатора от ожидаемых значений на основе модели (*FitResid*).

Считается, что индикаторная переменная, для которой $\chi^2_{\text{критич.}}$ Pr*ob*≥0,05 (при доверительной вероятности 0,95) удовлетворяет модели Г. Раша и может быть использована для описания исследуемой переменной. В работах [1,13] можно найти подробное описание процедуры формирования списков индикаторных переменных, адекватных модели Г. Раша и пригодных для оценки исследуемой латентной переменной.

Мерой информативности индикаторных переменных x_i по отношению к латентной переменной является переменная Location (ℓ_i).

Основным ограничением использования модели Г. Раша для оценки информативности является наличие обучающего материала достаточного объема, а также то, что структура исходных данных должна удовлетворять используемой математической модели, в частности логистической модели Г. Раша.

Менее жесткие ограничения к структуре данных предъявляются методы группового учета аргументов (МГУА) [5,6,10], однако это метод имеет менее развитый доказательный механизм степени доверия к информативной ценности анализируемых показателей.

С учетом достоинств и недостатков обоих методов предлагается объединить эти два подхода, добавив к ним экспертную составляющую для решения задачи оценки информативных показателей, используемых в медицинских, психологических и экологических приложениях.

Метод группового учета аргументов характеризуется использованием моделей структурно-параметрической идентификации, представленных компонентами Колмогорова-Габора, который в исследуемых приложениях реализуется моделью вида [10]

$$Y_{k\ell} = F_\ell(\overline{X_{jk\ell}}, \overline{A_{jk\ell}}), \qquad (2)$$

где $Y_{k\ell}$ – целевая функция (прогноз, диагноз, состояние окружающей среды и т.д.) по группе признаков, определяемых вектором $\overline{X_{jk\ell}}$ для класса ω_ℓ;

$\overline{X_{jk\ell}}$ – вектор признаков с номером j группы k класса ω_ℓ;

$\overline{A_{jk\ell}}$ – вектор настраиваемых параметров.

После синтеза правил (2) из всех исходных признаков отбираются те, которые имеют устойчивые связи с $Y_{k\ell}$. Эти отобранные признаки предлагается считать информативными по отношению к классу ω_ℓ. Величины элементов вектора a_i определяют меры информативности признаков x_i.

В моделях типа (2) настраиваемые параметры по отношению к x_i могут включаться как множители и показатели степени, поэтому числовые значения a_i нельзя использовать как меру информативности. Задачу определения числовых значений меры информативности m_i признаков x_i для модели (2) могут решать эксперты исходя из свойств модели и знаний предметной области.

Экспертная оценка информативности e_i (важности) признаков определяется по

методикам, хорошо отработанным в рамках квалиметрии.

Полученные величины информативности целесообразно для каждого из признаков агрегировать в интегральный показатель по следующей формуле:

$$I_i = \frac{\gamma_1 \cdot \ell_i + \gamma_2 \cdot m_i + \gamma_3 \cdot e_i}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3}, \qquad (3)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – коэффициенты, определяющие вклад каждой из трех составляющих в интегральную оценку информативности признака x_i.

Одним из хорошо зарекомендовавших себя математических аппаратов, обеспечивающих принятие решения в медицине, психологии, биологии, экологии и других смежных областях, является теория нечеткой логики принятия решений [3,4,14,16,19] и, в частности, методы синтеза коллективов гибридных нечетких моделей [8, 9,11,12,17]. Одной из трудно формализуемых задач при синтезе этих моделей является выбор формы и параметров функций принадлежности к исследуемым классам состояний ω_ℓ [8,11,15,16,17]. Учитывая свойства введенных показателей ℓ_i, m_i, e_i, I_i, после приведения к интервалу [0,…,1] их можно рекомендовать для оценки максимальных значений, соответствующих функций принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(x_i)$.

Таким образом, предложенные методы оценки информативности могут быть использованы не только по своему прямому назначению, но и при синтезе прогностических и диагностических моделей для медицины, биологии и других смежных областей.

Список литературы

1. Бойцов А.В. Синтез коллективов решающих правил прогнозирования и диагностики патологии студентов с использованием латентных переменных и моделей Раша: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17. – А.В. Бойцов. – Курск, 2015. – 175 с.

2. Журавлев Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и анализ изображений // Искусственный интеллект: в 3 кн. – Кн.2. Модели и методы: справочник / под ред. Д.А. Постелева. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 149-190.

3. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. – С. 5-49.

4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М., 1976. – 312 с.

5. Ивахненко А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического регулирования. – Киев.: Техника, 1969. – 392 с.

6. Ивахненко А.Г., Юрачевский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. – М.: Радио и связь, 1987. – 118 с.

7. Колесникова С.Н. Методы анализа информативности разнотипных признаков // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 1 (6). – С.48-54.

8. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – №1(289). – С. 33-35.

9. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №2. – С.99-103.

10. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н.А. Кореневский, М.В. Артеменко, В.Я. Провоторов, Л.А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах – 2014. – Т.13, №4. – С.881-886.

11. Кореневский Н.А., Башир А.С., Горбатенко С.А. Синтез гибридных нечет-

ких решающих правил для прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья в экологически неблагоприятных регионах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №4. – С. 69-73.

12. Кореневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2013. – Т. 12, № 4. – С. 905-909.

13. Кореневкий Н.А., Шуткин А.Н., Бойцова Е.А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. – 2015. – №6. – С.37-40.

14. Bruc G. Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. – Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1984. – 742 p.

15. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems //Biomedical Engineering, May. – 2015. – Vol. 49. – Issue 1. – P. 46-49.

16. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering Journal. – 2015. – Vol.42, N2. – P.67-72.

17. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. – Vol.43, №4. – P. 187-190.

18. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980. – 199p.

19. Zadeh L.A. Advances in Fuzzy Mathematics and engineering : Fuzzy Sets and Fuzzy information – Granulation Theory. – Beijin: Beijing Normal University Press, 2005. – 7p.

References

1. Gorbatenko S.A. Ispol'zovanie meridiannykh modelej dlya diagnostiki mastitov // Materialy chetvertoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Medikoehkologicheskie informatsionnye tekhnologii – 2001». – Kursk, 2001. – P.150-152.

2. Gorbatenko S.A. Ispol'zovanie ehlektricheskikh kharakteristik biologicheski aktivnykh tochek dlya diagnostiki mastitov // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Zdorov'e naseleniya v sovremennykh usloviyakh». – Kursk, 2000. –P. 41-42.

3. Gorobets YU.N., Gorbatenko S.A., Rudenko V.V. Model' formirovaniya ehlektricheskikh potentsialov proektsionnykh zon cheloveka i zhivotnykh // Biomeditsinskaya radioehlektronika. – 2001. – N 3. – S. 50-57.

4. Korenevskij, N.A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki prinyatiya reshenij dlya meditsinskikh ehkspertnykh sistem // Meditsinskaya tekhnika. – 2015. – №1. – S. 33-35.

5. Korenevskij N.A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem // Proceeding of the Southwest State University. Ser.: Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2013. – №2. – P.99-103.

6. Korenevskij N.A., Kopteva N.A., Krupchatnikov R.A. Prognozirovanie i rannyaya diagnostika zabolevanij sel'skokhozyajstvennykh rabochikh na osnove nechetkoj logiki prinyatiya reshenij // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – T. 4, №7. – S. 86-89.

7. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., Al'-Kasasbekh R.T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ehkologii na osnove nechetkikh setevykh modelej. – Staryj Oskol: TNT, 2013. – 528s.

8. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Sintez nechetkikh setevykh modelej, obuchaemykh

po strukture dannykh dlya meditsinskikh ehkspertnykh sistem / // Meditsinskaya tekhnika. – 2008. – №2. – P. 18-24.

9. Korenevskij N.A., Rutskoj R.V., Dolzhenkov S.D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkikh reshayushhikh pravil //Sistemnyj analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. - 2013. - T. 12, № 4. – P. 905-909.

10. Korenevskij N.A., Bunyaev V.A., Krupchatnikov R.A. Sintez prognosticheskikh i diagnosticheskikh nechetkikh reshayushhikh pravil po ehlektricheskim kharakteristikam proektsionnykh zon dlya mediko-ehkologicheskikh prilozhenij: // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki. 2009. – №4. – P. 39-46.

11. Korenevskij N.A., Gadalov V.N., Snopkov V.N. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. – 2012. – T.11, №2. – P. 515-521.

12. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ehkologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh nechetkikh modelej / N.A. Korenevskij, V.I. Serebrovskij, N.A. Kopteva, T.N. Govorukhina. – Kursk: izd-vo Kursk. gos. s.-kh. ak., 2012. – 231 p.

13. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A. Intellektual'nye sistemy podderzhki prinyatiya reshenij dlya vrachej refleksoterapevtov: monografiya. – Staryj Oskol: TNT, 2013. – 424 p.

14. Portnov F.P. EHlektropunkturnaya refleksoterapiya. – Riga: Zinatne, 1980. – 245 p.

Получено 14.04.16

N.A. Korenevskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

A.N. Shutkin, Candidate of Phisico-Mathematical Sciences, Voronezh Institute of the State Fire Service (Voronezh)

V.N. Nikolaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

V.V. Serebrovskij, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF AWARENESS FOR BAD DATA FORMALIZED IN MEDICINE, PSYCHOLOGY AND ECOLOGY

One of the most important task for solving the prediction and classification problems in medicine, ecology, psychology, biology, and other related fields of knowledge is the evaluation and selection of informative (most significant) features. In practical applications to assess the content information of data it often uses different statistical methods – discriminatory analysis, methods based on entropy, methods based on nonparametric density estimate, etc.

One of the limiting factors for informative methods is the requirement of training samples representativeness. It isn't always easy to carry out this in practice.

This paper examines the possibility of using the latent variables measurement theory, using the group accounting method of arguments and using expert estimation during the solving problems of evaluation and selection of informative features in insufficient statistics conditions in the difficult formalized data structure.

The latent variables measurement theory was developed to study relationships between variables with a hidden (latent) nature and difficult formalized concepts such as: emotional stress, fatigue, functional status, the forecast for the emergence and development of diseases, early stage of the disease, and others.

As a measure of informational content in this theory it uses a variable Location, which is calculated by using the dialog package RUMM 2020.

The method of group account of arguments (GMDH) is characterized by using of structural models and parametric identification presented polynomials by Kolmogorov-Gabor. As a measure of informational content for this model groups it is proposed to use the magnitude of the weighting factors and exponents.

The expert informational content is proposed to determine by well-established methods in qualimetry.

The paper provides a formula for calculating the final content and the resulting aggregation of components under consideration. It is shown that calculated of informational content values can be used to estimate parameter values of membership functions used in the theory of fuzzy logic decision-making..

Key words: *informative signs, model G. Rush, group method of data, expert evaluation.*

УДК 615

А.В. Быков, канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, Консультативная поликлиника БМУ КОКБ (Курск) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

Н.А. Кореневский, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

А.Г. Устинов, д-р мед. наук, профессор, ГБОУ ВПО «Российский национальный исследовательский университет им. Н.И. Пирогова», Минздравсоцразвития России (Москва) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

НЕЧЕТКИЙ АЛГОРИТМ ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ КОНЕЧНОСТЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПОВ ВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ

Работа посвящена актуальной проблеме повышения качества оказания медицинской помощи больным, страдающим ишемической болезнью нижних конечностей, путем разработки нечеткого алгоритма прогноза развития исследуемого класса заболеваний.

Для решения задач формирования пространства информативных признаков в течение пяти лет было организовано наблюдение за 300 больными атеросклерозом, тромбангиитом, болезнью Рейно и диабетической ангиопатией нижних конечностей, осложненных критической ишемией нижних конечностей.

Оценка состояния больных ишемической болезнью нижних конечностей производится по четырем классам: субкритическая ишемия; благоприятный исход; сомнительный исход; неблагоприятный исход.

Выбор этих классов исходов обусловлен их связью с функциональным состоянием нижних конечностей, определяемым степенью компенсации гипоксии соответствующих тканей.

С математической точки зрения выбранные классы исходов течения заболевания определяются на качественном уровне и не имеют четко выраженных границ, что создает предпосылки для использования такого математического аппарата, как нечеткая логика принятия решений с введением лингвистических переменных, соответствующих исследуемым классам исходов течения заболевания.

В ходе анализа состояния больных в качестве информативных признаков были выбраны: критерии качества жизни (КЖ); инструментальные методы исследования; лабораторные показатели; данные температуры тела; характеристика сердечно-сосудистой системы; характеристика дыхательной системы.

Для выбранного состава признаков и классов состояний пациента синтезирован алгоритм Мамдани-Заде, решающий задачу прогнозирования исхода исследуемого заболевания.

Проверка качества работы полученного алгоритма на репрезентативных контрольных выборках показала, что его диагностическая эффективность превышает уровень 0,88.

Ключевые слова: *технология мягких вычислений, алгоритм Мамдани-Заде, прогнозирование осложнений, критическая ишемия нижних конечностей.*

***

Актуальность проблемы критической ишемии нижних конечностей заключается в том, что лишь 51% от пролеченных пациентов в соответствии с европейским консенсусом по ангиологии соответствовали его клинико-диагностическим стандартам. Зачастую критерии сохраненной и ампутированной конечностей не отличались [8]. В первую очередь это касается больных, по различным причинам не подвергшихся реконструктивным и эндоваскулярным вмешательствам и наблюдающихся амбулаторно. По данным исследований США [7], из 400 тыс. пролеченных больных в стационаре выполнено: 50 тыс. ангиопластик, 110 тыс. шунтирующих операций, 69 тыс. ампутаций, 171 тыс. лечилась консервативно. Большинство пациентов из последней группы в дальнейшем наблюдается амбулаторно у врачей общей практики. И только благодаря доступному, алгоритмированному

клинико-диагностическому прогнозу можно провести своевременное поддерживающее лечение, которое позволит избежать ампутации конечности. Для определения правильного исхода в случае критической ишемии нижней конечности мы предлагаем последовательно определять следующие клинико-диагностические категории:

– коэффициент уверенности развития гангрены нижней конечности (UO).

С целью поиска рационального состава информативных признаков, улучшающих качество искомого прогноза, в течение пяти лет было организовано наблюдение за 300 больными атеросклерозом, тромбангиитом, болезнью Рейно и диабетической ангиопатией нижних конечностей, осложненных КИНК.

Значительного повышения качества лечения пациентов с ишемической болезнью конечностей (ИБК) можно достичь, обеспечивая своевременный и достаточно точный прогноз развития исследуемого заболевания на различных этапах ведения больных.

С целью повышения качества оказания медицинской помощи больным с ИБК 3-й стадии хронической ишемии предлагается выделить четыре класса исходов при критической ишемии нижних конечностей (КИНК): субкритическая ишемия (СКИ); благоприятный исход (БИ); сомнительный исход (СИ); неблагоприятный исход (НИ).

Выбор этих классов исходов обусловлен их связью с функциональным состоянием нижних конечностей, определяемых степенью компенсации гипоксии соответствующих тканей.

С математической точки зрения выбранные классы исходов течения заболевания определяются на качественном уровне и не имеют четко выраженных границ, что создает предпосылки для использования такого математического аппарата, как нечеткая логика принятия решений с введением лингвистических переменных, соответствующих исследуемым классам исходов течения заболевания [4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15].

Многолетние наблюдения за исходами течения исследуемого заболевания и эффективностью проводимых лечебно-профилактических мероприятий позволили на экспертном уровне установить взаимосвязь между исходом заболевания и набором таких нечетких качественных показателей, как: уверенность в том, что у пациента разовьется гангрена нижней конечности (UO); коэффициент вариабильности (KV); обратимость ишемического процесса (OI).

Таким образом, с точки зрения теории нечеткой логики принятия решений вводятся четыре лингвистические переменные: IZ – исход заболевания; UO – уверенность в прогнозе развития гангрены; KV – коэффициент вариабельности; OI – обратимость ишемического процесса. Задача логического вывода заключается в нахождении OI по вычисленным значениям UO, KV и OI.

Рассмотрим подробнее механизмы вычисления исходных показателей UO, KV и OI. Один из вариантов вычисления показателя UO достаточно подробно описан в работе [1].

В этой работе задача прогнозирования развития гангрены нижних конечностей рассматривается как двухклассовая задача классификации: ω_0 – осложнений не ожидается; ω_1 – уверенность в появлении гангрены предельно высокая.

Вычисление величины уверенности в появлении гангрены определяется модифицированной формулой Е. Шортлифа:

$$UO(q+1) = UO(\mathrm{q}) + \\ +\mu_{\omega_1}(\mathrm{x}_{i+1})[1 - UO(q)], \quad (1)$$

где q – номер итерации;

x_i – информативные признаки используемые для определения UO;

$\mu_{\omega_1}(x_i)$ – функции принадлежности к классу ω_1 с базовыми переменными x_i;

$UO(1) = \mu_{\omega_1}(x_1)$.

В работе [1] обосновывается выбор базовых переменных x_i в состав которых вошли:

X_1 – критерии качества жизни (КЖ);

X_2 – инструментальные методы исследования;

X_3 – лабораторные показатели;

X_4 – данные температуры тела;

X_5 – характеристика сердечно-сосудистой системы;

X_6 – характеристика дыхательной системы.

Анализ функций принадлежности, полученных в работе [1], показал, что они без ущерба качества прогноза могут быть аппроксимированы фрагментами соответствующих линий, графики которых приведены на рис.1.

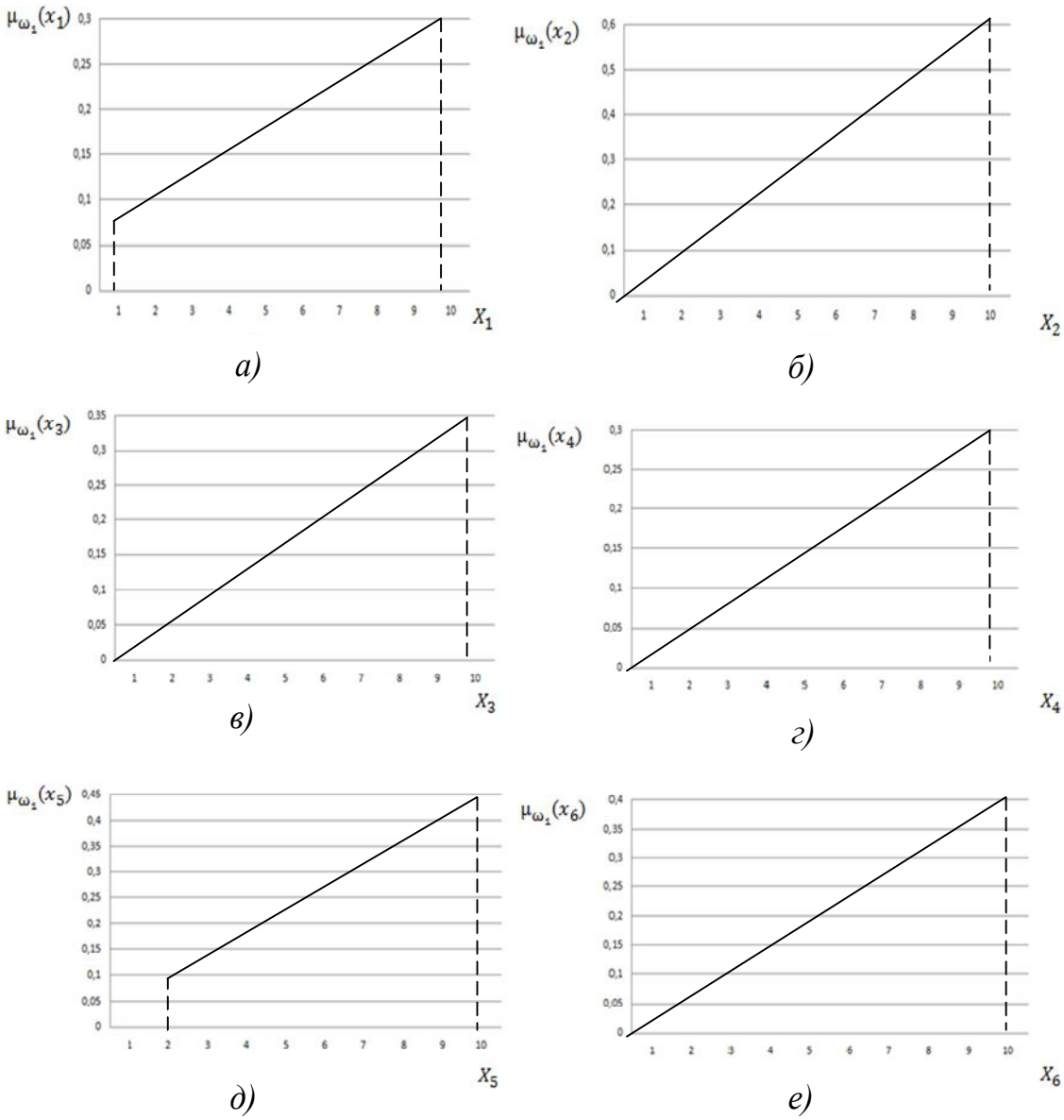


Рис. 1. Графики функций принадлежности к классу ω_1: *а* – $\mu_{\omega_1}(x_1)$; *б* – $\mu_{\omega_1}(x_2)$; *в* – $\mu_{\omega_1}(x_3)$; *г* – $\mu_{\omega_1}(x_4)$; *д* – $\mu_{\omega_1}(x_5)$; *е* – $\mu_{\omega_1}(x_6)$

Все используемые базовые переменные определены следующей системой балльных оценок.

X_1 КЖ (качество жизни):

а) ограничение дистанции безболевой ходьбы (меньше 20 метров) – 1 балл;

б) боль при любой физической нагрузке, но без болей в покое – 3 балла;

в) боль в покое через 5 часов сна – 4 балла;

г) боль в покое через 2 часа сна – 5 баллов;

д) постоянная боль без отека стопы – 6 баллов;

е) постоянная боль, отек стопы с гиперемией кожных покровов – 7 баллов;

ж) постоянная боль, отек стопы с гиперемией кожных покровов, акроцианоз стопы – 8 баллов;

з) постоянная боль, отек стопы с гиперемией кожных покровов, акроцианоз, трофическая язва стопы – 10 баллов.

X_2 – Инструментальные методы исследования (допплерография ЛПИ, реовазография РИ):

а) ЛПИ (0,9-1), РИ (0,9-1) – 0 баллов;

б) ЛПИ (0,6-0,8), РИ (0,8-0,9) – 2 балла;

в) ЛПИ (0,4-0,6), РИ (0,6-08) – 4 балла;

г) ЛПИ (0,2-0,4), РИ (0,4-06) – 6 баллов;

д) ЛПИ (меньше 0,2), РИ (0,2-0,4) – 8 баллов;

е) ЛПИ (0), РИ (0,1-0,2) – 9 баллов;

ж) ЛПИ (0), РИ (0-0,1) – 10 баллов.

X_3 – Лабораторные показатели:

а) нормальные значения СОЭ и лейкоцитов – 0 баллов;

б) увеличение СОЭ больше 10 (мужчины), больше 15 (женщины) и нормальные значения лейкоцитов – 2 балла;

в) увеличение СОЭ больше 10 (мужчины), больше 15 (женщины) и лейкоцитоз больше 10 – 3 балла;

г) увеличение СОЭ больше 10 (мужчины), больше 15 (женщины) и лейкоцитоз больше 10, тромбоцитоз – 4 балла;

д) увеличение СОЭ больше 10 (мужчины), больше 15 (женщины) и лейкоцитоз больше 10, тромбоцитоз, анемия – 5 баллов;

е) увеличение СОЭ больше 10 (мужчины), больше 15 (женщины) и лейкоцитоз больше 10, тромбоцитоз, анемия, гиперфибриногенемия – 6 баллов;

ж) увеличение СОЭ больше 10 (мужчины), больше 15 (женщины) и лейкоцитоз больше 10, тромбоцитоз, анемия, гиперфибриногенемия, гипергомоцистеинемия – 8 баллов;

з) увеличение СОЭ больше 10 (мужчины), больше 15 (женщины) и лейкоцитоз больше 10, тромбоцитоз, анемия, гиперфибриногенемия, гипергомоцистеинемия, увеличение D-димера – 10 баллов.

X_4 – Температура тела:

а) нормотермия – 0 баллов;

б) гипотермия (менее 36) – 2 балла;

в) гипертермия (37-37,5) – 4 балла;

г) гипертермия (37,6-38) – 7 баллов;

д) гипертермия (более 38) – 10 баллов.

X_5 – характеристика сердечно-сосудистой системы:

а) синусовый ритм, тахикардия (ЧСС более 95 в мин.), с.АД : 115-135 мм.рт.ст. – 2 балла;

б) синусовый ритм, тахикардия (ЧСС более 100 в мин.), с.АД: более 145 мм рт.ст. – 4 балла;

в) синусовый ритм, тахикардия (ЧСС более 100 в мин.), с.АД: более 150-170 мм рт.ст., предсердная экстрасистолия – 6 баллов;

г) фибрилляция предсердий, пост.форма, тахиаритмия, с.АД: более 170 мм рт.ст. – 8 баллов;

д) фибрилляция предсердий, пост. форма, тахиаритмия, с.АД: более 170 мм рт.ст., д.АД более 100 мм рт.ст. – 10 баллов.

X_6 – Характеристика дыхательной системы:

а) везикулярное дыхание, ЧДД 18 в мин. – 0 баллов;

б) везикулярное дыхание, ЧДД 20-22 в мин. – 3 баллов;

в) везикулярное дыхание, ЧДД более 22 в мин. – 7 баллов;

г) жесткое дыхание, сухие хрипы, ЧДД более 22 в мин. – 10 баллов.

Линейная аппроксимация функций принадлежности позволяет получить простые аналитические выражения для их расчета:

$$\mu_{\omega_1}(x_1) = 0,025x_1 + 0,05; \quad (2)$$

$$\mu_{\omega_1}(x_2) = 0,06x_2; \quad (3)$$

$$\mu_{\omega_1}(x_3) = 0,035x_3; \quad (4)$$

$$\mu_{\omega_1}(x_4) = 0,025x_4; \quad (5)$$

$$\mu_{\omega_1}(x_5) = 0,044x_5 + 0,012; \quad (6)$$

$$\mu_{\omega_1}(x_6) = 0,04x_6. \quad (7)$$

Для классификации прогноза развития гангрены нижних конечностей вводятся четыре нечеткие переменные:

GN – низкая уверенность в развитии гангрены;

GS – средняя уверенность в развитии гангрены;

GV – высокая уверенность в развитии гангрены;

GO – очень высокая уверенность гангрены.

Каждая из этих переменных определяется соответствующими функциями принадлежности: $\mu_N(\text{UO}); \mu_S(\text{UO}); \mu_V(\text{UO}); \mu_0(\text{UO})$.

Графики функций принадлежности лингвистической переменной UO приведены на рис. 2.

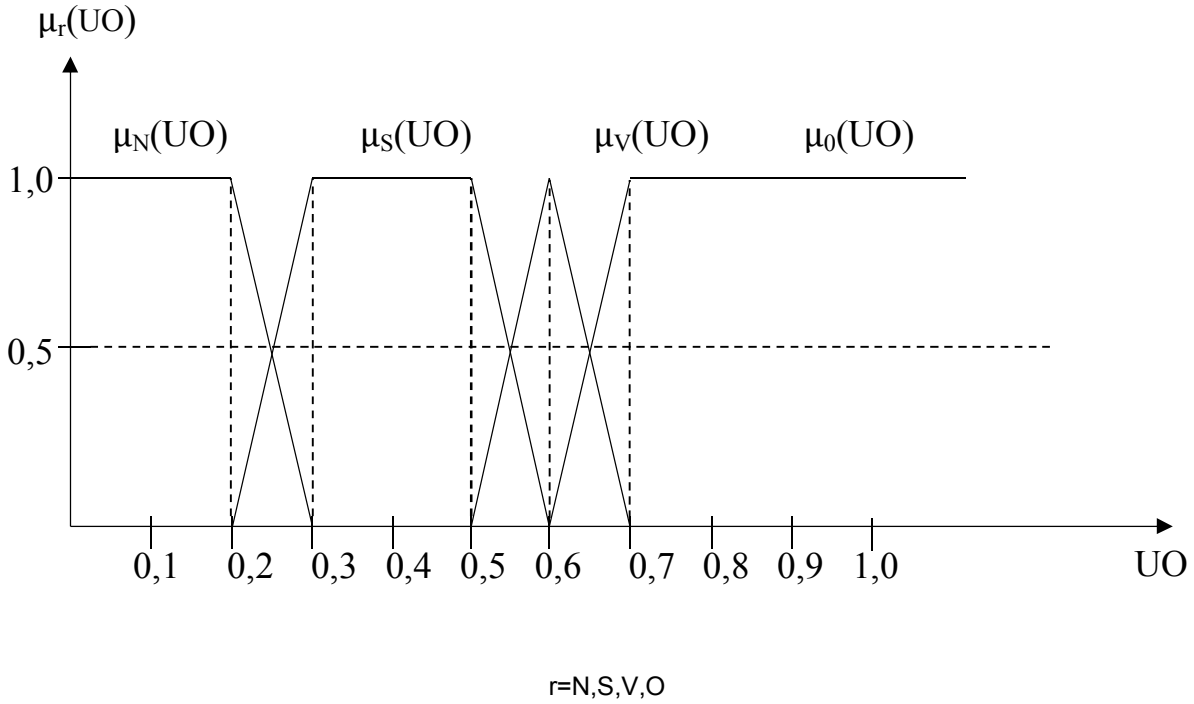


Рис. 2. Графики функций принадлежности лингвистической переменной «степень риска развития гангрены нижних конечностей»

При выборе методов определения лингвистической переменной коэффициент вариабельности (KV) мы исходили из того, что в традиционной медицинской практике при ведении больных, страдающих хронической ишемической болезнью нижних конечностей, традиционно используют следующий список признаков [2, 3]:

– субъективные и объективные данные осмотра;

– липидный профиль;

– ультразвуковая допплерография с определением лодыжечно-плечевого индекса (ЛПИ)*;

– реовазография с определением реоиндексов (РИ);

– система SIRS;

– гемостазиограмма (АЧТВ, Д-димер, фибриноген, тромбоциты, гомоцистеин, ПТИ);

– тредмил-тест;

– лазерная флоуметрия;

– капилляроскопия;

– дуплексное сканирование артерий;

– рентгеноконтрастная ангиография;

– МРТ-ангиография;

– гликемический профиль;

– иммунограмма;

– биохимия крови;

– термометрия;

– критерий КЖ (качество жизни);

– $t_{ср}O^2$.

Проведенный нами анализ с использованием экспертной технологии Делфи и статистического оценивания по Кульбаку и Г. Рашу [10, 18, 19, 20] показал, что наиболее информативными из них являются: лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ); ревазография (РИ); система SIRS (системный ответ организма на воспаление; гемостазиограмма; дуплексное сканирование артерий (ДСА); качество жизни (КЖ).

Кроме того, в ходе специально проводимых исследований было установлено, что непосредственно измеряемые показатели отражают статическое состояние пациентов. В то же время диагностическая ценность этих показателей значительно возрастает при наблюдении за динамикой (вариабельностью) их изменения.

С целью увеличения информативной ценности выбранного набора показателей нами было предложено для каждого из них рассчитывать коэффициент вариабельности по следующей формуле [3]:

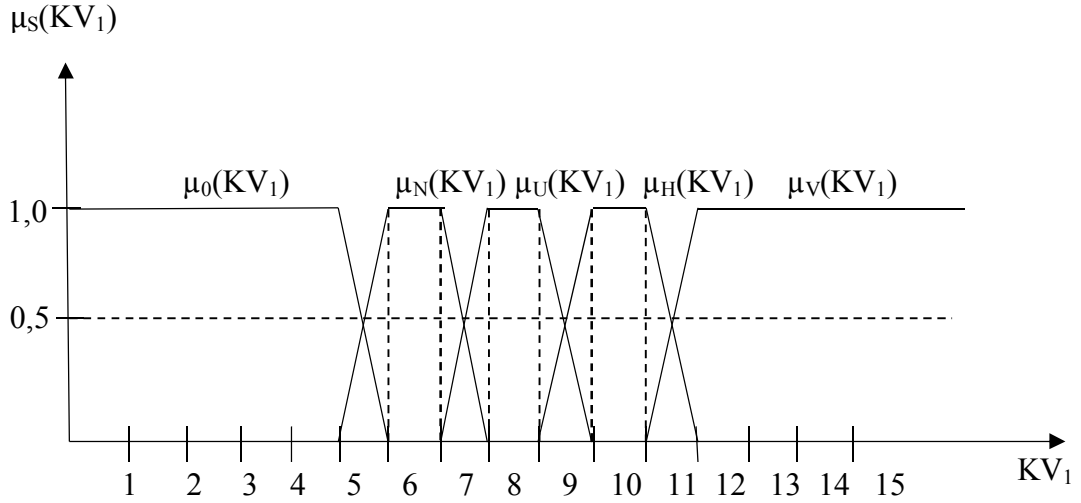
$$\mathrm{KV}_i = \frac{\text{КДР}_i \cdot \alpha_i}{2}, \qquad (8)$$

где КДР_i – коэффициент динамического равновесия *i*-го показателя;

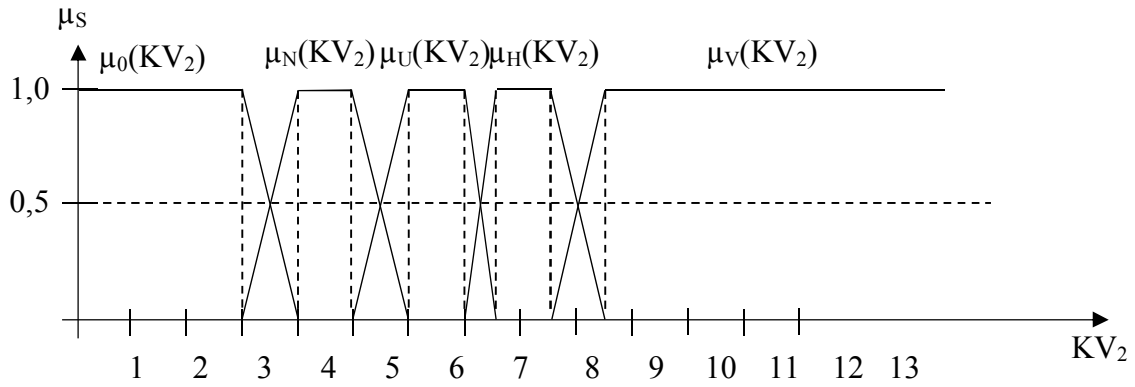
α_i – весовой коэффициент, характеризующий роль *i*-го показателя.

По отношению к кровоснабжению нижних конечностей величина KV_i отражает показатель динамики их кровоснабжения за период наблюдения. С учетом этого лингвистическую переменную KV_i предлагается определить через следующую систему нечетких переменных: VO – динамика (изменение параметров кровообращения нижних конечностей за период наблюдения) практически отсутствует; VN – низкая динамика кровообращения; VU – удовлетворительная динамика; VH – хорошая динамика; VV – высокая динамика.

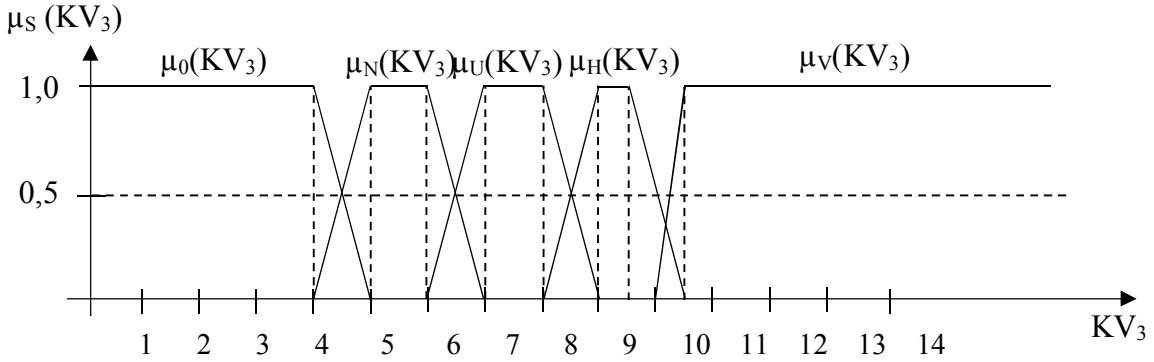
Функции принадлежности к характеристикам динамики кровообращения нижних конечностей для лингвистических переменных KV_i приведены на рис. 3.



а)

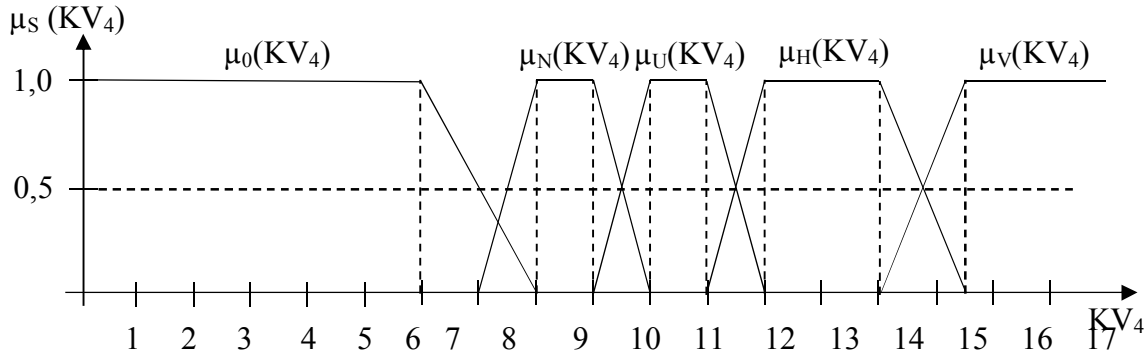


б)

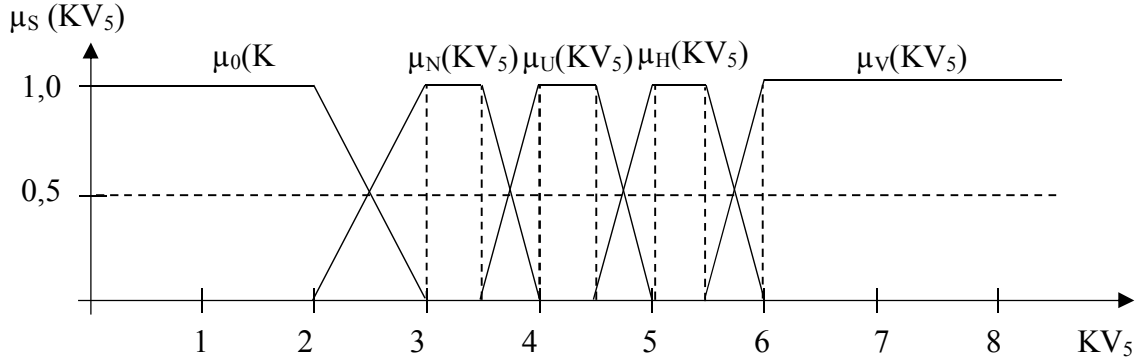


в)

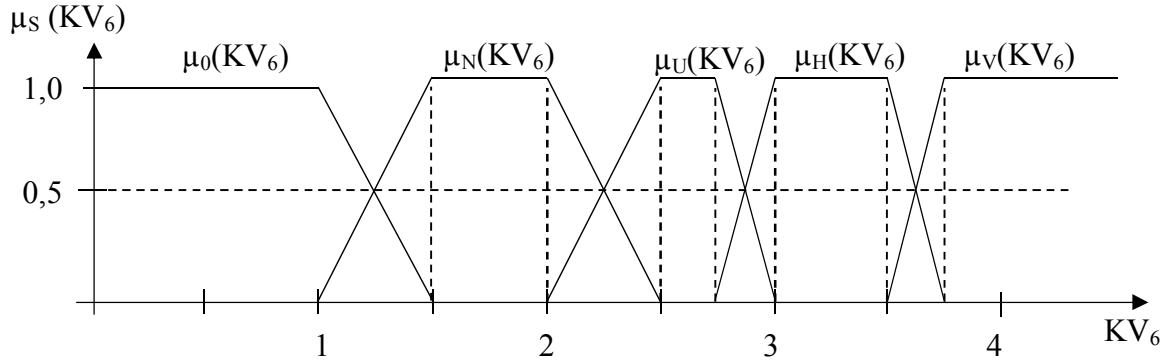
Рис. 3. Функции принадлежности к степени выраженности кровообращения нижних конечностей для лингвистических переменных KV_i: *а* – KV_1; *б* – KV_2; *в* – KV_3; *г* – KV_4; *д* – KV_5; *е* – KV_6; S=0,N,U,H,V (окончание см. на с. 149)



г)



д)



е)

Рис. 3. Окончание (начало см. на с. 148)

Лингвистическая переменная KV_1 рассчитывается по величине ладыжечно-плечевого индекса определяемого по формуле

$$ЛПИ = \frac{CAD_{НК}}{CAD_{ПА}}, \quad (9)$$

где $CAD_{НК}$ – систолическое артериальное давление нижней конечности;

$CAD_{ПА}$ – систолическое артериальное давление плечевой артерии.

Остальные лингвистические переменные KV_i определяются по таким показателям, как: реовазография; SIRS (системный ответ организма на воспаление); гемостазиограмма; дуплексное сканирование артерий; качество жизни соответственно.

Для решения финальной задачи прогноза развития ишемической болезни нижних конечностей необходимо из набора KV_i выбрать наиболее информативную лингвистическую переменную.

Для решения этой задачи для каждой из KV_i определяется функция принадлежности с максимальным значением $\mu_S(KV_i)$:

$$\mu_S^m(KV_i) = \max\{\mu_0(KV_i), \mu_N(KV_V), \mu_U(KV_i), \mu_H(KV_i), \mu_V(KV_i)\}, \quad (10)$$

где S=0,N,U,H,V.

После этого выбирается та лингвистическая переменная $KV_F \in KV_i (i = 1,...6)$, для которой функция принадлежности по шкале базовой переменной ближе или совпадает с $\mu_V(KV_i)$:

$$KV_F \Big|_{\min_i \left|\mu_V(KV_i) - \mu_S(KV_i)\right|} \quad (11)$$

Таким образом, для дальнейших вычислений используется набор функций принадлежности $\mu_S(KV_F)$ с базовой переменной KV_F.

Лингвистическая переменная «обратимость ишемического процесса» OI определяется по одному из двух выражений:

$$\text{OI} = \frac{\text{АД}_\text{К} \cdot \text{РИ}_\text{пол}}{t_\text{вк} \cdot \text{РИ}_\text{исх}}; \quad (12)$$

$$\text{OI} = \frac{(\text{АД}_\text{С} + 20\text{мм рт ст}) \cdot t_0 \cdot \text{РИ}_\text{пол}}{t_\text{вк} \cdot \text{РИ}_\text{исх}},$$

где $\text{АД}_\text{к}$ – давление компрессии (появление болей или онемения в пальцах пораженной конечности при нагнетании давления в манжете, наложенной на широкий мышечный массив голени);

$\text{АД}_\text{с}$ – систолическое АД;

t_0 – время появления болей или онемения в пальцах пораженной конечности;

$t_\text{в.к.}$ – время восстановления капиллярного кровотока в пальцах после посткомпрессионного наблюдения, сек;

$\text{РИ}_\text{пол}$ – реографический индекс (РИ) определяемый в ходе реовазографических исследований (РВИ) после пробы с физической нагрузкой (высота 30 см над горизонталью, движение в стопах до появления болей или онемения в пальцах);

$\text{РИ}_\text{исх}$ – РИ, РВГ – исходные значения.

Для лингвистической переменной OI вводятся нечеткие переменные: I_{NN} – необратимая ишемия; I_{NU} – низкий уровень обратимости ишемии; I_{SU} – средний уровень обратимости ишемии; I_{VU} – высокий уровень обратимости ишемии.

Графики функций принадлежности к уровню обратимости ишемии для лингвистической переменной OI приведены на рис. 4.

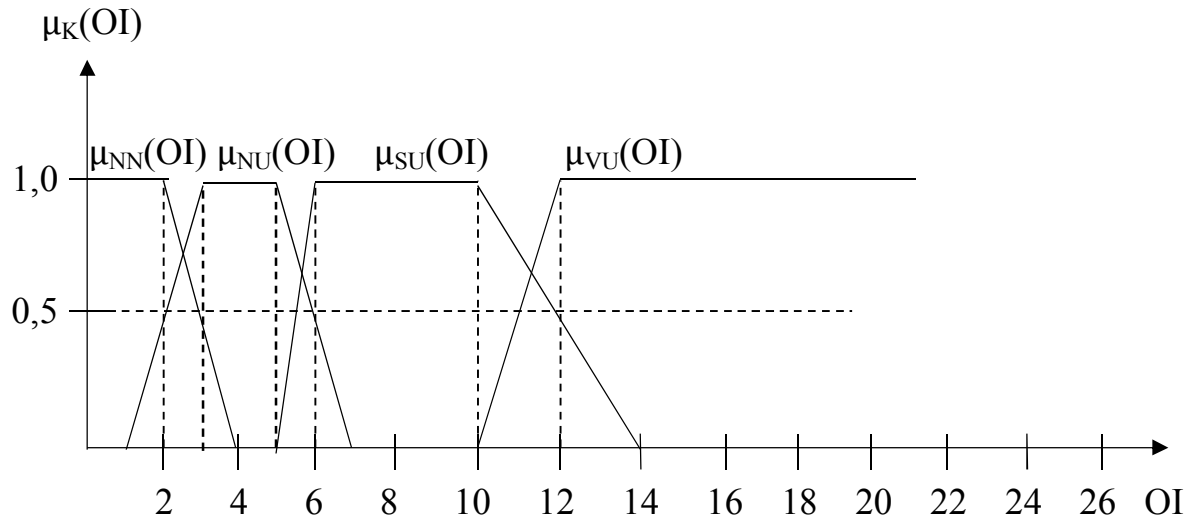


Рис. 4. Графики функций принадлежности по уровню обратимости ишемии нижних конечностей для лингвистической переменной OI

Полученные семейства функций принадлежности $\boldsymbol{\mu}_r$(UO), $\boldsymbol{\mu}_S$(KV_F) и $\boldsymbol{\mu}_K$(OI) для лингвистических переменных (UO – уверенность в развитии гангрены нижних конечностей, KV – коэффициент вариабельности и IO – обратимость ишемического процесса) составляют основу продукционных правил для определения лингвистической переменной IZ – исход заболевания.

Для лингвистической переменной «исход заболевания» определены нечеткие переменные: ISB – субкритическая ишемия; IBL – благоприятный исход критической ишемии нижних конечностей; ISM – сомнительный исход; INB – неблагоприятный исход.

Для переменной IZ выбрана 10-балльная оценочная шкала, для которой графики функций принадлежности к исходу заболеваний приведены на рис. 5.

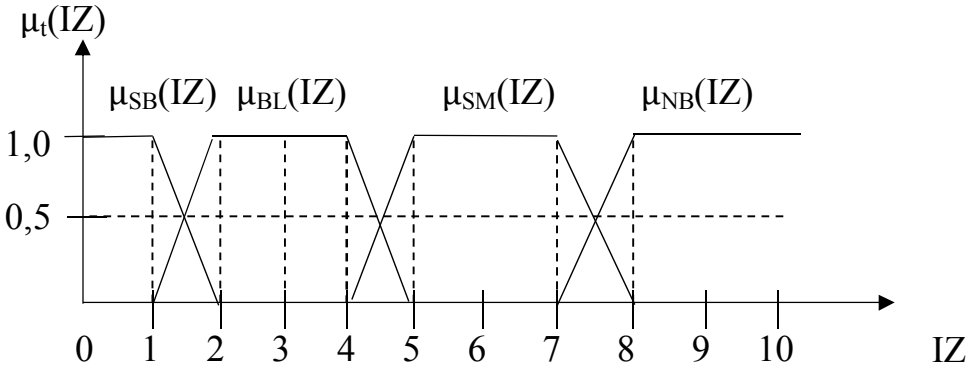


Рис. 5. Графики функции принадлежности по исходу заболевания для лингвистической переменной IZ

Относительно полученных лингвистических переменных с соответствующими функциями принадлежности, пользуясь общими рекомендациями по синтезу нечетких решающих правил [11,12], нами была получена система нечетких решающих правил типа:

$$\begin{cases} \textit{ЕСЛИ}\ (UO)\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{GN})\ \text{И}\ (\text{KV}_\text{F})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{VH})\ \text{И}\ (\text{OI})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{I}_\text{VU})\ \text{ТО}\ (\text{IZ})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{ISB}) \\ \textit{ЕСЛИ}\ (UO)\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{GS})\ \text{И}\ (\text{KV}_\text{F})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{VH})\ \text{И}\ (\text{OI})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{I}_\text{VU})\ \text{ТО}\ (\text{IZ})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{ISB}) \\ \textit{ЕСЛИ}\ (UO)\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{GS})\ \text{И}\ (\text{KV}_\text{F})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{VV})\ \text{И}\ (\text{OI})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{I}_\text{SU})\ \text{ТО}\ (\text{IZ})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{IBL}) \\ \textit{ЕСЛИ}\ (UO)\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{GS})\ \text{И}\ (\text{KV}_\text{F})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{VU})\ \text{И}\ (\text{OI})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{I}_\text{NU})\ \text{ТО}\ (\text{IZ})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{ISM}) \\ \textit{ЕСЛИ}\ (UO)\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{GV})\ \text{И}\ (\text{KV}_\text{F})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{VU})\ \text{И}\ (\text{OI})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{I}_\text{NU})\ \text{ТО}\ (\text{IZ})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{ISM}) \\ \textit{ЕСЛИ}\ (UO)\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{GO})\ \text{И}\ (\text{KV}_\text{F})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{VN})\ \text{И}\ (\text{OI})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{I}_\text{NN})\ \text{ТО}\ (\text{IZ})\ \text{ЕСТЬ}\ (\text{INB}) \end{cases} \quad (13)$$

Нечеткая оценка исхода заболеваний с расчетом значений функций принадлежности и четкое определение IZ производится по системе значения уравнений (13) в соответствии с алгоритмом Мамдани-Заде, состоящим из следующих основных этапов [11,12].

1. Для вычисленных значений UO, KV_F и OI по каждому из правил q(q=1,…6) определяются величины соответствующих функций принадлежности $\mu_q(UO)$, $\mu_q(KV_F), \mu_q(OI)$.

2. Для каждого из правил определяется функция принадлежности предпосылок Q:

$$\mu_q(Q) = \min\left\{\mu_q(UO), \mu_q(KV_F), \mu_q(OI)\ \right\}.$$

3. Определяются результирующие функции всех правил

$$\mu_q(R) = \mu_q(Q) \cdot \mu_q(IZ).$$

4. Определяется результирующая функция по всем правилам

$$\mu\ (RP) = \max\{\mu_1(R), \mu_2(R), \mu_3(R), \mu_4(R), \mu_5(R), \mu_6(R)\}. \quad (14)$$

5. При необходимости вычисляется величина IZ как средний максимум:

$$IZ = \frac{\sum_{i=1}^{m} Z_i}{m}, \quad (15)$$

где Z_i – координаты точек, в которых $\mu\ (RP)$ принимает максимальные значения;

m – число максимумов.

По величинам $\mu\ (RP)$ и IZ осуществляется прогноз развития ишемической болезни конечностей на различных этапах ведения пациентов, что позволяет выбирать рациональные схемы лечения.

Результаты клинических испытаний

Эффективность работы полученных решающих правил проверялась на репрезентативных контрольных выборках людей, находящихся в различных классах исследуемых состояний (субкритическая ишемия (ISB); благоприятный исход критической ишемии нижних конечностей (IBL); сомнительный исход (ISM); неблагоприятный исход (INB)), в которых в качестве информативных признаков использовались показатели, характеризующие состояние нижних конечностей при КИНК в динамике. В ходе контрольных проверок определялись: n_1 – число человек исследуемого класса ω_ℓ (ℓ=ISB,IBL,ISM,INB), правильно классифицированных решающим правилом; n_2 – число людей альтернативного класса $\overline{\omega_\ell}$, правильно классифицируемых решающим правилом; n_{01} – число людей, отобранных для проверки классификационных возможностей решающих правил для класса ω_ℓ; n_{02} – для альтернативного класса. В наших исследованиях n_{01}= n_{02}= n_0=100.

По значениям n_1, n_2 и n_0 определялись такие показатели качества, как диагностическая чувствительность (ДЧ); диагностическая специфичность (ДС) и диагностическая эффективность (ДЭ).

Результаты расчетов приведены в таблице.

Результаты оценки качества решающего правила

ПК / класс	ДЧ	ДС	ДЭ
ISB	0,9	0,92	0,91
IBL	0,87	0,9	0,87
ISM	0,95	0,9	0,92
INB	0,92	0,95	0,93

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достаточно высоком качестве работы полученных решающих правил.

Выводы

1. Правильная комплексная клинико-диагностическая оценка позволяет повысить КИНК состояния нижней конечности в динамике.

2. Правильно построенная модель прогноза осложнений при КИНК поможет сохранить конечность и избежать необдуманных финансовых затрат на лечение.

3. Модель прогноза исхода при КИНК может меняться в зависимости от результатов лечения и определять состояние конечности в текущий момент времени, что позволит проводить своевременную коррекцию лечения.

Список литературы

1. Быков А.В., Устинов А.Г., Хрипина И.И. Модель прогнозирования возникновения осложнений ишемии нижних конечностей путем оценки функционального резерва организма // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – №4(17). – С.81-88.

2. Быков А.В., Устинов А.Г. Комплексная оценка динамики развития ишемической болезни нижних конечностей на основе нечеткой модели Е. Шортлифа // Современные тенденции развития науки и технологии: сборник научных трудов по материалам VIII международной научно-практической конференции». – Белгород.: ИП Ткачева Е.М., 2015. – Ч. 3. – С.132-135.

3. Быков А.В. Метод оценки вариабельности показателей характеризующих кровоснабжение ступни у больных с ишемической болезнью нижних конечностей // Современное научное знание: теория, методология, практика: сборник материалов научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Смоленск: ООО «НОВАЛЕСНО», 2016. – Ч. 1. – С.26-28.

4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 312с.

5. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – №1. – С. 33-35.

6. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №2. – С.99-103.

7. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2008. – №2. – С. 18-24.

8. Кореневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2013. – Т. 12, № 4. – С. 905-909.

9. Пути улучшения результатов реваскуляризирующих операций у пациентов с критической ишемией нижних конечностей / Р.Л. Манвелян, А.П. Арамян, А.С. Бадалян, А.В. Есаян, А.Х. Карапетян, В.К. Мхитарян, А.Д. Мартиросян // Вестник хирургии Армении. – 2012. – №3.

10. Маслак А.А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах: монография. – Славянск-на-Кубани: Изд.Центр СГПИ, 2006. – 333с.

11. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. Л.Д. Рудинского. – М. Финансы и статистика, 2002. – 344с.

12. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 143с.

13. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering Journal. – 2014. – Vol.42, N 2. – P.67-72.

14. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49. – Issue 1. – P. 46-49.

15. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I.

Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. – Vol.43, N4. – P. 187-190.

16. Kulback S. Information Theory and Statistics. New York: Wiley, 1959. Li HX conventional fuzzy control and its enhancement / HXLi, HB Gatland // IEEE Transactions on Sustems, Man and cyberretics. – 1966. – Vol. 26, №5. – P.791-797

17. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980. – 199 p.

18. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Meas-urement. Theory, Models and Applications. – Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. – 689 p.

References

1. Bykov A.V., Ustinov A.G., KHripina I.I. Model' prognozirovaniya vozniknoveniya oslozhnenij ishemii nizhnikh konechnostej putem otsenki funktsional'nogo rezerva organizma [Tekst]/ Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie. – 2015. – №4(17). – P.81-88.

2. Bykov A.V., Ustinov A.G. Kompleksnaya otsenka dinamiki razvitiya ishemicheskoj bolezni nizhnikh konechnostej na osnove nechetkoj modeli E.SHortlifa / Sbornik nauchnykh trudov po materialam VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii», chast' III. – Belgorod.: IP Tkacheva E.M., 2015. – P.132-135.

3. Bykov A.V. Metod otsenki variabel'nosti pokazatelej kharakterizuyushhikh krovosnabzhenie stupni u bol'nykh s ishemicheskoj bolezn'yu nizhnikh konechnostej / sbornik materialov nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Sovremennoe nauchnoe znanie: teoriya, metodologiya, praktika» chast' 1. – Smolensk OOO «NOVALESNO», 2016. – P.26-28.

4. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoj peremennoj i ee primenenie k prinyatiyu priblizhennykh reshenij. – M.: Mir, 1976. – 312 s.

5. Korenevskij, N.A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki prinyatiya reshenij dlya meditsinskikh ehkspertnykh sistem // Meditsinskaya tekhnika. – 2015. – №1. – S. 33-35.

6. Korenevskij N.A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem // Proceeding of the Southwest State University. Ser. Management, Computer facilities, computer science. Medical instrument making. – 2013. – №2. – P.99-103.

7. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Sintez nechetkikh setevykh modelej, obuchaemykh po strukture dannykh dlya meditsinskikh ehkspertnykh sistem // Meditsinskaya tekhnika. – 2008. – №2. – P. 18-24.

8. Korenevskij N.A., Rutskoj R.V., Dolzhenkov S.D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkikh reshayushhikh pravil // Sistemnyj analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. – 2013. – T. 12, № 4. – P. 905-909.

9. Puti uluchsheniya rezul'tatov revaskulyariziruyushhikh operatsij u patsientov s kriticheskoj ishemiej nizhnikh konechnostej / R.L. Manvelyan, A.P. Aramyan, A.S. Badalyan, A.V. Esayan, A.KH Karapetyan, V.K. Mkhitaryan, A.D. Martirosyan // Vestnik KHirurgii Armenii. – 2012. – №3.

10. Maslak A.A. Izmerenie latentnykh peremennykh v sotsial'no-ehkonomicheskikh sistemakh: Monografiya. – Slavyansk-na-Kubani: Izd.TSentr SGPI, 2006.-333s.

11. Osovskij S. Nejronnye seti dlya obrabotki informatsii / Per. s pol'skogo Rudinskogo L.D. – M.: Finansy i statistika, 2002. – 344 p.

12. Uskov A.A., Kuz'min A.V. Intellektual'nye tekhnologii upravleniya. Iskusstvennye nejronnye seti i nechetkaya

logika. – M.: goryachaya liniya - telekom, 2004. – 143 p.

13. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering Journal. – 2014. – Vol.42,
N 2. – P.67-72.

14. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49. – Issue 1. – P. 46-49.

15. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. – Vol.43, N 4. – P. 187-190.

16. Kulback S. Information Theory and Statistics. New York: Wiley, 1959. Li HX conventional fuzzy control and its enhancement / HXLi, HB Gatland // IEEE Transactions on Sustems, Man and cyberretics, Par tb. – 1966. – Vol. 26, №5. – P. 791-797.

17. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980. – 199 p.

18. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Meas-urement. Theory, Models and Applications. – Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. – 689 p.

Получено 15.04.16

A.V. Bikov, Candidate of Medical Sciences, Cardiovascular Surgery, Advisory Clinic (Kursk)
(e-mail: bikov-av@yandex.ru)

N.A. Korenevskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

A.G. Ustinov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Russian National Research University named after N. I. Pirogov, Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation (Moscow)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

FUZZY FORECAST FOR THE DEVELOPMENT OF CORONARY DISEASE COURSE, FOR DIFFERENT STAGES OF PATIENT MANAGEMENT

The work is devoted to the problem of improving the medical care quality to patients with coronary artery diseases of the lower extremities. This is possible through the development of a fuzzy algorithm development forecast of the investigated class of diseases.

For the decision of problems of informative features space formation was organized surveillance over 300 patients with atherosclerosis, thromboangiitis, Raynaud's disease and diabetic angiopathy of lower extremities, complicated with critical lower limb ischemia for 5 years.

Assessment of patients with ischemic disease of the lower extremities is made according to four classes: subcritical ischemia; favorable outcome; doubtful outcome; a poor outcome.

The outcome of these classes is caused by their connection with the functional state of the lower limbs determined by the degree of compensation corresponding tissue hypoxia.

From a mathematical viewport the selected of outcomes disease classes are determined on a qualitative level. It does not have clear boundaries, which creates prerequisites for the use of such mathematical apparatus of fuzzy logic decision-making with the introduction of linguistic variables relevant to the studied classes of outcomes of the disease.

In the analysis of the health status of patients as informative features it was selected: criteria of quality of life (QOL); instrumental examinations; laboratory parameters; the temperature of the body; the cardiovascular system; the respiratory system.

For a selected composition characteristics and classes of patient synthesized the algorithm of Mamdani-Zadeh solves the problem of forecasting the outcome of disease.

Diagnostic efficacy of the algorithm on a representative control samples showed higher than the level of 0.88..

Key words: *soft computing technology, algorithm Mamdani-Zadeh, predicting complications, critical ischemia of the lower limbs.*

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в «Известиях ЮЗГУ» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

– статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

– рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;

– разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);

– сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

– электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается краткая аннотация курсивом, отражающая краткое содержание статьи.

Например:

> УДК 004.9:519.8
>
> **А.Л. Иванов**, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ivanov@gmail.com)
>
> **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**
>
> В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность.
>
> **Ключевые слова:** агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: **http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php.**