

Главный редактор научного журнала
«Известия Волгоградского государственного технического университета»
академик РАН, профессор, доктор химических наук,
президент Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ)
И. А. НОВАКОВ

Редакционная коллегия:

Анциферов В. Н., академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Научный центр порошкового материаловедения (г. Пермь, Россия)
Байбурин В. Б., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАЕН, засл. деятель науки РФ,
Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Безъязычный В. Ф., д-р техн. наук, проф.,
Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева (г. Рыбинск, Россия)
Бодров В. Н., д-р, проф., Университет прикладных наук (г. Берлин, Германия)
Бребельс А., PhD, доцент факультета инженерных наук университета г. Левена (г. Левен, Бельгия)
Буренин А. А., чл.-корр. РАН, Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН
(г. Комсомольск-на-Амуре, Россия)
Голованчиков А. Б., д-р. техн. наук, проф. ВолгГТУ
Гринберг Б. А., д-р физ.-мат. наук, Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)
Гуревич Л. М., д-р техн. наук, доцент ВолгГТУ
Добрушин Л. Д., д-р техн. наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев, Украина)
Злотин С. Г., д-р хим. наук, проф., Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН (г. Москва, Россия)
Иванов А. М., д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ, г. Москва, Россия)
Иващенко Н. А., д-р техн. наук, профессор, засл. деятель науки РФ, МВТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Камаев В. А., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, ВолгГТУ
Королев А. В., д-р техн. наук, проф., Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Кузьмин С. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Кураев А. А., д-р физ.-мат. наук, проф., Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники (БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь)
Лысак В. И., чл.-корр. РАН, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Марков В. А., д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет МГТУ им. Н. Э. Бау-
мана (МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия)
Мертен Клеменс, д-р техн. наук, проф. Universität Stuttgart Institut für Chemische Verfahrenstechnik
(г. Штутгарт, Германия)
Навроцкий А. В., д-р хим. наук, проф. ВолгГТУ
Нижегородцев Р. М., д-р экон. наук, главный научный сотрудник,
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (г. Москва, Россия)
Пай В. В., д-р физ.-мат. наук, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН
(г. Новосибирск, Россия)
Полянчиков Ю. Н., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Пустовойт В. Н., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, Донской государственный технический университет
(г. Ростов-на-Дону, Россия)
Ревин А. А., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Русинов В. Л., чл.-корр. РАН, Химико-технологический институт Уральского федерального университета (ХТИ
УрФУ, г. Екатеринбург, Россия)
Рыбин В. В., чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский политехнический университет
(г. Санкт-Петербург, Россия)
Трюэль Жан-Луи, д-р экон. наук, проф., Университет «Париж-12», Сорбонна, Франция,
вице-президент Международного клуба экономистов «Круг Кондратьева»
Тхай Куанг Винь, д-р философии, Институт информационных технологий (г. Ханой, Вьетнам)
Федянов Е. А., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Фролов В. А., д-р техн. наук, проф., «МАТИ – Российский государственный технологический университет
им. К. Э. Циолковского (г. Москва, Россия)
Шаритов В. М., д-р техн. наук, проф.,
Московский государственный технический университет (МАМИ, г. Москва, Россия)
Шаховская Л. С., д-р экон. наук, проф. ВолгГТУ
Шеин А. Г., д-р физ.-мат. наук, проф. ВолгГТУ
Яковлев И. В., д-р техн. наук,
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)

Серия
«АКТУАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНФОРМАТИКИ
В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

ИЗВЕСТИЯ



ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Камаев В. А., д.т.н., проф.

Аверченков В. И., д.т.н., проф.
(БрГТУ, г. Брянск, Россия)

Беришадский А. М., д.т.н., проф.
(ПензГУ, г. Пенза, Россия)

Брискин Е. С., д.ф.-м.н., проф.

Горобцов А. С., д.т.н., проф.

Дворянкин А. М., д.т.н., проф.

Заболеева-Зотова А. В., д.т.н.,
проф.

Кандырин Ю. В., к.т.н., проф.
(НИУ «МАИ», Москва)

Кравец А. Г., д.т.н., проф.

Курейчик В. М., д.т.н., проф.
(ТаГРТУ, г. Таганрог, Россия)

Петрова И. Ю., д.т.н., проф.
(АИСИ, г. Астрахань, Россия)

Проталинский О. М., д.т.н., проф.
(АстрГТУ, г. Астрахань, Россия)

Тхай Куанг Винь, д-р философии
(Институт информационных
технологий, г. Ханой, Вьетнам)

Фоменков С. А., д.т.н., проф.

Шилин А. Н., д.т.н., проф.

Юрген Баст, д.т.н., проф.
(Технический университет Горной
Академии, г. Фрайберг, Германия)

Международный индекс журнала
ISSN 1990-5297

Журнал распространяется
по подписке.

Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
80811(ОК+ЭК). По вопросам
подписки обращаться
в издательство.

Тел. издательства ВолГТУ:
(8442) 24-84-06
Факс (8442) 24-84-06
otr@vstu.ru

Научный журнал
Издается с января 2004 г.
Выходит двенадцать раз в год

№ 2 (157)
Май
2015

УЧРЕДИТЕЛЬ:

**ФГБОУ высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»**

Адрес редакции:

Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.

Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00

E-mail: president@vstu.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

**Авторское право на журнал в целом принадлежит Учредителю,
на отдельные статьи – сохраняется за автором**

*Перепечатка из журнала «Известия Волгоградского государственного технического
университета» категорически запрещена без оформления договора
в соответствии с действующим законодательством РФ*

*При перепечатке материалов ссылка на журнал «Известия Волгоградского
государственного технического университета» обязательна*

Head Editor of the scientific journal "Izvestiya VSTU":

Novakov I. A. – Academician of RAS, Prof., Doctor of Chemistry, President of VSTU

Editorial board:

Anziferov V. N., Academician of RAS, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., The Department for Powder Material Science (Perm, Russia)

Baiburin V. B., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Academician of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

Bezyazychny V. F., D. Sc. (Engineering), Prof., Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov (Rybinsk, Russia)

Bodrov V. N., D. Sc., Prof., University of Applied Sciences (Berlin, Germany)

Brebels A., PhD, Associate Prof., Faculty of Engineering Science of University of Leuven (Leuven, Belgium)

Burenin A. A., Corresponding Member of RAS, Institute of Machinery and Metallurgy of the FEB RAS (Komsomolsk-on-Amur, Russia)

Golovanchikov A. B., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Grinberg B. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Institute of Metal Physics, Ural Division of RAS (Ekaterinburg, Russia)

Gurevich L. M., D. Sc. (Engineering), Associate Prof. of VSTU

Dobrushin L. D., D. Sc. (Engineering), E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev, Ukraine)

Zlotin S. G., D. Sc. (Chemistry), Prof., N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Ivanov A. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow Automobile and Road Construction University (MADI) (Moscow, Russia)

Ivashchenko N. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

Kamaev V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, VSTU

Korolev A. V., D. Sc., Prof., State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

Kuzmin S.V., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Kurayev A. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR) (Minsk, Republic of Belarus)

Lysak V. I., Corresponding Member of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Markov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

Merten K., D. Sc. (Engineering), Prof., Institute of Chemical Process Engineering (Stuttgart, Germany)

Navrotsky A. V., D. Sc. (Chemistry), Prof. of VSTU

Nizhegorodtsev R. M., D. Sc. (Economy), Chief research worker, Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Pai V. V., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Polyanchikov Y. N., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Pustovoit V. N., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Revin A. A., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Rusinov V. L., Corresponding Member of RAS, Institute of Chemical Technology of Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

Rybin V. V., Corresponding Member of RAS, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., St. Petersburg Polytechnic University (St.Petersburg, Russia)

Thai Quang Vinh, D. Sc. (Philosophy), Institute of Information Technology (Hanoi, Vietnam)

Truel J.-L., D. Sc. (Economy), Prof., University Paris Est Créteil, Sorbonne, France, Vice-president of International economists club "Kondratiev Circle"

Fedyanov E. A., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Frolov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., "MATI Russian State Technological University named after K.E. Tsiolkovsky" (Moscow, Russia)

Sharipov V. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow State Technical University "MAMI" (Moscow, Russia)

Shakhovskaya L. S., D. Sc. (Economy), Prof. of VSTU

Sheyin A. G., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof. of VSTU

Yakovlev I. V., D. Sc. (Economy), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS (Novosibirsk, Russia)

SERIES "ACTUAL
PROBLEMS
OF MANAGEMENT,
COMPUTING HARDWARE
AND INFORMATICS
IN ENGINEERING
SYSTEMS"

IZVESTIA



VOLGOGRAD STATE TECHNICAL
UNIVERSITY

The Journal is included to the list of peer-reviewed scientific journals and publications of the Higher Attestation Commission (HAC) of the RF for publishing of results of candidates for scientific degrees

Editorial board:

Chairman

Kamaev V. A., D. Sc.
(Engineering), Prof.

Averchenkov V. I., D. Sc.
(Engineering), Prof. (BSTU, Bryansk,
Russia)

Berdshadskiy A. M., D. Sc.
(Engineering), Prof. (PSU, Penza,
Russia)

Briskin E. S., D. Sc. (Physical
and Mathematical Sciences), Prof.
Gorobtsov A. S., D. Sc. (Engineering),
Prof.

Dvoryankin A. M., D. Sc.
(Engineering), Prof.

Zaboleeva-Zotova A. V., D. Sc.
(Engineering), Prof.

Kandyrin Y. V., Cand. Sc., Prof.

(NRU "MAI", Moscow, Russia)
Kravets A. G., D. Sc. (Engineering)

Kureytchik V. M., D. Sc.
(Engineering), Prof. (TRTU,
Taganrog, Russia)

Petrova I. Y., D. Sc. (Engineering),
Prof. (AICE, Astrakhan, Russia)

Protalinskiy O. M., D. Sc.
(Engineering), Prof. (ASTU,
Astrakhan, Russia)

Thai Quang Vinh, D. Sc. (Philosophy),
Institute of Information Technology
(Hanoi, Vietnam)

Fomenkov S. A., D. Sc. (Engineering),
Prof.

Shilin A. N., D. Sc. (Engineering), Prof.

Jurgen Bast D. Sc. (Engineering),
Prof. (TU Bergakademie Freiberg,
The University of Resources,
Freiberg, Germany)

International index of the journal
ISSN 1990-5297

The journal is distributed by subscrip-
tion.

Index of the journal in the catalogue of
the Agency "Rospechat" for the Rus-
sian Federation – 80811(OK+ЭК).
Concerning subscription turn to the
editorial office.

Tel. Of VSTU editorial office:

(+7 8442) 24-84-06

Fax: (+7 8442) 24-84-06

otr@vstu.ru

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

№ 2 (157)
May
2015

FOUNDER:

FSBEI of Higher Professional Education
"Volgograd State Technical University"

Editorial office address:

Volgograd, Lenin avenue, 28.

Tel.: Head Editor – (+7 8442) 24-80-00

E-mail: president@vstu.ru

The journal is registered at the Federal Service on Control in the Sphere of Communication,
IT and Mass Communications (Roscomnadzor)
Registration certificate ПИ № ФС77–61113 of March 19, 2015

Is printed according to the decision of editorial-review board of
Volgograd State Technical University

*The copyright for the journal in general belongs to the Founder,
for separate articles – to authors.*

*Reprint from the journal "Izvestia VSTU" is strongly forbidden without conclusion of an
agreement in accordance with the legislation of the RF
When reprinting the materials, the citation to the journal "Izvestia VSTU" is obligatory*

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агафонов В. Ю. 45
Александрин Д. Р. 15
Алексеев А. В. 49
Алимов А. А. 107
Алыкова О. А. 33
Андреев А. Е. 5
Брумштейн Ю. М. 114
Вершинина И. П. 172, 175
Воронин Ю. Ф. 53, 59, 77
Воротнева С. Б. 19
Гнедкова Е. П. 80
Голованчиков А. Б. 9, 15, 19
Горобцов А. С. 5
Гречухина О. Н. 39
Громов Е. Г. 5
Давтян А. Г. 141
Джакияев А. Р. 24
Долбин А. В. 71
Дулькин А. Б. 19
Дулькин Б. А. 19
Дулькина Н. А. 9
Егунов В. А. 24
Еркин Д. А. 141
Жога В. В. 180
Закурдаева Т. А. 30
Исаев Е. А. 122
Калинин Я. В. 184
Камаев В. А. 168
Кандырин Ю. В. 151
Кипаева Е. В. 71
Коберник А. А. 9
Кобышев А. А. 28
Кобышев В. А. 28
Колесников С. Г. 101
Колесов А. М. 172
Кононов М. Е. 151
Копасов А. Н. 101
Коробкин Д. М. 101, 159, 163
Кравец А. Г. 159
Кузнецов М. А. 122
Лепилкина Е. К. 96
Литвинов С. П. 90
Лобачева О. В. 53, 59
Лобейко В. И. 90, 93
Мазин А. А. 163
Малолетов А. В. 172, 184
Малькова Е. С. 65
Мармура А. С. 159
Матохина А. В. 53, 59, 77
Меренцов Н. А. 9
Мохов А. Д. 5
Орлова Ю. А. 49, 71, 83
Парыгин Д. С. 128
Петрова Т. М. 132
Петрухин А. В. 138
Покровский Д. Н. 184
Половинкин А. И. 151, 163
Поляков С. В. 93
Рогудеев А. Б. 77
Розалиев В. Л. 49, 71, 83
Садовникова Н. П. 80
Скакунов В. Н. 180
Смирнов В. В. 33
Смыковская Т. К. 132
Солошенко А. Н. 83
Старусев А. В. 90, 93
Степанович Е. Ю. 39
Сычев О. А. 96
Терехов С. Е. 180
Тюлькина Е. А. 168
Ураксеев М. А. 30
Фоменков С. А. 101, 159, 163
Фоменкова М. А. 159
Чан В. Ф. 107
Шабалина О. А. 65, 107, 141
Шаронов Н. Г. 175
Шибитов Н. С. 15
Шибитова Н. В. 15
Ширманова Д. А. 80
Шурыгин В. А. 175
Элькин П. М. 33, 39
Юрков Н. К. 114
Яновский Т. А. 168

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

<i>Андреев А. Е., Горобцов А. С., Громов Е. Г., Мохов А. Д.</i> Модуль построения ортогональных гексаэдральных сеточных моделей большой размерности.....	5
<i>Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Коберник А. А., Дулькина Н. А.</i> Методика определения коэффициента внутренней диффузии молекул извлекаемого компонента в адсорбенте.....	9
<i>Голованчиков А. Б., Шибитов Н. С., Шибитова Н. В., Александрин Д. Р.</i> Моделирование ионообменной колонны для очистки раствора гидроксида натрия от анионов хлора.....	15
<i>Дулькин Б. А., Голованчиков А. Б., Воротнева С. Б., Дулькин А. Б.</i> Анализ тепловых процессов в бассейнах отбора остаточных тепловыделений из отработанных ТВЭЛов атомных реакторов.....	19
<i>Егунов В. А., Джакияев А. Р.</i> Моделирование системы управления на базе микроконтроллера.....	24
<i>Кобышев В. А., Кобышев А. А.</i> Подход к поиску решения линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами в задачах моделирования.....	28
<i>Ураксеев М. А., Закурдаева Т. А.</i> Подходы к построению математических моделей с использованием матриц Мюллера и Джонса.....	30
<i>Элькин П. М., Смирнов В. В., Алыкова О. А.</i> Сравнительный анализ модельных расчетов частот фундаментальных колебаний гидроксильного фрагмента в флавоноидах.....	33
<i>Элькин П. М., Степанович Е. Ю., Гречухина О. Н.</i> Структурно-динамические модели α - и β -замещенных бензо-гамма-пирона.....	39

Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Агафонов В. Ю.</i> Методы многокадровой обработки для повышения качества цифровых изображений.....	45
<i>Алексеев А. В., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л.</i> Автоматический поиск лиц и выделение контуров рта, глаз на портретных изображениях.....	49
<i>Воронин Ю. Ф., Лобачева О. В., Матохина А. В.</i> Системный подход к процессу возникновения и ликвидации горячих трещин.....	53
<i>Лобачева О. В., Матохина А. В., Воронин Ю. Ф.</i> Система выявления и ликвидации газовых и усадочных дефектов в литых заготовках запорной арматуры.....	59
<i>Малькова Е. С., Шабалина О. А.</i> Методы распознавания речи в задаче автоматизированного выявления дефектов произношения.....	65
<i>Орлова Ю. А., Долбин А. В., Кипаева Е. В., Розалиев В. Л.</i> Автоматизация составления портретных изображений по естественно-языковому описанию.....	71
<i>Рогудеев А. Б., Матохина А. В., Воронин Ю. Ф.</i> Использование контурного анализа для автоматизированного определения формы дефектов отливок из фотографий их поверхностей.....	77
<i>Садовникова Н. П., Гнедкова Е. П., Ширманова Д. А.</i> Онтологическая модель представления знаний для поддержки процессов принятия решений в области стратегического планирования развития города.....	80

<i>Солошенко А. Н., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л.</i> Автоматическое выделение сюжетов и тем из потока новостных сообщений.....	83
<i>Старусев А. В., Лобейко В. И., Литвинов С. П.</i> Метод планирования испытаний сложных технических систем.....	90
<i>Старусев А. В., Лобейко В. И., Поляков С. В.</i> Метод решения задачи испытания автоматизированных систем управления с использованием статистического моделирования.....	93
<i>Сычев О. А., Лепилкина Е. К.</i> Проблема преобразования недетерминированного конечного автомата регулярного выражения для применения к нему алгоритма пересечения автоматов.....	96
<i>Фоменков С. А., Коробкин Д. М., Колесников С. Г., Копасов А. Н.</i> Автоматизированные методы поиска физических эффектов.....	101
<i>Чан В. Ф., Алимов А. А., Шабалина О. А.</i> Разработка системы управления группой интеллектуальных агентов в динамической среде.....	107
Часть III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
<i>Брумштейн Ю. М., Юрков Н. К., Камаев В. А.</i> Целесообразный состав и информативность наукометрических показателей вузовских журналов: взгляд с позиций их научных редакторов.....	114
<i>Кузнецов М. А., Исаев Е. А.</i> Оценка привлекательности расположения жилого здания в городском массиве.....	122
<i>Парыгин Д. С.</i> Метод оценки стратегий развития города.....	128
<i>Петрова Т. М., Смыковская Т. К.</i> Управление консультированием в дистанционном обучении информатике....	132
<i>Петрухин А. В.</i> Архитектура биржевого робота для работы в среде торгового терминала QUIK.....	138
<i>Шабалина О. А., Давтян А. Г., Еркин Д. А.</i> Модель пространства знаний на основе алгебраической структуры и ее реализация в системе проектирования обучающих курсов.....	141
Часть IV. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	
<i>Кандырин Ю. В., Кононов М. Е., Половинкин А. И.</i> Выбор вариантов аналогов по условным неметрическим критериям в ассоциативных структурах.....	151
<i>Коробкин Д. М., Мармура А. С., Фоменкова М. А., Фоменков С. А., Кравец А. Г.</i> Автоматизированная методика семантического анализа патентного массива.....	159
<i>Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Мазин А. А., Половинкин А. И.</i> Извлечение структурированной физической информации на основе морфологического анализа текста.....	163
<i>Тюлькина Е. А., Камаев В. А., Яновский Т. А.</i> Методика анализа патентных массивов для определения основополагающей идеи синтеза нового технического решения.....	168
Часть V. РОБОТОТЕХНИКА	
<i>Вершинина И. П., Колесов А. М., Малолетов А. В.</i> Определение области допустимых положений движителей, обеспечивающих статическую устойчивость шагающей машины.....	172
<i>Вершинина И. П., Шаронов Н. Г., Шурыгин В. А.</i> Кинематический расчет ортогонально-поворотного механизма шагания.....	175
<i>Жога В. В., Скакунов В. Н., Терехов С. Е.</i> Адаптивная система управления электроприводами шагающего робота.....	180
<i>Покровский Д. Н., Малолетов А. В., Шаронов Н. Г., Калинин Я. В.</i> Определение относительного положения локальных препятствий при удаленном управлении движением шагающей машины.....	184

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 004.94

А. Е. Андреев, А. С. Горобцов, Е. Г. Громов, А. Д. Мохов

МОДУЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ГЕКСАЭДРАЛЬНЫХ СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Волгоградский государственный технический университет

jek_kot@mail.ru

Рассмотрен метод генерации ортогональной сетки на основе CAD-геометрии. Произведена программная реализация алгоритмов разбиения. Произведено тестирование на различных моделях машиностроительных изделий. Приведен пример разбиения модели корпуса ГПР.

Ключевые слова: ортогональная сетка, генератор сеточных моделей, алгоритмы разбиения, динамика систем тел, сеточные модели.

A. E. Andreev, A. S. Gorobtsov, E. G. Gromov, A. D. Mokhov

MODULE FOR GENERATION OF ORTHOGONAL HEXAHEDRAL MESH MODELS OF HIGHER DIMENSIONS

Volgograd State Technical University

A method for orthogonal mesh generation using CAD-geometry is presented. Programmatic implementation of the algorithms of decomposition is made. Testing on different models of engineering products is carried out. An example of decomposition of a model of hydropneumatic spring body is shown.

Keywords: orthogonal mesh, generator of grid models, decomposition algorithms, multibody dynamics, grid models.

Характерной тенденцией, проявляющейся в настоящее время в машиностроении, является увеличение доли вычислений на ЭВМ при моделировании процессов в изделиях. Могут моделироваться тепловые расчеты, напряженно-деформированные состояния, прочностные и усталостные расчеты, а также совместные расчеты тепловых процессов и динамики многотельной модели [1]. При расчетах используется дискретное представление исходной геометрической модели. Однако для достижения результатов, достаточно точно моделирующих поведение реального изделия, необходима высокая детализация исходной модели, что ведет к значительному повышению требований к вычислительным ресурсам как на этапе дискретизации, так и на этапе проведения расчетов.

Для проведения расчетов сложных континуальных систем актуальным является использование ортогональных сеток [2]. Использование ортогональной сетки дает возможность осуществить эффективное распараллеливание с мини-

мальными затратами, что позволяет использовать многоядерные и многопроцессорные системы для проведения ресурсоемких вычислений. Ортогональные сетки являются достаточно точным дискретным представлением исходной геометрии и характеризуются минимальными требованиями к вычислительным ресурсам по сравнению с другими типами сеток [3].

В настоящее время наблюдается широкое использование неортогональных сеток [4]. Это происходит по следующим причинам. Во-первых, это нетривиальность самой задачи получения ортогональной сетки. Для некоторых областей возможно получение такой сетки, в то время как для других областей тот же алгоритм работать не будет [5]. Во-вторых, это отсутствие высокопроизводительных алгоритмов генерации ортогональных сеток [6]. В-третьих, все большую популярность приобретают адаптивные конечно-элементные сетки. Однако поиск размеров каждого элемента сетки с целью удовлетворения заданных критериев точности

модели является, в свою очередь, нетривиальной задачей и ведет к повышению требований к вычислительным ресурсам.

При анализе литературы можно сделать вывод, что существуют методы построения поверхностей на основе множества точек (алгоритм «Марширующие кубы», алгоритм Канейро, алгоритм Скалы). Причем они достаточно хорошо оптимизированы и ориентированы на использование в многопроцессорных системах [7]. Однако методы, выполняющие обратную задачу (построение пространственной ортогональной сетки на основе набора поверхностей), либо испытывают проблемы с ортогональностью при построении сетки в геометрически сложных областях, либо обладают повышенными требованиями к вычислительным ресурсам. Следовательно, в настоящее время необходимо разработать алгоритм генерации ортогональных сеток, работающий с любыми геометрическими формами, а также обладающий низкими требованиями к машинным ресурсам.

При генерации ортогональных сеточных моделей на основе CAD-геометрии возникает ряд проблем. Во-первых, при работе с геометрией необходимо учитывать все сопряжения, технологические отверстия, полости и неровности поверхности. Во-вторых, при генерации сетки высокого качества необходимо учитывать вычислительную сложность алгоритма. Так, в общем случае, без учета времени, затраченного на оптимизацию сетки, время генерации сетки пропорционально количеству элементов решетки, возведенному в третью степень.

Кроме того, для построения сеточной модели сложно работать с векторным представлением геометрии, используемым в CAD-системах. Так, поверхность геометрии задается в большинстве своем геометрическими примитивами, такими как многоугольник, окружность, многогранник, эллипсоид и т. д. Необходимо предварительное разбиение поверхности на полигоны. Сложные изображения формируют из фрагментов объектов, для чего их разбивают на составные части.

На практике наиболее часто производится разбиение изображений на треугольники. При разработке предлагаемого метода генерации сеточных моделей за основу была выбрана триангуляция Делоне. После проведения процедуры триангуляции поверхность геометрии модели машиностроительного изделия становится дискретной. Это значительно упрощает дальнейшую генерацию сеточной модели.

Процесс создания сеточной модели с применением предлагаемого метода разбивается на несколько шагов:

- триангуляция поверхности детали;
- построение кубической решетки;
- назначение начальных (граничных) условий элементам сетки.

Модель, прошедшая триангуляцию, подается на вход генератора сетки. Каждый треугольник описывается координатами трех его вершин, представленных в трехмерной декартовой системе координат. Полученные треугольники используются при построении сечения.

Выходными данными генератора является сеточная модель, представляющая собой совокупность сеточных примитивов. Каждый примитив содержит в себе информацию о номере первого элемента сетки и количестве элементов. Этим достигается сжатие исходной сетки. Координаты каждого узла могут быть восстановлены из номера элемента. Эффект от сжатия становится особенно заметным на больших сетках.

Построение сечения происходит в результате поиска всех треугольников, пересекаемых данной секущей плоскостью. Далее ищутся все линии пересечения треугольников и секущих плоскостей. На последующем этапе линии пересечения объединяются в сечение.

При поиске треугольников, пересекаемых секущей плоскостью, необходимо, чтобы одна из трех точек треугольника в зависимости от его ориентации лежала либо выше, либо ниже данной секущей плоскости.

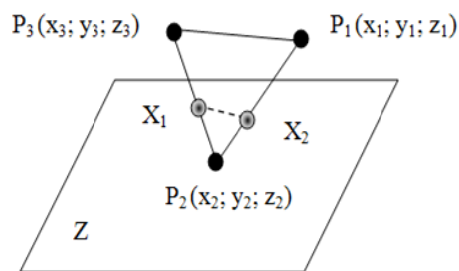


Рис. 1. Графическое представление процедуры поиска линии пересечения треугольника и плоскости

На рис. 1 представлено графическое представление процедуры вычисления линии пересечения треугольника и секущей плоскости. Плоскость Z представляет собой секущую плоскость, параллельную плоскости OXY . Линия пересечения показана пунктиром. Она является прямой, проходящей через точки X_1 и X_2 . Точки

пересечения ищутся исходя из уравнения прямой, проходящей по двум точкам. Для вычисления координат точки X_1 необходимо взять прямую, проходящую через точки P_1 и P_2 . Ее уравнение имеет вид:

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{z-z_1}{z_2-z_1}, \quad (1)$$

где x и y являются искомыми величинами; z – высота, на которой проходит секущая плоскость Z ; x_1, y_1, z_1 – координаты точки P_1 ; x_2, y_2, z_2 – координаты точки P_2 .

Из формулы (1) выводится система уравнений (2) для поиска x и y .

$$\begin{cases} x = \frac{(z-z_1)(x_2-x_1)}{z_2-z_1} + x_1 \\ y = \frac{(z-z_1)(y_2-y_1)}{z_2-z_1} + y_1 \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, были получены координаты (x, y, z) точки X_1 . Аналогичным образом ищутся координаты точки X_2 .

Таким же способом ищутся линии пересечения всех треугольников с секущей плоскостью.

На рис. 2 слева представлен пример CAD-геометрии, а справа – эта же геометрия, но рассеченная секущими плоскостями.

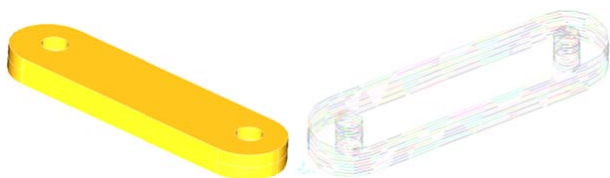


Рис. 2. Модель машиностроительного изделия

Процесс генерации элементов сеточной модели является важным этапом в ее создании. Именно на этом этапе происходит создание сетки, отвечающей за корректное представление внешнего вида и внутренней структуры модели машиностроительного изделия.

В общем виде генерация элементов сеточной модели происходит по следующему алгоритму. На первом этапе сечение разбивается на дискретные элементы путем пуска взаимно перпендикулярных лучей и нахождения точек их пересечения. Лучи пускаются с шагом дискретизации. При этом полученные точки пересечения будут являться элементами сеточной модели.

Для поиска точек пересечения лучей необходимы лишь те их отрезки, которые находятся внутри сечения. Для этого ищутся точки пересечения линий, ограничивающих сечения, и пу-

щенных лучей. На рис. 3 слева показано сечение, а справа – то же сечение, но представленное набором взаимно перпендикулярных лучей.

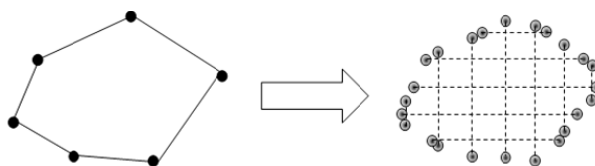


Рис. 3. Ограничение лучей отрезками в пределах сечения

Точки пересечения луча с линией, ограничивающей сечение, ищутся исходя из уравнения прямой, проходящей по двум точкам. Ее уравнение представлено формулой (3):

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}, \quad (3)$$

где x и y являются искомыми величинами; x_1, y_1 – координаты точки P_1 ; x_2, y_2 – координаты точки P_2 . В данном случае координату z можно не рассматривать, так как все рассматриваемые геометрические фигуры лежат в одной плоскости. Из формулы (3) получается выражение (4) для вычисления величины y :

$$y = \frac{(x-x_1)(y_2-y_1)}{x_2-x_1} + y_1. \quad (4)$$

Аналогичным образом ищутся координаты точек пересечения всех лучей, параллельных OY , с линиями, ограничивающими сечения.

Таким же способом ищутся координаты точек пересечения для лучей, параллельных OX . Выражение (4) примет вид, представленный в уравнении (5):

$$x = \frac{(y-y_1)(x_2-x_1)}{y_2-y_1} + x_1. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что при выполнении приведенных выше шагов учитываются такие случаи, когда луч пересекает более двух отрезков, составляющих сечение (например, при существовании технологического отверстия или полости в машиностроительном изделии). Пример такого случая приведен на рис. 4.

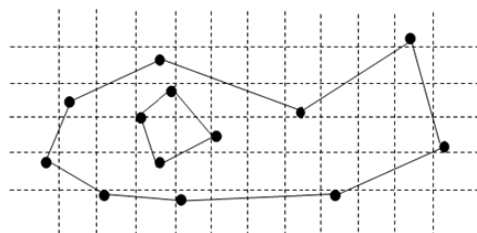


Рис. 4. Пересечение лучом более двух линий, составляющих сечение

Следующим шагом после ограничения лучей в пределах сечения отрезками является поиск их точек пересечения. При этом два взаимно перпендикулярных отрезка AB (параллелен OX) и CD (параллелен OY) пересекаются, если абсцисса точки C лежит между абсциссами точек A и B , а ордината точки A лежит между ординатами точек C и D . Графическая иллюстрация приведена на рис. 5.

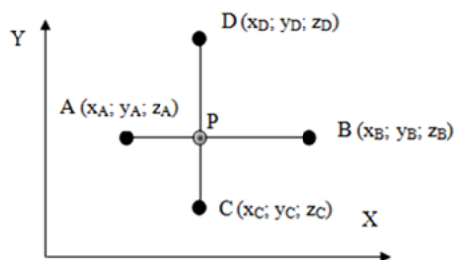


Рис. 5. Точка пересечения двух отрезков

Как следует из рисунка, координаты точки пересечения P двух взаимно перпендикулярных отрезков будут выражены следующим образом: $(x_C; y_A; z_A)$.

После поиска всех точек пересечения взаимно перпендикулярных отрезков происходит сохранение этих элементов.

На рис. 6 слева приведено сечение, состоящее из отрезков лучей, а справа – то же сечение, представленное элементами пространственной решетки.

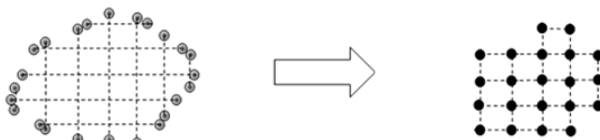


Рис. 6. Генерация элементов сетки внутри сечения

Все приведенные выше действия выполняются для каждого сечения. В итоге получается пространственная решетка.

Важной характеристикой полученной ортогональной решетки является упорядоченная нумерация элементов сетки. При построении решетки внутри сечения происходит последовательная нумерация элементов сначала вдоль оси X , затем – вдоль оси Y . Следовательно, дискретные элементы нумеруются сначала вдоль OX , затем – вдоль OY , а потом – вдоль OZ .

Параллельно с построением решетки внутри сечения идет поиск граничных точек, необходимых для приложения граничных условий.

Поиск граничных точек происходит внутри секущего окна. Оно представляет собой набор элементов решетки, построенных внутри трех следующих друг за другом сечений ограничивающего параллелепипеда. При этом все элементы решетки являются бинарными, то есть имеют значение 1, если точка лежит внутри геометрии, и 0, если точка находится вне геометрии. Следовательно, если значение соседствующего с текущим элементом вдоль какой-либо из осей (Ox , Oy или Oz) элемента равно 0, то текущий элемент является граничным. Такое представление модели сокращает требования к вычислительным ресурсам компьютера, так как нет необходимости вычислять координаты соседствующих элементов.

Введение поиска граничных точек внутри секущего окна было сделано с целью уменьшения требований к памяти, так как в данном случае необходимо хранить только те элементы, которые находятся внутри окна.

На рис. 7 продемонстрирована исходная CAD-геометрия (а) и сеточная модель на ее основе с назначенными граничными условиями (б).

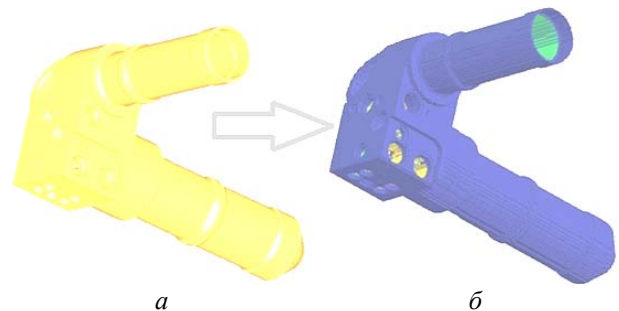


Рис. 7. Сеточная модель (б), полученная на основе CAD-геометрии (а)

Результатом работы является модуль генерации ортогональной гексаэдральной сеточной модели. Его характерными чертами являются высокая вычислительная эффективность применяемых алгоритмов, низкие требования к количеству оперативной памяти ЭВМ, а также ортогональность получаемой сетки вне зависимости от исходной геометрии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкции автомобилей / А. С. Горобцов, С. К. Карцов, А. Е. Плетнев, Ю. А. Поляков. – М. : Машиностроение, 2011. – 463 с.
2. Лабусов, А. Н. Генерация сетки [Электронный ресурс] / А. Н. Лабусов. – Режим доступа : <http://www.spbcas.ru/cfd/techn/Grids.htm>

3. Система для расчета тепловых технологических процессов машиностроения / А. Е. Андреев, Е. Г. Громов, М. В. Резников, О. В. Шаповалов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 7 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – № 12. – С. 124–126.

4. Mehmet, A. A. A Method for Orthogonal Grid Generation / Mehmet Ali Akinlar, Stephen Salako, Guojun Liao, Gen. Math. Notes, Vol. 3, No. 1, March 2011, pp. 55–72.

5. Ryskin, G. Orthogonal mapping / G. Ryskin, Leal L.G. – J. of Comp. Phys., Vol. 50, No. 1, 1983, pp. 71–100.

6. Chibisov, D. Generation of Orthogonal Grids on Curvilinear Trimmed Regions / Dmytro Chibisov, Victor Ganzha, Ernst W. Mayr, Evgenii V. Vorozhtsov, Constant Time 8th International Workshop, CASC 2005, Kalamata, Greece, September 12–16, 2005, Proceedings, pp. 105–114.

7. Wang, S. S. Y. 2D Nearly orthogonal mesh generation with controls on distortion function / Sam S. Y. Wang, Yafei Jia, Yaoxin Zhang Journal of Computational Physics, Vol. 218, Iss. 2, 1 November 2006, pp. 549–571.

УДК 541.183

А. Б. Голованчиков¹, Н. А. Меренцов¹, А. А. Коберник¹, Н. А. Дулькина²

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕЙ ДИФфуЗИИ МОЛЕКУЛ ИЗВЛЕКАЕМОГО КОМПОНЕНТА В АДсорБЕНТЕ

¹Волгоградский государственный технический университет

²Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов

pahp@vstu.ru

Предложена методика теоретического определения коэффициента внутренней диффузии этанола по известным коэффициентам внешней и внутренней диффузии метанола и коэффициенту внешней диффузии этанола. Приведена оценка влияния внешней и внутренней диффузии, а также продольного перемешивания на рабочее время цикла адсорбера периодического действия. Показано, что лимитирующей стадией вышележающего процесса является внутренняя диффузия.

Ключевые слова: адсорбция, коэффициенты внешней и внутренней диффузии этанола и метанола, коэффициент продольного перемешивания, рабочее время цикла, эффективность использования адсорбционной емкости.

A. B. Golovanchikov¹, N. A. Merentsov¹, A. A. Kobernik¹, N. A. Dulkina²

METHODOLOGY OF THE INTERNAL DIFFUSION OF MOLECULS EXTRACTED FROM ADSORBENT COEFFICIENT DETERMINATION

¹Volgograd State Technical University

²All-Russian scientific research institute of aviation materials

In this study the method of theoretical determination of the internal diffusion coefficient of ethanol considering coefficients of external and internal diffusion of methanol and external diffusion coefficient of ethanol was proposed. The impact of internal and external diffusion as well as longitudinal mixing on the cycle time of alternating absorber was assessed. The limiting stage of this process was identified as internal diffusion.

Keywords: adsorption, coefficients of internal and external diffusion of ethanol and methanol, coefficient of longitudinal mixing, cycle time.

В настоящее время одной из основных проблем при расчете адсорбционных процессов является определение коэффициента внутренней диффузии молекул извлекаемого компонента в адсорбенте. Его часто в расчетах не учитывают вообще и, определяя коэффициент внешней массоотдачи β , переходят к расчету рабочего времени цикла τ_3 по интегральным зависимостям [1, 2]. В таком случае в интегральные зависимости $\tau_3 = \tau_3(\beta_v)$ входят коэффициенты, понижающие рабочее время цикла; следовательно, делается попытка без расчета коэффициента внутренней массоотдачи, зависящего от внутренней диффузии, и соответственно, перехода к коэффициенту массопереда-

чи, косвенно учитывать внутридиффузионное торможение процесса адсорбции.

В справочнике [3] представлен алгоритм расчета, учитывающий внутридиффузионное торможение массопереносу, но с его коэффициентом диффузии для метанола в диапазоне концентраций в адсорбенте $(0-3.3 \cdot 10^{-2})$ кг/кг, который принимается равным $D_{\text{XM}} = 3 \cdot 10^{-10}$ м²/с, при этом еще дополнительно учитывается продольное перемешивание, рассчитываемое по эмпирической зависимости, и удельная поверхность адсорбента. Это позволяет рассчитывать объемный коэффициент массопередачи и по дифференциальной методике расчета, изложенной в наших работах [4–7], определять рабочее время цикла.

Целью работы является разработка методики теоретического определения коэффициента внутренней диффузии этанола по известным коэффициентам внешней и внутренней диффузии метанола и внешней диффузии паров этанола в воздухе, а также оценке влияния внешней и внутренней диффузии и продольного перемешивания на рабочее время цикла и степень использования динамической емкости адсорбента в аппарате периодического действия.

Определение численного значения коэффициента внутренней диффузии мы предлагаем проводить по следующему алгоритму:

– полагаем, что отношение коэффициентов молекулярной диффузии этанола в воздухе и в парах адсорбента пропорционально отношению этих коэффициентов для известного вещества, в нашем случае – метанола:

$$\frac{D_{YЭ}}{D_{XЭ}} = \frac{D_{YM}}{D_{XM}}; \quad (1)$$

откуда получаем уравнение для расчета примерного значения коэффициента молекулярной

диффузии в парах адсорбента, т. е. внутренней диффузии этанола:

$$D_{XЭ} = \frac{D_{YЭ}}{D_{YM}} D_{XM}; \quad (2)$$

– определяем по справочникам [1, 3] коэффициенты молекулярной диффузии в воздухе (внешней диффузии) метанола $D_{YM} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ и этанола $D_{YЭ} = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ и по формуле (2) рассчитываем ориентировочное значение коэффициента внутренней диффузии этанола:

$$D_{XЭ} = \frac{1,02 \cdot 10^{-5}}{1,33 \cdot 10^{-5}} 3 \cdot 10^{-10} = 2,3 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \quad (3)$$

– проводим расчеты рабочего времени цикла по массиву значений $D_{XЭi} = \{2 \cdot 10^{-10}; 2,2 \cdot 10^{-10}; 2,4 \cdot 10^{-10}; 2,6 \cdot 10^{-10}\} \text{ м}^2/\text{с}$, охватывающему его ориентировочное значение, полученному по формуле (3), и строим график расчетной зависимости рабочего времени цикла τ_k от коэффициента внешней диффузии $D_{XЭ}$ (рис. 1);

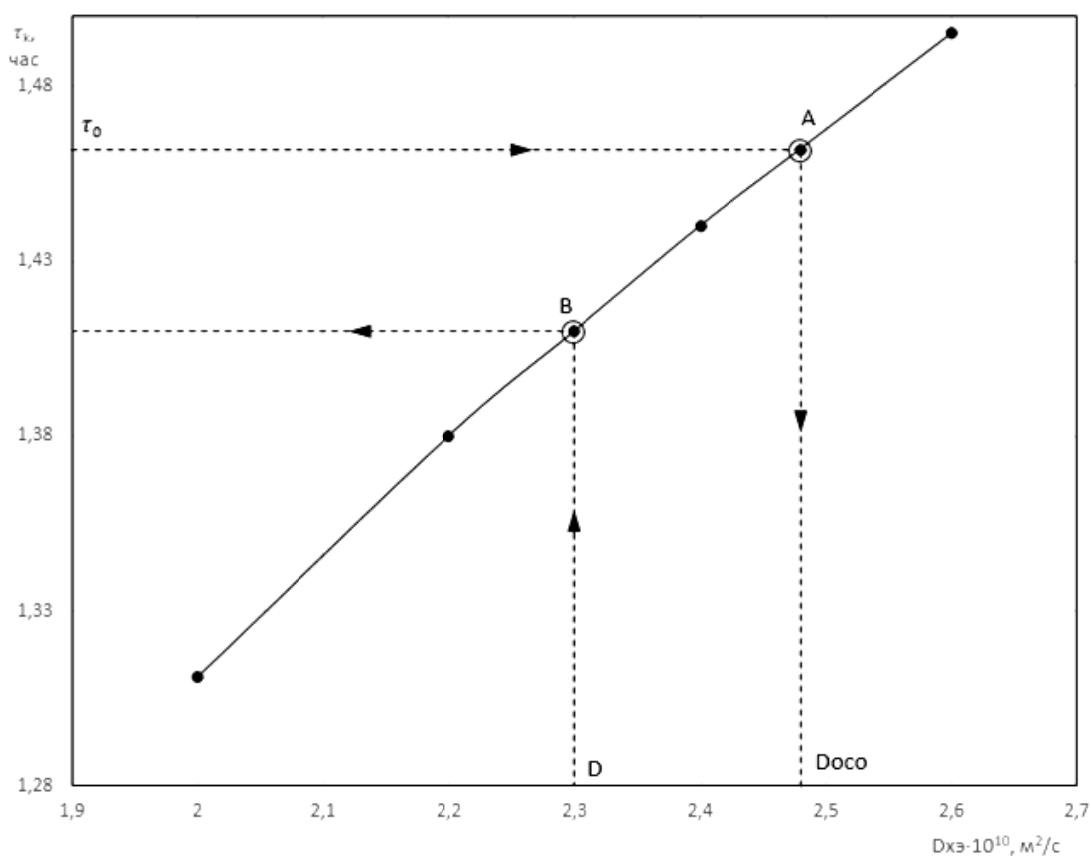


Рис. 1. Зависимость времени цикла при адсорбции паров этанола из воздуха в неподвижном слое адсорбента от коэффициента внутренней диффузии:

точка А соответствует лабораторному рабочему времени цикла; $\tau_k = 1,462$ ч и присущему ему значению внутренней диффузии $D_{XЭ} = 2,47 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$; точка Б соответствует ориентировочному значению коэффициента внутренней диффузии $D_{XЭ} = 2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, рассчитанному по формуле (2), и присущему ему расчетному рабочему времени цикла $\tau_k = 1,41$ ч

- при фиксированных исходных и справочных данных промышленного или лабораторного адсорбера определяем рабочее время цикла τ_0 , при котором концентрация извлекаемого

компонента на выходе из неподвижного слоя адсорбента становится равной заданной концентрации C_K , например ПДК в рабочей зоне (табл. 1);

Таблица 1

Исходные и справочные данные для расчета промышленного адсорбера с неподвижным слоем адсорбента для удаления паров этанола из воздуха

№	Наименование	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	6
Исходные данные				
1	Производительность по очищаемому воздуху	м ³ /час	q_v	1000
2	Начальная концентрация паров в воздухе	кг/м ³	C_0	$1,3 \cdot 10^{-2}$
3	Конечная концентрация паров в воздухе	кг/м ³	C_{kg}	10^{-3}
4	Температура рабочая в колонне	°С	t_g	20
5	Давление рабочее в колонне	атм	p_a	1,033
Справочные данные				
1	Молекулярная масса паров извлекаемого компонента	кг/кмоль	M	46
2	Молекулярная масса воздуха	кг/кмоль	M_b	29
3	Насыпная плотность гранул адсорбента	кг/м ³	ρ_n	500
4	Коэффициент диффузии паров воздуха при 20 °С и 1 атм	м ² /с	$D_{yз}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$
5	Динамическая вязкость воздуха при рабочих условиях в колонне	Па·с	μ	$1,8 \cdot 10^{-5}$
6	Эквивалентный диаметр гранул адсорбента	м	d_3	0,004
7	Высота слоя адсорбента	м	H_a	0,5
8	Диаметр адсорбера	м	D_{ac}	0,8
9	Порозность гранул адсорбента	м ³ /м ³	ε_0	0,4
10	Коэффициент равновесной зависимости изотермы адсорбции		a_2 b_2	96,39 348
11	Полная статическая емкость адсорбента	кг/кг	A_{max}	0,277
Варьируемый параметр				
1	Коэффициент внутренней диффузии молекул извлекаемого компонента	м ² /с	$D_{хэ}$	(см. табл. 1) $2,47 \cdot 10^{-10}$

– зная опытное значение рабочего времени τ_0 промышленного или лабораторного адсорбера, определяем по графику соответствующее ему численное значение коэффициента внутренней диффузии (рис. 1, точка А).

Согласно результатам расчетов по вышеназванному алгоритму опытное значение коэффициента внутренней диффузии $D_{х0}=2,47 \cdot 10^{-10}$ м²/с для $\tau_0=1,463$ часа. В табл. 2 приведены результаты расчетов промышленного адсорбера с не-

подвижным слоем адсорбента по исходным данным табл. 1, при полученном по вышеописанному алгоритму коэффициенту внутренней диффузии $D_{х0}$, а на рис. 2 и 3 – графики профилей концентраций этанола в воздухе и гранулах адсорбента по высоте его слоя (кривые 1) в конце рабочего времени цикла. Интересно сравнить влияние коэффициентов диффузии и структуры потоков на профили аналогичных концентраций (кривые 2–4) и рабочее время

цикла. Наибольшее влияние, как видно из графиков и их подрисуночных подписей, на кинетику процесса адсорбции оказывает внутренняя диффузия. Это можно было предположить, сравнивая исходные значения коэффициентов внешней и внутренней диффузии ($D_{гэ}$ на пять порядков больше $D_{хэ}$), то есть внутренняя диффузия является лимитирующей стадией. На рабочее время цикла практически не оказывает влияние учет продольного перемешивания, то есть рабочее время цикла можно считать как для аппарата идеального вытеснения (сравни-

вая 1,46 ч рабочего времени цикла с учетом продольного перемешивания и 1,5 ч со структурой потока идеального вытеснения). Интегральная методика расчета рабочего времени цикла, приведенная в работе [1] и не учитывающая внутреннюю диффузию, значительно его завышает ($\tau = 2,75$ ч против $\tau = 1,46$ ч, то есть в 1,88 раза). Для наглядности в табл. 3 систематизированы основные расчетные параметры адсорбции паров этанола в неподвижном слое адсорбента с учетом различных условий проведения процесса.

Таблица 2

Результаты расчета основных параметров адсорбера периодического действия для улавливания паров этилового спирта из воздуха

№	Наименование	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	6
1	Диаметр стандартного адсорбера	м	D_{ac}	0,8
2	Скорость воздуха	м/с	v_g	0,553
3	Предельная статическая емкость	кг/кг	A_{max}	0,227
4	Равновесная концентрация паров соответствующая начальной концентрации	кг/кг	ap_0	0,227
5	Коэффициент диффузии паров в воздухе при рабочих условиях в адсорбере	м ² /с	D_p	$1,134 \cdot 10^{-5}$
6	Число Рейнольдса для воздуха	—	Re_g	148,2
7	Число Прандтля для воздуха	—	Pr_g	1,316
8	Число Шервуда для воздуха	—	Sh	23,9
9	Коэффициент внешней массоотдачи	м/с	β_y	$6,79 \cdot 10^{-2}$
10	Коэффициент внутренней массоотдачи	м/с	B_x	$8,98 \cdot 10^{-3}$
11	Коэффициент массопередачи	м/с	K_y	$7,93 \cdot 10^{-3}$
12	Коэффициент продольного перемешивания	м/с	b_n	$1,57 \cdot 10^{-1}$
13	Коэффициент массопередачи с учетом продольного перемешивания	м/с	K_n	$7,55 \cdot 10^{-3}$
14	Удельная поверхность адсорбента	м ² /м ³	σ	900
15	Объемный коэффициент массопередачи	1/с	K_{yv}	6,79
16	Объем слоя адсорбента	м ³	V_{cl}	0,251
17	Масса слоя адсорбента	кг	G_{cl}	125,6
18	Максимальная поглощательная способность адсорбента	кг	M_u	28,5
19	Максимально возможное время поглощения (полное заполнение пор до концентрации a^*)	ч	t_{max}	2,37
20	Среднее время пребывания воздуха в адсорбере	с	t_c	0,904
21	Параметры итерационных уравнений для массопередачи и материального баланса	— —	a_v b_v	$6,14 \cdot 10^{-2}$ $2 \cdot 10^{-3}$

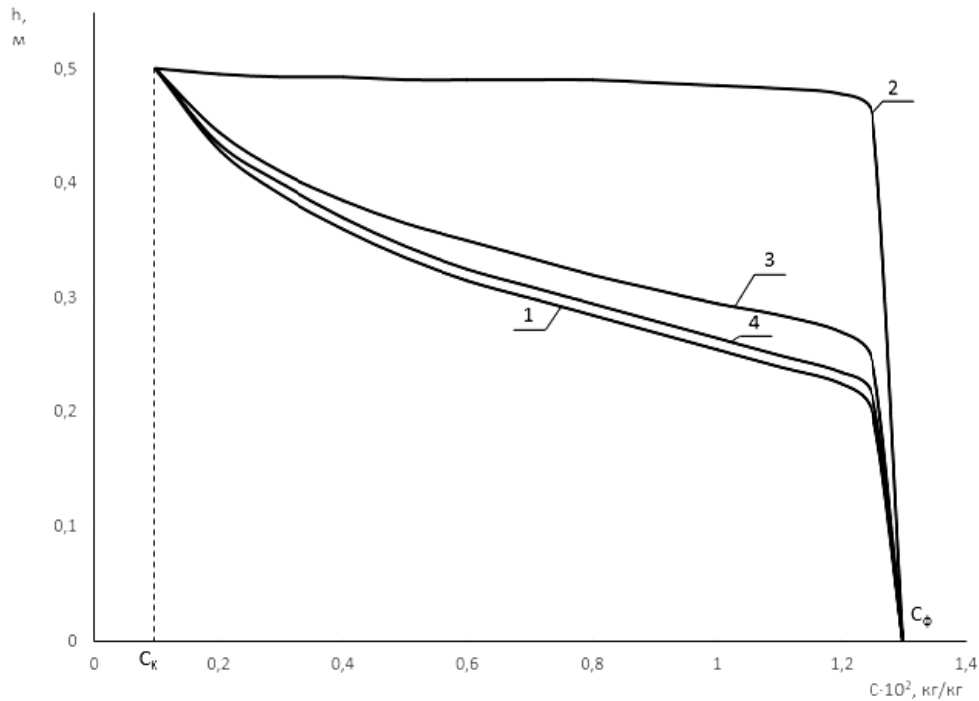


Рис. 2. Изменение концентрации паров этанола в воздухе по высоте слоя адсорбента в конце времени рабочего цикла:

1 – $\tau_k = 1,46$ ч, при учете внешней и внутренней диффузии и диффузионной структуры потока газа; 2 – $\tau_k = 2,16$ ч, при учете только внешней диффузии; 3 – $\tau_k = 1,585$ ч, при учете только внутренней диффузии; 4 – $\tau_k = 1,5$ ч, при учете внешней и внутренней диффузии и структуры потока идеального вытеснения для газа

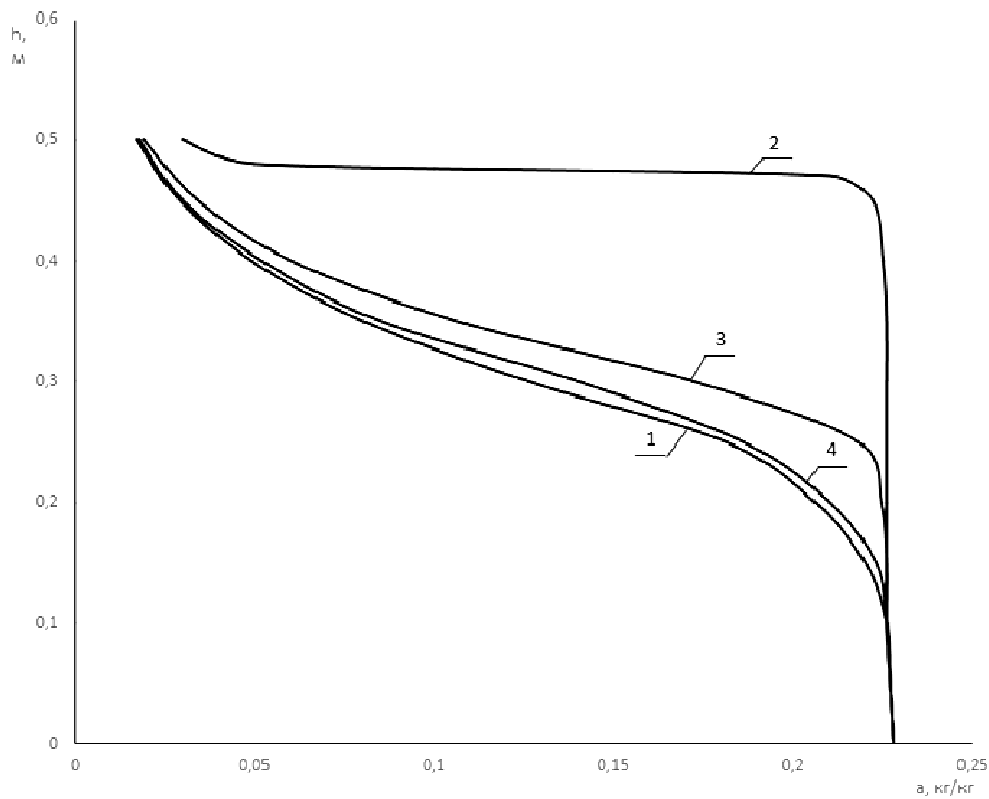


Рис. 3. Изменение концентрации этанола в гранулах по высоте слоя адсорбента в конце времени рабочего цикла:

1 – $\tau_k = 1,46$ ч, при учете внешней и внутренней диффузии и диффузионной структуры потока газа; 2 – $\tau_k = 2,16$ ч, при учете только внешней диффузии; 3 – $\tau_k = 1,585$ ч, при учете только внутренней диффузии; 4 – $\tau_k = 1,5$ ч, при учете внешней и внутренней диффузии и структуры потока идеального вытеснения для газа

Таблица 3

**Основные расчетные параметры процесса адсорбции паров этанола
из воздуха в неподвижном слое адсорбента**

№	Методика расчета	Значения параметров						Степень исп. динамической емкости адсорбента
		Коэффициенты массоотдачи		Коэффициент продольной диффузии	Коэффициент массопередачи		Рабочее время цикла	
		β_y , м/с	β_x , м/с	$V_{\text{п}}$, м/с	поверх. K_F , м/с	объем. K_L , с ⁻¹	τ_k , ч	
1	С учетом обоих коэффициентов массоотдачи β_y , β_x и коэффициентов продольного перемешивания	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-1}$	$7,93 \cdot 10^{-3}$	6,8	1,46	0,62
2	С учетом только коэффициента внешней массоотдачи β_y	$6,8 \cdot 10^{-2}$	—	—	$6,8 \cdot 10^{-2}$	6,1	2,16	0,91
3	С учетом только коэффициента внутренней массоотдачи β_x	—	$9 \cdot 10^{-3}$	—	$9 \cdot 10^{-3}$	8,1	1,58	0,67
4	С учетом только коэффициентов внутренней β_x и внешней β_y массоотдачи (идеальное вытеснение)	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	—	$7,9 \cdot 10^{-3}$	7,1	1,5	0,63

Таким образом, предлагаемая методика определения коэффициента внутренней диффузии позволяет, во-первых, прогнозировать ее значение по известным значениям коэффициентов внутренней и внешней диффузии метанола и коэффициенту внешней диффузии этанола с ошибкой, не превышающей (сравните абсциссы точек А и Б на графике рис. 1)

$$\delta_D = \frac{2,47 - 2,3}{2,47} \cdot 100 < 7 \%,$$

а по рабочему времени цикла (сравните ординаты точек А и Б)

$$\delta_{\tau} = \frac{1,462 - 1,41}{1,462} \cdot 100 < 4 \%;$$

во-вторых, интегральная методика расчета времени защитного действия, приведенная в работе [1], завышает его значение по сравнению с дифференциальной методикой, предлагаемой нами в работах [4–7], на 88 % (сравните 2,753 ч с 1,462 ч); в-третьих, лимитирующей стадией адсорбции паров метанола из воздуха в аппарате периодического действия является внутренняя диффузия. Даже неучет внешней и продольной диффузии дает завышение рабочего времени цикла на 8 % (сравните 1,58 ч и 1,46 ч в табл. 3), а неучет внутренней диффузии дает завышение в расчете рабочего времени цикла на 48 % (сравните 2,16 ч и 1,46 ч в табл. 3).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. П. Г. Романкова. 8-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1976. – 552 с.
2. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии : уч. пособие. Ч. 4. Массообменные процессы / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов ; ВолГГТУ. – Волгоград, 1997. – 118 с.
3. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1 / А. С. Тимонин ; Моск. гос. ун-т инж. экологии. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
4. Голованчиков, А. Б. Моделирование процессов адсорбции и электроадсорбции / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина, А. В. Кузнецов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (82) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2011. (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 11). – С. 14–18.
5. Влияние давления на процесс сушки воздуха в неподвижном слое силикагеля / А. Б. Голованчиков [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (88) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии». Вып. 5.) – С. 96–100.
6. Влияние давления на электроадсорбцию / А. Б. Голованчиков, А. В. Кузнецов, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. ВолГАСУ. – Волгоград, 2011. (Серия: Строительство и архитектура. Выпуск 24 (43)). – С. 81–90.
7. Голованчиков, А. Б. Влияние электрического поля на осушку воздуха в неподвижном слое силикагеля / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. ВолГАСУ. – Волгоград, 2011 (Серия : Строительство и архитектура. Выпуск 25 (44)). – С. 133–138.

УДК 661.183.123.3

А. Б. Голованчиков, Н. С. Шибитов, Н. В. Шибитова, Д. Р. Александрин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНООБМЕННОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ
РАСТВОРА ГИДРОКСИДА НАТРИЯ ОТ АНИОНОВ ХЛОРА

Волгоградский государственный технический университет

pahp@vstu.ru, schibitov.nik@gmail.com

Предложено очищать раствор гидроксида натрия от анионов хлора после электролиза раствора хлорида натрия в ионообменной колонне с неподвижным слоем ионита. Описан алгоритм и проведены расчеты на ЭВМ колонны для частиц анионита в ОН-форме. Получены зависимости основных параметров: времени рабочего цикла, степени использования обменной емкости ионита и удельного объема очищаемого раствора для колонны стандартного диаметра. Показано, что ионообмен обеспечивает необходимую степень очистки товарного каустика от анионов хлора, увеличивает концентрацию анионов ОН и степень использования обменной емкости ионита. Определены геометрические размеры колонны и рабочее время цикла.

Ключевые слова: раствор каустика, ионы хлора, анионообмен, ионит в ОН-форме.

A. B. Golovanchikov, N. S. Shibitov, N. V. Shibitova, D. R. Aleksandrin

MODELLING OF ION EXCHANGE COLUMN FOR CLEARING
A SODIUM HYDROXIDE SOLUTION FROM ANIONS CHLORINE

Volgograd State Technical University

It is offered to clear a sodium hydroxide solution from anions chlorine after electrolysis a solution of chloride of sodium in ion exchange to a column with a motionless layer ionite. The algorithm is described and calculations on the COMPUTER of a column for particles anionite in the OH-form are carried out. Dependences of key parameters are received: time of a running cycle, a degree of use of exchange capacity ionite and specific volume of a cleared solution for a column of standard diameter. It is shown, that ion exchange provides a necessary degree of clearing commodity a sodium hydroxide solution from anions chlorine, increases concentration anions OH and a degree of use of exchange capacity ionite. The geometrical sizes of a column and working hours of a cycle are determined.

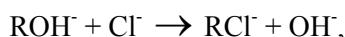
Keywords: a sodium hydroxide solution, ions of chlorine, anion exchange, ionite in the OH-form.

В процессе получения каустика электролитическим способом из раствора поваренной соли образуется раствор, содержащий до 1,7 % (масс.) ионов хлора, который вместе с ионами натрия образует 47 % водный раствор гидроксида натрия.

В настоящее время удаление соли NaCl из этого раствора осуществляется при выпаривании и кристаллизации. Эти трудоемкие и энергозатратные операции проводятся в несколько стадий и значительно удорожают получение готового продукта с допускаемой по нормам остаточной концентрацией NaCl [1–3].

Авторы предлагают проводить очистку водного раствора NaOH от ионов хлора в ионообменной колонне периодического действия.

В данном случае особенно целесообразно использовать гранулы анионита в ОН-форме. В этом случае процесс ионообмена идет по реакции [4]



то есть ионы хлора выводятся из раствора и заменяются на ионы самого продукта электролиза ОН⁻, при этом ионы натрия Na⁺ остаются в растворе. Таким образом, в этом случае не просто удаляются из раствора ионы хлора, но дополнительно вводятся ионы ОН⁻, что увеличивает концентрацию NaOH в растворе целевого продукта.

Алгоритм расчета анионообменной колонны с неподвижным слоем ионита такой же, как и для катионообменной колонны; он описан в работе [5] для псевдооживленного слоя и модифицирован авторами в работах [6–8]:

1) уравнение равновесной линии (обозначения параметров и их размерности приведены в табл. 1):

$$x^* = \frac{a \cdot c}{1 + b \cdot c}, \quad (1)$$

где $a = \frac{K_p \cdot x_0}{C_n}$, $b = \frac{(K_p - 1)}{C_n}$; x_0 – полная обменная емкость анионита, кг/кг; K_p – константа равновесия анионита;

2) число Шервуда внешней массоотдачи для раствора

$$\text{Sh} = 2 + 1,5(\text{Sc})^{1/3} \sqrt{(1 - \varepsilon_0) \text{Re}}, \quad (2)$$

где Sc, Re – число Шмидта и Рейнольдса соответственно;

3) поверхностный коэффициент внешней массоотдачи

$$\beta_c = \frac{\text{Sh} \cdot D_c}{d_3}, \quad (3)$$

а объемный коэффициент массопередачи

$$K_v = \frac{6\beta_c(1 - \varepsilon_0)}{d_3}; \quad (4)$$

Таблица 1

**Исходные и справочные данные, результаты расчетов ионообменных аппаратов
периодического действия для удаления анионов хлора из раствора щелочи [3, 4]**

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
Исходные данные			
1. Производительность по очищаемому раствору щелочи	м ³ /ч	q _v	11
2. Начальная концентрация анионов хлора	кг/м ³	C _н	15,2
3. Конечная концентрация анионов хлора	кг/м ³	C _к	3,0
4. Температура раствора	°C	t	20
5. Диаметр аппарата	м	D _a	1,5
6. Высота слоя ионита в каждой секции	м	H	0,7
7. Число секций в аппарате периодического действия	–	n _c	11
Справочные данные			
1. Динамическая вязкость раствора [3]	Па·с	μ	0,085
2. Плотность раствора	кг/м ³	ρ	1502
3. Коэффициент молекулярной диффузии ионов хлора в растворе [4]	м ² /с	D _с	1,6·10 ⁻⁹
4. Коэффициент молекулярной диффузии ионов хлора в ионите	м ² /с	D _х	2,9·10 ⁻¹⁰
5. Полная обменная емкость анионита АВ-17-08	кг/кг	x ₀	0,12
6. Насыпная плотность анионита	кг/м ³	ρ _н	340
7. Насыпная плотность влажного набухшего анионита	кг/м ³	ρ _и	555,5
8. Порозность анионита	м ³ /м ³	ε ₀	0,4
9. Константа равновесной линии	–	K _p	1,2
10. Эквивалентный диаметр частиц анионита АВ-17-08	м	d _э	6·10 ⁻⁴

4) при разделении всего слоя ионита на n равных по высоте слоев Δh (рис. 1):

а) из уравнения массопередачи для извлекаемых ионов для слоя Δh на высоте h_j ($j = 1, n$)

$$q_v C_{нj} \Delta \tau = q_v C_{кj} \Delta \tau + K_v \Delta V (C_{нj} - C_j^*) \quad (5)$$

определяется концентрация $C_{кj}$ для расчетного момента времени в каждом слое Δh ;

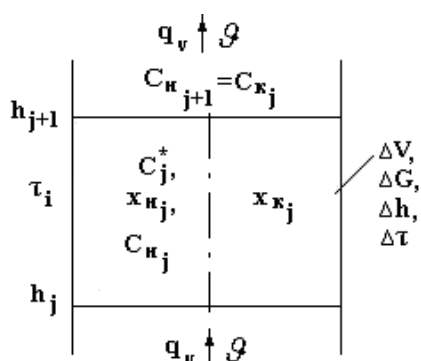


Рис. 1. Схема изменения концентраций ионов хлора в момент времени τ_i в j -м слое ионита высотой Δh за время $\Delta \tau$ в растворе ионита

б) конечная концентрация извлекаемых ионов в ионите определяется из материального баланса

$$x_{кj} = x_{нj} + \frac{q_v \cdot \Delta \tau}{3600 \Delta G} (C_{нj} - C_{кj}); \quad (6)$$

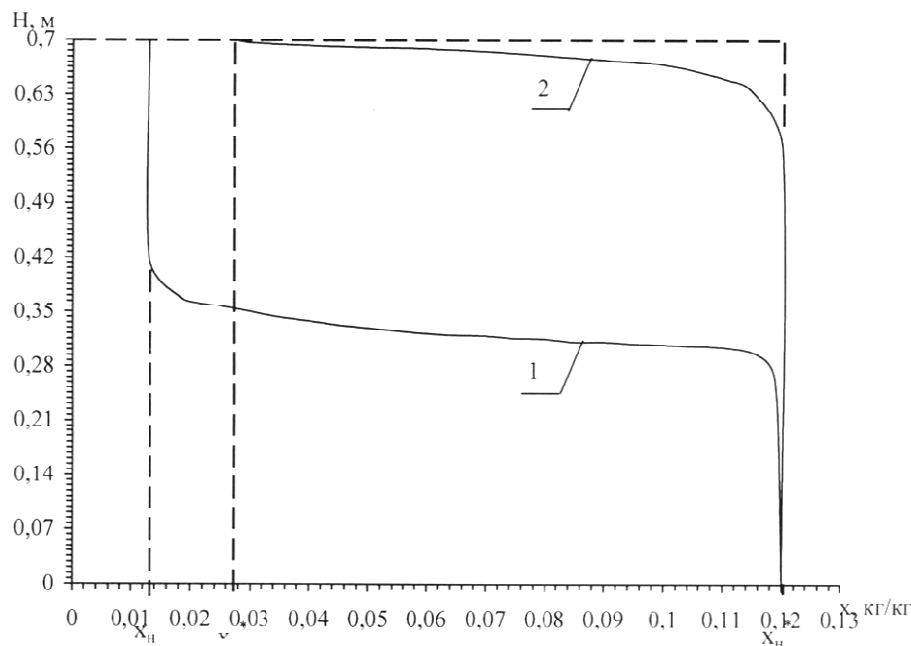
в) из уравнения равновесной линии (1) определяется равновесная концентрация в растворе как функция рабочей концентрации в ионите

$$C_j^* = \frac{x_{нj}}{a - b \cdot x_{нj}}, \quad (7)$$

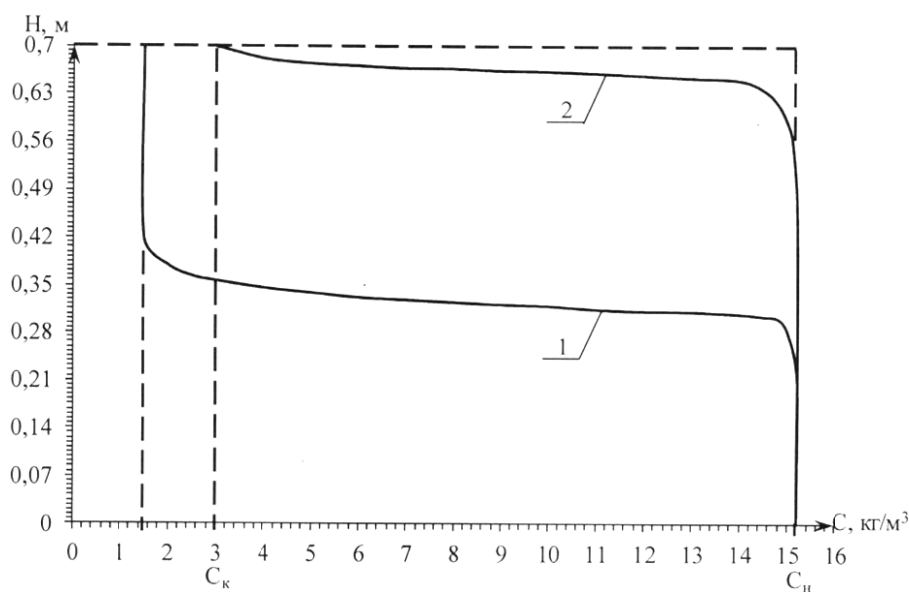
при этом, когда $C_j^* \geq C_{нj}$ в момент τ_i , слой на высоте h_j полностью теряет ионообменную способность и работает только как фильтр;

5) расчеты заканчиваются, когда $C_{к, j=n} \geq C_k$.

Примеры расчетов зависимости концентрации анионов хлора в растворе и ионите от высоты слоя в каждой секции по вышеописанному алгоритму и исходным и справочным данным табл. 1 показаны на рис. 2, а, б.



а) в анионите



б) в очищаемом растворе

Рис. 2. Концентрационные профили ионов хлора по высоте слоя ионита:
1 – в момент времени рабочего цикла $\tau = 2,5$ ч; 2 – в конце времени рабочего цикла $\tau_k = 5,1$ ч

Как видно из графиков рис. 2, практически в любой момент времени из 0,7 м высоты ионита в секции работает на ионообмен лишь 0,15 м высоты, где и происходит основное изменение концентрации анионов хлора в ионите и растворе. Остальные 80 % высоты слоя работают как фильтр: в нижней части как слой, полностью исчерпавший свою ионообменную емкость, в верхней – как слой, не участвующий в ионообмене. Это подсказывает необходимость перехода к колоннам непрерывного дей-

ствия, в которых общая высота движущегося слоя ионита равна его высоте, участвующей в ионообмене. Однако главным преимуществом колонн периодического действия является неподвижность частиц ионита, что предотвращает их истирание и измельчение.

Результаты расчетов основных параметров анионообменной колонны периодического действия приведены в табл. 2 для колонны стандартного диаметра $D_a = 1,5$ м и высоты слоя ионита в каждой из 11 секций $H = 0,7$ м.

Таблица 2

Основные расчетные параметры секционной ионообменной колонны периодического действия

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1. Равновесная концентрация ионов хлора в ионите, соответствующая начальной концентрации в растворе	кг/м ³	X_H^*	0,12
2. Равновесная концентрация ионов хлора в ионите, соответствующая конечной концентрации в растворе	кг/м ³	X_K^*	$2,73 \cdot 10^{-2}$
3. Начальная концентрация ионов хлора в ионите (после регенерации)	кг/м ³	X_H	$1,37 \cdot 10^{-2}$
4. Скорость раствора (фиктивная) в колонне	м/с	G	$1,57 \cdot 10^{-4}$
5. Число Рейнольдса	—	Re	$1,67 \cdot 10^{-3}$
6. Число Шмидта	—	Sc	35370
7. Коэффициент массоотдачи (поверхностный внешний)	м/с	β_c	$9,47 \cdot 10^{-6}$
8. Коэффициент массопередачи (объемный)	1/с	K_v	$5,68 \cdot 10^{-2}$
9. Объем ионита в каждой секции	м ³	V_c	1,24
10. Масса влажного набухшего ионита в каждой секции	кг	G_c	686,9
11. Время пребывания раствора в ионите каждой секции	с	τ_c	4451
12. Время рабочего цикла в колонне периодического действия	ч	τ_k	5,1
13. Степень использования обменной емкости ионита в колонне периодического действия	—	η	0,961
14. Удельный объем очищаемого раствора в колонне периодического действия	м ³ /кг	Y	0,00745

Таким образом, предлагаемая конструкция секционной ионообменной колонны с неподвижными слоями ионита в каждой секции позволяет за одну смену проводить один рабочий цикл ионообмена за время $\tau_k = 5$ ч и один рабочий цикл регенерации ионита за время $\tau_p = 3$ ч. Общая масса ионита в 11 секциях составляет 7556 кг. При высоте слоя в каждой секции $H = 0,7$ м общая высота ионита в колонне составит 7,7 м.

С учетом распределительных тарелок общая высота колонны со всеми 11 секциями составит около 12 м. Необходимо отметить, что достоинством предлагаемого способа очистки раствора NaOH от анионов хлора является увеличение концентрации целевого продукта NaOH с 700 до 707 кг/м³ (т. е. концентрация возрастает на 1,0 %). Регенерацию анионита в секциях можно проводить 2–6% раствором NaOH, при этом получается разбавленный раствор NaCl [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фурман, А. А. Приготовление и очистка рассола / А. А. Фурман, С. С. Штрайбман. – М. : Химия, 1966. – 358 с.
2. Якименко, Л. М. Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлорпродуктов / Л. М. Якименко, Н. И. Пасманик. – М. : Химия, 1976. – 437 с.
3. Каустическая сода (NaOH) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kemira.com/regions/russia/site/collectionDocuments/documentation/brochures/brochure-caustic-soda.rus.pdf>.
4. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2 / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 884 с.
5. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Ю. И. Дытнерский. – М. : Химия, 1991. – 483 с.
6. Голованчиков, А. Б. Электроионообменная очистка воды от радиоактивного йода / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина // Аппаратура и новости радиационных измерений. – 2012. – № 3 (70). – С. 52–54.
7. Голованчиков, А. Б. Одновременная ионообменная очистка воды от ионов жесткости и железа / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина // Экологические системы и приборы. – 2011. – № 3. – С. 24–28.
8. Добряков, А. В. Очистка сточных вод от радиоактивных изотопов / А. В. Добряков, А. Б. Голованчиков // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 9 (117). – С. 22–26.
9. Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды / А. И. Родионов, В. Н. Крушин, Н. С. Торочешников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1989. – 512 с.

УДК 621.565.952.74

Б. А. Дулькин¹, А. Б. Голованчиков², С. Б. Воротнева², А. Б. Дулькин³

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БАСЕЙНАХ ОТБОРА ОСТАТОЧНЫХ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЙ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ТВЭЛОВ АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ

¹Национальный исследовательский университет

Московский энергетический институт,

²Волгоградский государственный технический университет,

³АО «Атомэнергопроект»

pahp@vstu.ru

Проводится оценка тепловых процессов при теплоотдаче отработанных тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) атомных реакторов в циркуляционную воду бассейнов выдержки. Показана возможность увеличения тепловой мощности, передаваемой от поверхности каркасов тепловыделяющих сборок, в которых установлены ТВЭЛы, в 1,7 раза, за счет съемных полугильз и полудисков с ребрами, размещенных на поверхности каркасов.

Ключевые слова: тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), теплоотдача, циркуляционная вода, бассейн выдержки, тепловыделяющая сборка, полугильза, полудиск, ребра.

B. A. Dulkan¹, A. B. Golovanchikov², S. B. Vorotneva², A. B. Dulkan³

THE ANALYSIS OF THERMAL PROCESSES IN THE POOL OF BLEEDING RESIDUAL HEAT GENERATION FROM THE SPENT FUEL ELEMENTS OF NUCLEAR REACTORS

¹National Research University Moscow Power Engineering Institute,

²Volgograd State Technical University,

³S.A.E. «Atomenergoproekt»

The article shows the estimation of thermal processes in heat transfer spent fuel elements of nuclear reactors in the condensing water of spent fuel pool. The article shows the possibility of increasing the burning capacity by 1.7 times, transmitted from the surface of carcasses of fuel assemblies, in which fuel elements are installed, due to removable half-sleeve and half-disk with fins, dressed to the surface of carcasses.

Keywords: fuel elements, heat transfer, condensing water, spent fuel pool, fuel assembly, half-sleeve, half-disk, fins.

Для предотвращения перегрева и разгерметизации отработанных (ТВЭЛов) атомных реакторов их помещают в бассейн выдержки с циркуляционной водой [1, 2].

ТВЭЛы собирают в цилиндрический пучок, покрытый каркасом. Два пучка, установленные один над другим на центральном стержне, образуют тепловыделяющую сборку (ТВС) (рис. 1).

ТВС погружают в бассейн выдержки (БВ) с образованием коридорных рядов (рис. 2).

Одной из проблем при нейтрализации остаточных тепловыделений и предотвращения перегрева отработанных ТВЭЛов является нехватка отбора тепловой мощности от ТВС к циркуляционной воде при аварийной работе, когда эта мощность возрастает с 1170 до 1960 кВт, то есть почти в 1,7 раза.

Целью работы является математическое моделирование процессов теплоотдачи от поверхности каркасов ТВС к циркуляционной воде БВ при нормальной и аварийной работе и оценка возможности увеличения отбора тепловой мощности при увеличении поверхности теплоотдачи за счет установки съемных полугильз с поперечными ребрами на каркас ТВС (рис. 3).

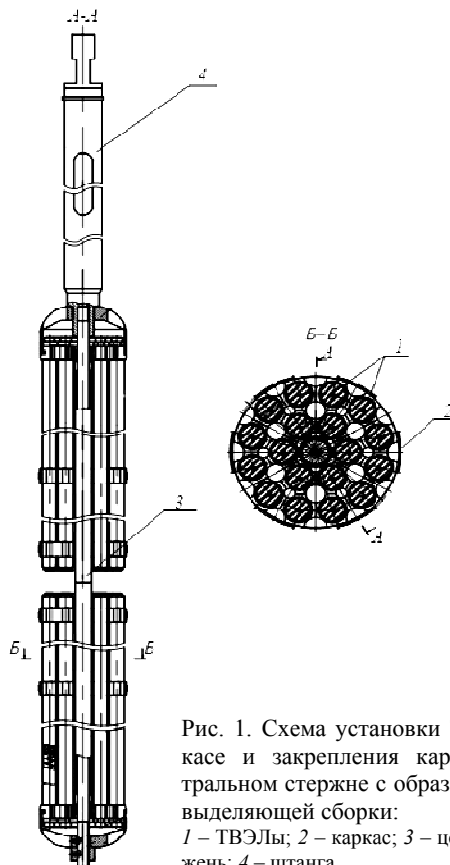


Рис. 1. Схема установки ТВЭЛов в каркасе и закрепления каркасов на центральном стержне с образованием тепловыделяющей сборки:
1 – ТВЭЛы; 2 – каркас; 3 – центральный стержень; 4 – штанга

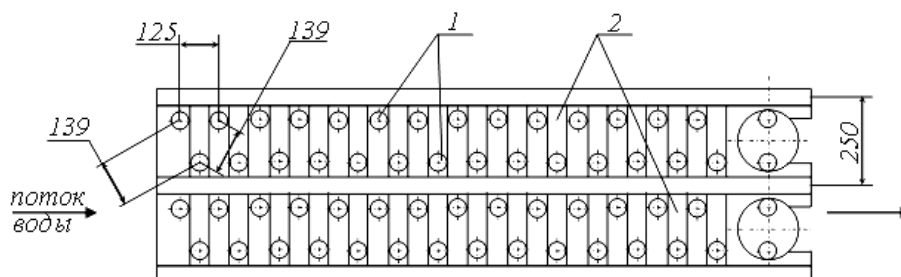


Рис. 2. План-схема размещения ТВС в бассейне выдержки (БВ):
1 – ТВС; 2 – коридоры

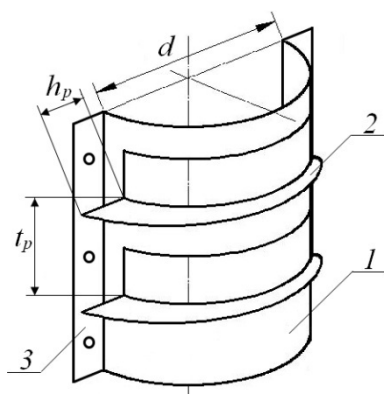


Рис. 3. Эскиз полуцилиндра с поперечными ребрами в аксонометрии:
1 – полуцилиндр; 2 – поперечное ребро;
3 – манжета с отверстиями

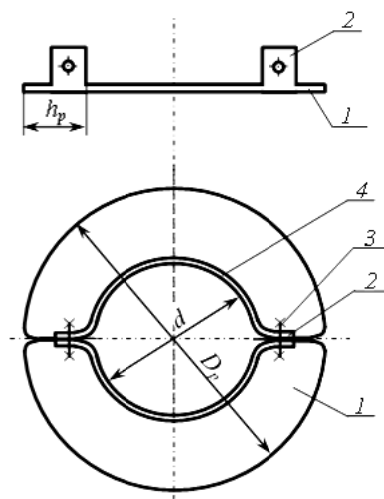


Рис. 4. Схема полудисков в сборке:
1 – ребро; 2 – манжета с отверстиями; 3 – крепежные детали;
4 – борт полудиска

Особенностью является то, что поперечные ребра вырезаны из боковой поверхности полуцилиндра и отогнуты наружу. Это упрощает их изготовление и уменьшает массу. Отверстия в манжетах нужны для монтажа секций полуцилиндра друг с другом с помощью винтов с гайками и плотного прижимания их внутренних поверхностей к поверхности каркаса. Для уменьшения гидравлического сопротивления и предотвращения образования застойных зон манжеты полуцилиндра на каркасах ТВС в бассейне устанавливаются вдоль потока циркуляционной воды.

Возможен и другой вариант оребрения каркаса ТВС в виде полудисков (рис. 4).

Полудиски монтируются на каркасе ТВС с шагом t_p ; скрепляются между собой с помощью крепежных деталей и плотно прижимаются внутренней поверхностью борта диска к наружной поверхности каркаса ТВС.

Более простой вариант увеличения теплопередающей поверхности может быть связан с оребрением дистанционирующих решеток, закрепляющих по 18 ТВЭЛов в пучок на центральном стержне. Еще лучше было бы заменить существующие каркасы без ребер на каркасы с поперечными ребрами.

Для определения расчетных параметров тепловых процессов при работе в номинальном режиме было проведено математическое моделирование по алгоритму, представленному ниже, а исходные и справочные [3] данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Исходные и справочные данные для расчета тепловых процессов,
идущих при охлаждении ТВЭЛов циркуляционной водой**

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение		Величина
			В статье	В программе	
1	2	3	4	5	6
Исходные и справочные данные					
1	Наименьший расход циркуляционной воды в бассейне	м ³ /ч	q_v	qv	130
2	Тепловая мощность всех ТВЭЛов	кВт	Q	Q	1170
3	Высота воды в коридоре, в который погружены каркасы ТВЭЛов	м	H_b	Hb	19,5
4	Длина коридора	м	L_b	lb	1,9
5	Ширина коридора	м	B_b	Bb	0,5
6	Диаметр каркаса ТВЭЛов	м	d	d	0,079
7	Число каркасов ТВЭЛов в одном коридоре	–	n_t	nt	120
8	Средняя температура циркуляционной воды в бассейне	°C	t_c	tc	50
9	Плотность воды при средней температуре	кг/м ³	ρ_w	row	988
10	Теплоемкость воды при средней температуре	кДж/кг К	c_w	cw	4,18
11	Динамическая вязкость воды при средней температуре	Па·с	μ_w	viw	0,000549
12	Теплопроводность воды при средней температуре	Вт/м К	λ_w	law	0,648
13	Высота теплопередающей поверхности каркаса ТВЭЛов	м	h_{f1}	hfl	3
14	Высота каркаса ТВЭЛов	м	$h1$	$h1$	3,5
15	Общее число каркасов с ТВЭЛами во всех коридорах	–	$n_{об}$	пов	1364
16	Начальная температура воды	°C	t_{wh}	twh	45
17	Коэффициент температурной вязкости воды	К ⁻¹	a	a	0,0145
Дополнительные исходные параметры для оребренных кожухов					
1	Отношение диаметра ребер к диаметру кожуха	–	$d_{от}$	dot	1,5
2	Отношение шага по высоте между ребрами к диаметру кожуха	–	$t_{от}$	$t_{от}$	1,5
Дополнительные исходные параметры при максимальном тепловыделении (аварийная выгрузка в бассейн)					
1	Максимальная тепловая мощность	кВт	Q_{tm}	Qtm	1960
2	Максимальное число каркасов ТВЭЛов в одном бассейне	–	$n_{об}$	пов	1800
3	Допускаемая наибольшая температура поверхности каркаса	°C	t_{tm}	ttm	70

Как видно из приведенных в табл. 2 результатов расчетов, средняя температура каркаса ТВЭЛов при номинальном режиме работы бассейнов выдержки с ТВС может достигать 71,3 °C; при этом удельная тепловая мощность $q_t = 1152,6$ Вт/м², конечная температура циркуляционной воды $t_{wk} = 52,8$ °C, движущая сила процесса теплопередачи $\Delta t_c = 22,14$ °C, а ко-

$$\text{эффицент теплоотдачи } \alpha = 52 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

В аварийном режиме установки ТВС необходимая удельная тепловая мощность, передаваемая от ТВС к циркуляционной воде, должна быть $q_{yn} = 1463$ Вт/м²; ее недостаточно, так как расчетная удельная тепловая мощность не превышает $q_{yb} = 1223,3$ Вт/м² при допускаемой температуре каркаса $t_{tm} = 70$ °C.

Таблица 2

Расчетные параметры тепловых процессов, идущих при охлаждении ТВЭЛов циркуляционной водой

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение		Величина
			В статье	В программе	
1	2	3	4	5	6
1	Боковая теплопередающая поверхность одного каркаса	м^2	f_l	f_l	0,744
2	Объем одного коридора, в котором установлены ТВЭЛы	м^3	V_B	V_B	18,52
3	Объем всех 60-ти подвесок с ТВЭЛами по 2 ТВС в каждой	м^3	V_t	V_t	2,05
4	Объем циркуляционной воды в коридоре	м^3	V_W	V_W	16,47
5	Число коридоров в одном бассейне	–	n_k	n_k	12
6	Скорость циркуляционной воды в коридоре	м/с	v	v	0,000309
7	Боковая теплопередающая поверхность всех каркасов с ТВЭЛами в бассейне	м^2	$F_{об}$	$f_{об}$	1015,1
8	Разность температур циркуляционной воды на выходе и входе	$^{\circ}\text{C}$	Δt	dt	7,84
9	Температура циркуляционной воды на входе	$^{\circ}\text{C}$	t_{wk}	twk	52,84
10	Удельная тепловая мощность каркасов в одном бассейне	Вт/м^2	q_t	qt	1152,64
11	Число Рейнольдса при поперечном обтекании ТВЭЛов водой	–	Re	Re	43,88
12	Число Прандтля	–	Pr	Pr	3,54
13	Число Нуссельта без учета отношения чисел Прандтля для воды и стенки	–	Nu_n	Nu_n	5,85
14	Коэффициент теплоотдачи от поверхности каркаса к воде (нижнее значение)	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$	α_n	aln	47,97
15	Средняя движущая сила при нижнем значении коэффициента теплоотдачи	$^{\circ}\text{C}$	Δt_n	dt_n	24
16	Уточненная средняя температура воды	$^{\circ}\text{C}$	t_c	tc	48,9
17	Расчетная температура поверхности ТВЭЛов при нижнем значении коэффициента теплоотдачи	$^{\circ}\text{C}$	t_{gn}	tgn	72,9
18	Число Нуссельта с учетом отношения чисел Прандтля для воды и стенки	–	Nu_B	Nu_B	6,4
19	Коэффициент теплоотдачи (верхний предел)	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$	α_B	alB	52,3
20	Средняя движущая сила процесса теплоотдачи с учетом отношения Pr/Pr_{cm}	$^{\circ}\text{C}$	Δt_B	dt_B	22,0
21	Расчетная температура поверхности каркаса ТВЭЛов при верхнем значении коэффициента теплоотдачи	$^{\circ}\text{C}$	t_{gB}	tgB	70,94
22	Температура поверхности кожуха ТВЭЛов, рассчитанная методом наименьших квадратов	$^{\circ}\text{C}$	t_{gc}	tgc	71,25
23	Число Нуссельта	–	Nu	Nu	6,34
24	Коэффициент теплоотдачи	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$	α	al	52,05
25	Средняя движущая сила теплоотдачи	$^{\circ}\text{C}$	Δt_c	dtc	22,140
Расчетные параметры для оребренных ТВЭЛов					
26	Диаметр поперечных ребер	м	D_p	Dp	0,120
27	Шаг по высоте между ребрами	м	t_p	tp	0,120
28	Число ребер на каждом каркасе ТВС	–	n_p	np	25
29	Площадь поверхности ребер на одном каркасе ТВС	м^2	F_{op}	Fop	0,306

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
30	Коэффициент увеличения теплопередающей поверхности и удельной тепловой мощности	—	K_{yf}	K_{yf}	1,41
31	Площадь теплопередающей боковой поверхности одного каркаса ТВЭЛов без ребер	м ²	f_1	f_1	0,744
32	Удельная тепловая мощность теплопередающей поверхности одного каркаса ТВЭЛов с ребрами	Вт/м ²	q_p	q_p	1626,9
Расчеты параметров при максимальном тепловыделении (аварийная выгрузка ТВЭЛов в бассейн)					
33	Необходимая удельная тепловая мощность	Вт/м ²	q_{yn}	q_{yn}	1463,2
34	Расчетная удельная тепловая мощность теплоотдачи от поверхности ТВЭЛов к воде при $t_{im}=70$ °С (максимальная)	Вт/м ²	$q_{ув}$	$q_{ув}$	1223,3
35	Массовый расход воды через бассейн	кг/ч	G_m	G_m	215164,4
36	Объемный расход воды через бассейн	м ³ /ч	Q_m	Q_m	217,8
37	Число коридоров при установке 120 ТВЭЛов	—	n_k	n_k	16
38	Объемный расход воды через один коридор	м ³ /ч	q_{m1}	q_{m1}	13,61
39	Скорость воды, отмывающей поверхности ТВЭЛов	м/с	v	v	0,000388
40	Число Рейнольдса	—	Re	Re	55,13
41	Допускаемая наибольшая температура поверхности ТВЭЛов	°С	t_{im}	t_{im}	70
42	Число Нуссельта наибольшее	—	Nu_b	Nu_b	7,1
43	Наибольший возможный коэффициент теплоотдачи	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	α_b	α_b	58,1
44	Число Нуссельта при наименьшем коэффициенте теплоотдачи, рассчитываемом без учета отношения Pr/Pr_{cm}	—	Nu_n	Nu_n	6,56
45	Коэффициент теплоотдачи наименьший	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	α_n	α_n	53,8
46	Минимально возможная удельная тепловая мощность, передаваемая оребренным каркасом	Вт/м ²	$q_{ур}$	$q_{ур}$	1599,6
47	Температура поверхности каркаса с оребрением при передаче необходимой удельной тепловой мощности q_{yn} от каркаса к воде	°С	$t_{кр}$	$t_{кр}$	67
48	Коэффициент теплоотдачи от кожуха с оребрением при передаче необходимой удельной тепловой мощности q_{yn} от каркаса к воде	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	α_p	α_p	57,4

Проблема теплоотдачи в этом случае решается при установке на каждом каркасе ТВС 25 ребер (рис. 3 и 4) с наружным диаметром ребра $D_p = 120$ мм и шагом по высоте между ребрами $t_p = 120$ мм, что позволяет увеличить площадь теплопередающей поверхности каркасов ТВС в 1,41 раза, довести расчетную удельную тепловую мощность с 1223 до 1600 Вт/м², то есть превзойти требуемую удельную тепловую мощность при аварийной выгрузке, равную $q_{yn} = 1463$ Вт/м² в 1,1 раза. При передаче необходимой удельной тепловой мощности температура поверхности каркасов с оребрением сни-

жается до $t_{кр} = 67$ °С, при этом коэффициент теплоотдачи составляет $\alpha_p = 57,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Таким образом, для обеспечения устойчивого режима охлаждения каркасов ТВС при их аварийной выгрузке в бассейны выдержки необходимое увеличение тепловой мощности в 1,7 раза можно обеспечить установкой на кожухах ТВС полугильз с поперечными ребрами (рис. 3) или полудисков (рис. 4), представляющих собой в сборке одно ребро; при этом расход воды увеличивается со 130 до 217,8 м³/ч, а поверхность теплоотдачи в 1,4 раза. 10%-й

запас по тепловой мощности позволяет снизить температуру поверхности каркасов до 67 °С при допускаемой температуре этой поверхности 70 и средней температуре циркуляционной воды 48,9 °С, которая в бассейне выгрузки нагревается с 45 до 55 °С.

Исходя из результатов расчетов, вместо установки съемных полугильз с ребрами или самих съемных ребер на поверхность каркаса можно рекомендовать заменить существующие каркасы ТВЭЛов в ТВС на оребренные каркасы с размерами и числом ребер на каждом, представленными в табл. 1.

УДК 681.51

В. А. Егунев, А. Р. Джакиев

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Волгоградский государственный технический университет

vegunov@mail.ru, ru-askar@mail.ru

Рассматривается вопрос применения теории сетей массового обслуживания к оценке эффективности системы управления, а также оценке производительности управляющего микроконтроллера.

Ключевые слова: микроконтроллер, система управления, оценка производительности, имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование.

V. A. Egunov, A. R. Dshakiyev

SIMULATION OF THE CONTROL SYSTEM BASED ON MICROCONTROLLER

Volgograd State Technical University

Discusses the application of the theory of Queuing networks to assess the effectiveness of the management system and to evaluate the performance of its control of the microcontroller.

Keywords: microcontroller, system management, performance evaluation, imitating modeling, discrete event simulation.

Развитие микроконтроллеров и широкое их применение в промышленном производстве, устройствах и системах управления самыми разнообразными объектами и процессами является в настоящее время одним из основных направлений научно-технического прогресса. Использование микроконтроллеров в системах управления обеспечивает достижение высоких показателей эффективности при относительно невысокой стоимости. Микроконтроллер в данном случае занимает центральную часть такой системы. К нему подсоединены датчики и исполнительные устройства [1]. Микроконтроллер считывает информацию от датчиков, обрабатывает ее и выдает команды исполнительным устройствам [2]. Для различных конфигураций систем объем передаваемой информации, а также время ее обработки будет сильно отличаться. При проектировании системы управления одной из основных задач является выбор управляюще-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отчет «Обоснование безопасности уплотненного хранения отработавшего ядерного топлива в приреакторных бассейнах выдержки энергоблоков первой очереди Курской АЭС». – Международный центр по ядерной безопасности (МЦЯБ), 2013. – 117 с.

2. «Смоленская АЭС. Обоснование безопасности обращения с ЯТ при переводе реактора на полномасштабную загрузку уран-эргиевым топливом 2,8 % обогащения». – АО «Атомэнергопроект», 2006. – 93 с.

3. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. чл.-кор. АН России П. Г. Романкова. – 12-е изд., стер. – М. : Альянс, 2005. – 576 с.

го микроконтроллера. С одной стороны, он должен обладать достаточной вычислительной мощностью для того, чтобы обработать поток информации, поступающий от датчиков. С другой стороны, выбор неадекватно производительного и дорогого микроконтроллера приведет к удорожанию системы в целом. Поэтому важной представляется оценка требуемой производительности, необходимой для реализации задач, стоящих перед системой управления.

Одним из подходов к оценке требуемой производительности является моделирование управляющей системы с получением характеристик, позволяющих оценить ряд параметров системы, которые однозначно описывают возможность микроконтроллера справиться с задачами, возникающими при управлении этой системой. В данной работе описан поход к моделированию системы управления на базе микроконтроллера как системы массового обслуживания (СМО) [3].

В подавляющем большинстве случаев реакция микропроцессора на внешние воздействия реализуется через механизм внешних прерываний.

Прерывания в микроконтроллерах представляют собой механизм, который позволяет ему реагировать на внешние события. Этот механизм основан на том, что при наступлении некоторого события в системе, требующего реакции микроконтроллера, ему подается сигнал, заставляющий прервать выполнение текущей программы. После того как выполнение текущей программы прервано, микроконтроллер переходит к выполнению программной процедуры, связанной с этим событием (прерыванием) – процедуры обработки прерывания.

Значимость тех или иных событий в системе неодинакова. Одни события более важны и требуют немедленной реакции, другие менее важны, и с ответом на них можно подождать. Естественно, что и соответствующие этим событиям прерывания должны иметь разный приоритет. При одновременном возникновении нескольких прерываний микроконтроллер должен перейти к обработке прерывания, имеющего более высокий приоритет.

Классическая СМО производит обслуживание поступающих в нее требований (заявок) на обслуживающих приборах и может содержать

от одного до бесконечного числа приборов. В терминах теории массового обслуживания элементы узла сети могут быть представлены следующим образом:

- 1) запросы на прерывание: заявки;
- 2) флаг прерывания: очередь единичной длины;
- 3) микроконтроллер: обслуживающий прибор.

Исходя из аппаратной реализации системы прерываний в микроконтроллере, СМО, соответствующая рассматриваемому узлу сети, представляет собой одноканальную СМО с потерями и дисциплиной обслуживания с относительными приоритетами.

Когда обслуживающий прибор свободен, следующая заявка на обслуживание выбирается из имеющихся в очередях в соответствии с приоритетами. Обслуживающий прибор задерживает каждую поступающую в него заявку на время, необходимое для обработки прерывания данного типа, и после освобождения готов принять следующую.

Рассмотрим имитационную модель работы микроконтроллера в составе системы управления. В качестве модели был выбран мобильный робот с управлением по беспроводному каналу связи с использованием видеокамеры и цифровых датчиков.

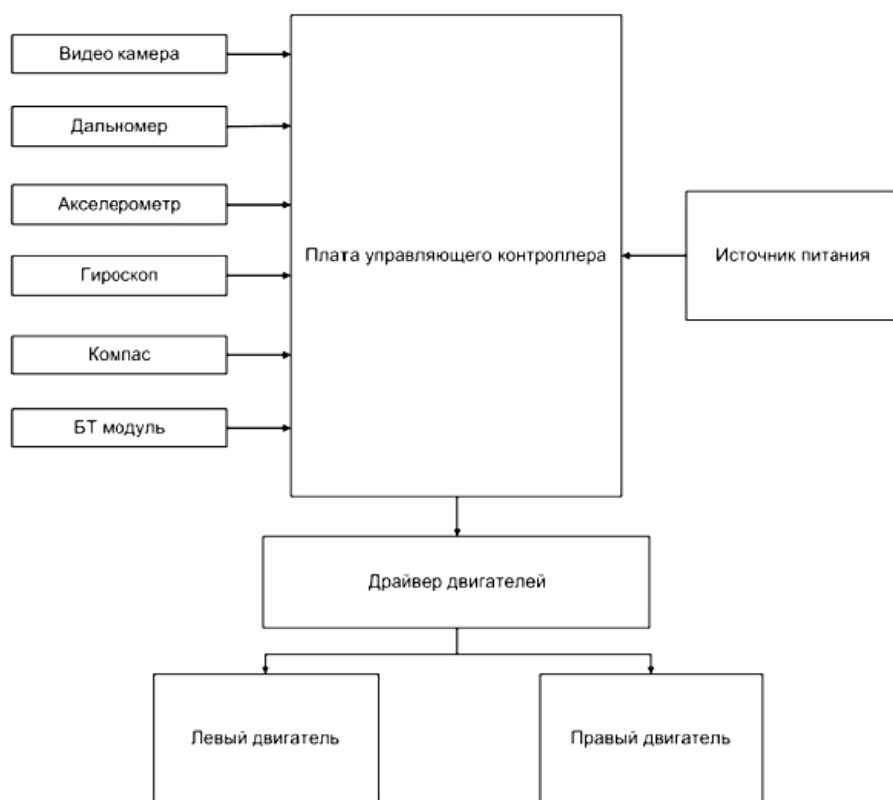


Рис. 1. Структурная схема модели

Для построения имитационных моделей использовались система моделирования AnyLogic и встроенная библиотека элементов для создания сложных дискретно-событийных моделей Enterprise Library.

Структурная схема модели изображена на рис. 1. Видеокамера и цифровые датчики являются источниками заявок, которые поступают в общий канал и обслуживаются микроконтроллером в соответствии с приоритетами.

В системе моделирования AnyLogic была построена модель (рис. 2) для исследования системы управления, представленной на рис. 1.

На схеме используются следующие обозначения:

1. Блоки sourceCamera... sourceBT – являются источниками заявок от видео камеры, акселерометра, гироскопа, компаса, дальномера и БТ модуля.

2. Блоки QueueCamera...QueueBT – блоки, моделирующие очередь.

3. Блоки sinkCamera...sinkOutput – блоки, удаляющие заявки из системы соответственно источникам заявок (sourceCamera и т. д.).

4. Блоки selectInputPriority1... selectInputPriority4 – моделируют выбор заявки в соответствии с приоритетом.

5. Блок delay – блок имитации работы микроконтроллера. Обеспечивает задержку заявки на заданное время для разных типов заявок.

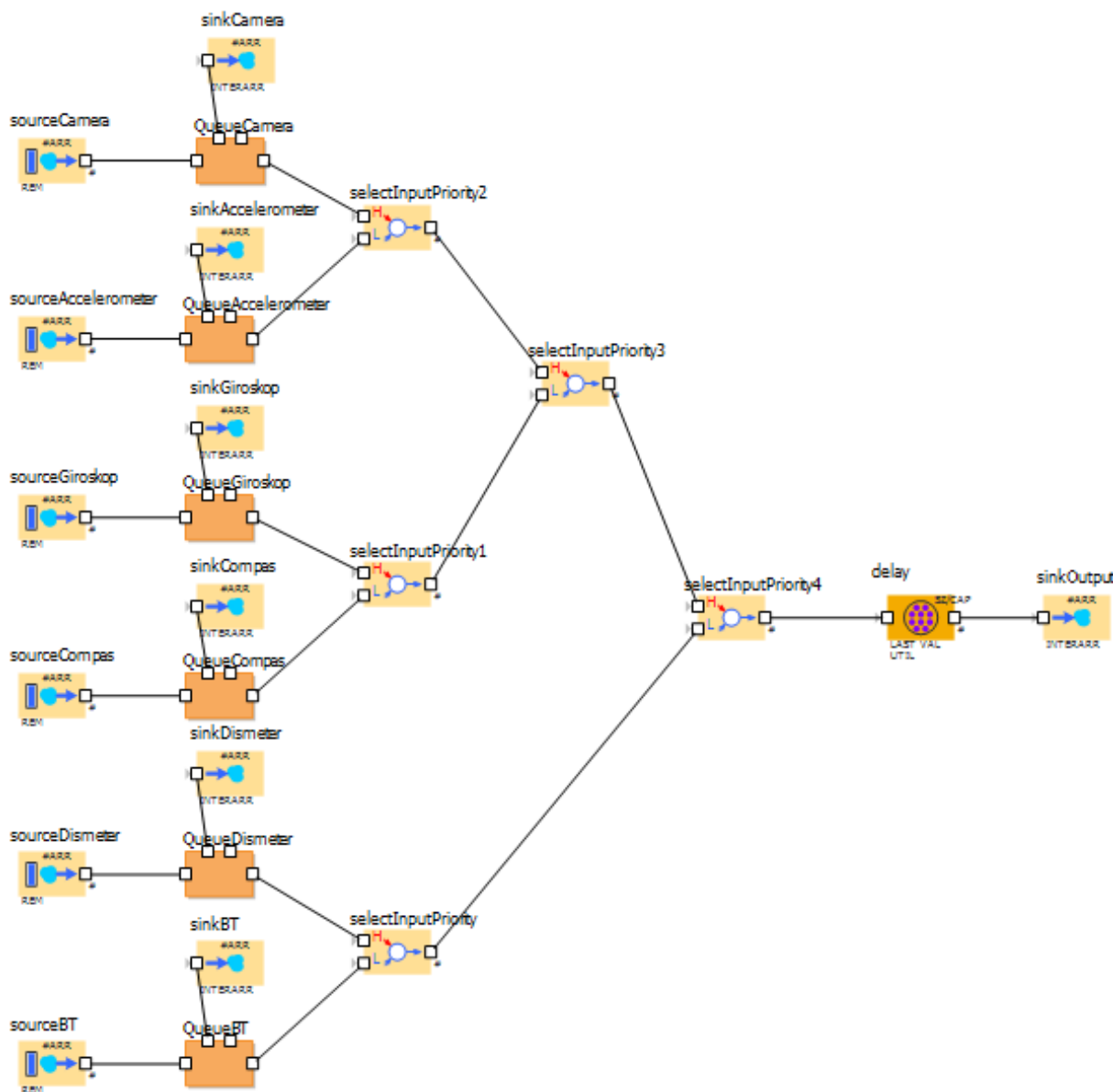


Рис. 2. Схема модели мобильного робота с управлением по беспроводному каналу связи с использованием видеокамеры и цифровых датчиков в системе моделирования AnyLogic

С использованием полученной модели были проведены несколько экспериментов, в которых задавались различные параметры входных потоков заявок от устройств системы и производительность микроконтроллера. Входные параметры были рассчитаны отдельно для каждого устройства. Например, время обработки одного прерывания от видеокamеры определялось по формуле (1):

$$T_{CAM} = (a * CT * N + f) * K * \frac{1}{CD}, \quad (1)$$

где a – разрешение видео камеры; CT – количество команд на обработку одного байта; N – число байт на цвет; f – количество команд на обработку фрейма; K – число кадров; CD – производительность контроллера в IPS.

Аналогичным образом были получены эмпирические выражения, оценивающие время обработки заявок от других источников. Задав конкретными значениями параметров, входящих в данные выражения, интенсивностями потоков заявок и производительностью микроконтроллера в 11 MIPS, были получены значения временных интервалов обработки заявок, представленные в таблице.

Время обработки заявок при производительности микроконтроллера 11,5 MIPS

Устройство	Время обработки заявки	Интервал поступления заявок
Камера	0,06 с	0,067
БТ модуль	0,00017 с	0,2
Дальномер	0,00114 с	0,02
Компас	0,00114 с	0,2
Акселерометр	0,000086 с	0,02
Гироскоп	0,000128 с	0,2

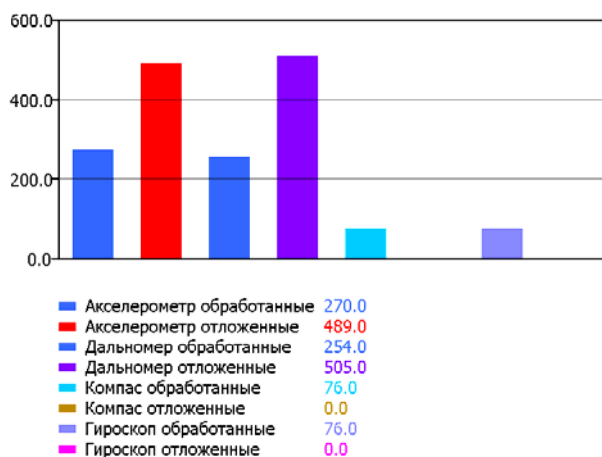


Рис. 3. Результат моделирования при производительности микроконтроллера 11 MIPS

Было проведено моделирование, результаты которого отражены на рис. 3. Из анализа данной диаграммы видно, что производительности микроконтроллера не хватает для обработки всех заявок, так как ряд прерываний от акселерометра и дальномера не был обработан (следует отметить, что на диаграмме не приведены результаты обработки заявок от камеры и БТ-модуля).

В следующем эксперименте производительность микроконтроллера была увеличена до 12 MIPS. Результаты моделирования приведены на рис. 4. Видно, что микроконтроллер, обладая производительностью 12 MIPS, справился с потоком заявок.

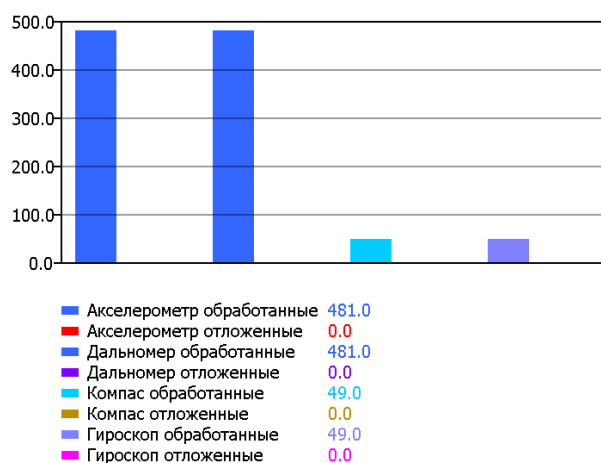


Рис. 4. Результат моделирования при производительности микроконтроллера 12 MIPS

В качестве вывода можно сказать, что моделирование системы управления как системы массового обслуживания позволяет оценить требуемую производительность микроконтроллера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егунов В.А., Жуков А.П., Потапов М.И. Об управлении транспортной системой мобильного робота // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (84) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – С. 51–53 [Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 12].
2. Егунов В.А., Жуков А.П., Потапов М.И. Об управлении манипуляционным механизмом мобильного робота // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (84) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – С. 49–51 [Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 12].
3. Robotic Complex Central Processing Node Performance Requirements Assessment / Egunov V.A., Kimosenko S.I., Andreev A.E. // World Applied Sciences Journal (WASJ). – 2013. – Vol. 24, Spec. Issue 24 : Information Technologies in Modern Industry, Education & Society. – С. 37–42.

УДК 519.8

*В. А. Кобышев, А. А. Кобышев***ПОДХОД К ПОИСКУ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
С ПЕРЕМЕННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**

kobyshev40@mail.ru; kobyshev@elpol.ru

В статье описан метод, позволяющий находить точные значения решения задачи Коши в узлах сетки с помощью разностных схем.

Ключевые слова: математическая модель, линейное дифференциальное уравнение, задача Коши, истинное решение, разностная схема, разностная сетка, переменный коэффициент.

*V. A. Kobyshev, A. A. Kobyshev***APPROACH TO FINDING SOLUTIONS OF LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS
WITH VARIABLE COEFFICIENTS IN MODELING PROBLEMS****Volgograd State Technical University**

This article describes method for finding the exact values of the solution of the Cauchy problem in the grid nodes using finite difference schemes.

Keywords: mathematical model, linear differential equations, Cauchy problem, exact solution, finite difference scheme, finite difference grid, variable coefficient.

Математической моделью технического объекта является система уравнений (алгебраических, дифференциальных обыкновенных или в частных производных с краевыми условиями и т. д.), описывающая важнейшие свойства объекта, точное решение которой удастся получить лишь для простейших частных случаев. Поэтому первая задача, возникающая при математическом моделировании, состоит в построении приближенной модели, аппроксимирующей исходную. Для этого обычно используется метод конечных разностей или метод сеток [4], [5], позволяющий свести решение дифференциальных уравнений к решению систем алгебраических уравнений. Построение разностной схемы (дискретной модели) должно удовлетворять двум главным требованиям: 1) дискретная модель должна как можно лучше моделировать свойства непрерывной (исходной) модели; 2) она должна быть достаточно экономичной. В работах [1]–[3] решена задача построения разностных схем для линейных однородных и неоднородных систем обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, решения которых совпадают с решением указанных систем в точках заранее заданной разностной сетки. В настоящей работе эти результаты обобщаются на случай линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

Предлагаемый подход к построению разностных схем для обыкновенных дифференциальных уравнений может найти применение в тринажеростроении, в станках с ЧПУ, то есть там,

где требуется управлять процессом в масштабе реального времени, а также при скоростном вычислении значений функций и построении их таблиц.

Рассмотрим линейное дифференциальное уравнение с переменным коэффициентом

$$\dot{x}(t) = f(t) \cdot x(t) \quad (1)$$

и начальным условием:

$$x(0) = x^{(0)}. \quad (2)$$

Истинное решение задачи Коши (1), (2) дается формулой:

$$x(t) = x^{(0)} \cdot e^{\int_0^t f(\tau) d\tau}. \quad (3)$$

Численное решение этой же задачи с помощью любой квадратурной формулы позволяет найти значения неизвестной функции $x(t)$ в узлах соответствующей сетки с некоторой погрешностью. В связи с этим возникает задача: найти функцию $g(t)$ такую, чтобы численное решение задачи Коши

$$\dot{x}(t) = g(t) \cdot x(t) \quad (4)$$

$$x(0) = x^{(0)} \quad (5)$$

с помощью заданной квадратурной формулы совпадало в узлах ее сетки с истинным решением задачи (1), (2). Для численного решения задачи (4), (5) воспользуемся квадратурной формулой Эйлера

$$x_{n+1} = x_n + h\dot{x}_n, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

где $x_n = x(nh)$; h – шаг сетки

$$\omega_h = \{t_n = nh, \quad n = 0, 1, 2, \dots\}. \quad (7)$$

Полагая в (4) $t = t_n$ и подставляя $\dot{x}_n$ в (6), получим рекуррентную формулу

$$x_{n+1} = (1 + hg_n)x_n, \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad (8)$$

из которой, учитывая что $x_0 = x(0) = x^{(0)}$, последовательно находим:

$$\begin{aligned} x_1 &= (1 + hg_0)x^{(0)} \\ x_2 &= (1 + hg_1)(1 + hg_0)x^{(0)} \\ x_3 &= (1 + hg_2)(1 + hg_1)(1 + hg_0)x^{(0)} \\ &\dots\dots\dots \\ x_n &= x^{(0)} \prod_{i=0}^{n-1} (1 + hg_i) \end{aligned} \quad (9)$$

С другой стороны, решение (3) задачи Коши (1), (2) в точках сетки (7) равно

$$x(nh) = x_n = e^{\int_0^{nh} f(\tau) d\tau}. \quad (10)$$

Таким образом, решение (10) будет совпадать с (9), если

$$\prod_{i=0}^{n-1} (1 + hg_i) = e^{\int_0^{nh} f(\tau) d\tau}. \quad (11)$$

Логарифмируя обе части (11) и заменяя логарифм произведения суммой логарифмов, получаем:

$$\sum_{i=0}^{n-1} \ln(1 + hg_i) = \int_0^{nh} f(\tau) d\tau. \quad (12)$$

Так как

$$\int_0^{nh} f(\tau) d\tau = h \int_0^n f(h\zeta) d\zeta = h \sum_{i=0}^{n-1} \int_i^{i+1} f(h\zeta) d\zeta,$$

то (12) принимает вид:

$$x_n = x(nh) = x^{(0)} \prod_{i=0}^{n-1} \left[1 + h \frac{e^{\sin(i+1)h - \sin(ih)} - 1}{h} \right] = x^{(0)} \prod_{i=0}^{n-1} e^{\sin(i+1)h - \sin(ih)} = x^{(0)} e^{\sin(nh)}, \quad (17)$$

так как $\prod_{i=0}^{n-1} e^{\sin(i+1)h - \sin(ih)} = e^{\sin h - \sin 0} \cdot e^{\sin(2h) - \sin h} \cdot \dots \cdot e^{\sin(nh) - \sin(n-1)h} = e^{\sin(nh)}$.

Видим, что решения (15) и (17) совпадают.

Подстановка (14) в численное решение (9) задачи Коши (4), (5), полученное с помощью квадратурной формулы Эйлера (6), показывает, что оно полностью совпадает с истинным решением (10) задачи Коши (1), (2) в точках сетки (7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кобышев, В. А. Разрешающее преобразование / В. А. Кобышев // Сб. научных трудов : Дифференциальные и интегральные уравнения. – Горький, 1982. – С. 143–146.
2. Кобышев, В. А. Построение разностных схем по заданной сеточной функции / В. А. Кобышев // Сб. научных

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{n-1} \ln(1 + hg_i) &= h \sum_{i=0}^{n-1} \int_i^{i+1} f(h\zeta) d\zeta, \\ \text{или } \sum_{i=0}^{n-1} \left\{ \ln[1 + hg(ih)] - h \int_i^{i+1} f(h\zeta) d\zeta \right\} &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Равенство (13) будет выполнено, если $\ln[1 + g(ih)] = h \int_i^{i+1} f(h\zeta) d\zeta$. Отсюда

$$g(ih) = \frac{e^{\int_i^{i+1} f(h\zeta) d\zeta} - 1}{h}. \quad (14)$$

Рассмотрим пример: $\begin{cases} \dot{x}(t) = \cos t \cdot x(t) \\ x(0) = x^{(0)}. \end{cases}$

Здесь $f(t) = \cos t$, поэтому истинное решение (3) будет иметь вид:

$$x(t) = x^{(0)} e^{\int_0^t \cos \tau d\tau} = x^{(0)} \cdot e^{\sin t}$$

В точках сетки (7) оно принимает значения

$$x(nh) = x^{(0)} e^{\sin(nh)}. \quad (15)$$

Найдем $g(ih)$:

$$g(ih) = \frac{e^{h \int_i^{i+1} \cos(h\zeta) d\zeta} - 1}{h} = \frac{e^{\sin(i+1)h - \sin(ih)} - 1}{h} \quad (16)$$

и рассмотрим задачу:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \frac{e^{\sin(t+h) - \sin t} - 1}{h} x(t) \\ x(0) = x^{(0)} \end{cases}$$

Решение этой задачи методом Эйлера (6) на сетке (7) есть (9):

трудов : Некоторые вопросы дифференциальных уравнений в решении прикладных задач. – Тула, 1980. – С. 14–16.

3. Кобышев, В. А. Вычисление решений линейной однородной стационарной системы с помощью разностных схем / В. А. Кобышев // Сб. научных трудов : Дифференциальные уравнения с частными производными. – СПб., 1992. – С. 90–93.

4. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

5. Решение систем дифференциально-алгебраических уравнений последовательным исключением множителей Лагранжа / О. В. Шаповалов, В. В. Гетманский, А. Е. Андреев, А. С. Горобцов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 10). – С. 31–33.

УДК 621.383.8 + 535.8

*М. А. Ураксеев, Т. А. Закурдаева***ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ МЮЛЛЕРА И ДЖОНСА****Уфимский государственный авиационный технический университет**

uma1941@mail.ru, zak..tanya@bk.ru

Данная статья посвящена волоконно-оптическому информационно-измерительному устройству и устройству для измерения напряженности электрического поля и напряжения. Рассмотрены возможности применения формализмов Мюллера и Джонса для создания математических моделей.

Ключевые слова: волоконно-оптические системы, эффект Поккельса, формализмы Мюллера и Джонса, алгебраическая матрица.

*М. А. Urakseev, T. A. Zakurdaeva***APPROACH TO BUILDING MATHEMATICAL MODELS USING
THE MUELLER MATRIX AND JONES****Ufa State Aviation Technical University**

This article focuses on fiber-optic information-measuring device and a device for measuring the electric field strength and voltage. The possible uses of formalisms Myulerra and Jones to create mathematical models.

Keywords: fiber-optic systems, Pockels effect, and formalisms Myulerra Jones algebraic matrix.

В последние десятилетия усилился интерес зарубежных и отечественных ученых к созданию приборов и систем, основанных на электрооптическом эффекте Поккельса [1, 2, 3]. Это объясняется их высокими техническими характеристиками, которые удается получить за счет использования новейших технологий и материалов для создания элементной базы.

Для автоматизированного проектирования необходимо знание математических моделей.

Одним из важнейших вопросов при математическом моделировании рассматриваемых датчиков является разработка математических моделей. Определенный интерес представляет возможность применения формализмов Мюллера и Джонса, при создании их моделей.

В данной статье описаны новые разработанные структуры электрооптических датчиков и рассмотрены возможности применения формализмов Мюллера и Джонса для создания математических моделей.

Ниже приведены волоконно-оптическое информационно-измерительное устройство и устройство для измерения напряженности электрического поля и напряжения [5, 6].

На рис. 1 изображена структурная схема волоконно-оптического информационно-измерительного устройства, которая содержит источник излучения 1, первую оптическую систему с микрообъективом 2, электрооптическую ячейку Поккельса 3, вторую оптическую систему с линзами 4, фотоприемник 5, усилитель 6, аналого-цифровой преобразователь 7, регистр па-

мяти 8 и контроллер 9, выходы которого связаны с жидкокристаллическим индикатором 10, печатающим устройством 11, аналого-цифровым преобразователем 7 и регистром памяти 8 [5].

Генерируемый излучателем 1 свет с двумя различными длинами волн λ_1 и λ_2 по волоконному световоду достигает первой оптической системы с микрообъективом 2. Микрообъектив формирует параллельный пучок, падающий на интерференционный светофильтр системы. Излучение с длиной волны λ_1 поступает на первое измерительное плечо, а излучение с длиной волны λ_2 – на второе, идентичное первому. Затем оба пучка проходят через электрооптическую ячейку Поккельса 3. Так как оси соседних доменов направлены навстречу одна другой, то изменения показателя преломления в соседних доменах имеют разные знаки. В результате модулирующий элемент представляет для проходящего через него света дифракционную решетку с периодом, равным периоду доменной структуры, и амплитудой изменения показателя преломления соседних доменов $2^A n$. Диафрагма пропускает только ту часть излучения, которая попадает в первый дифракционный максимум. Линза формирует световой поток, возвращаемый призмой через градиентную стержневую линзу, формирующую параллельный пучок на модулирующий элемент, где происходит повторная дифракция, первый максимум которой пропускается диафрагмой и вводится градиентной стержневой линзой в объединитель, который объединяет световые потоки

с длинами волн λ_1 и λ_2 , прошедшие по двум идентичным плечам измерителя, и вводит их в фотоприемник 5. Сигналы с фотоприемника поступают последовательно на усилитель 6, аналого-цифровой преобразователь 7, запоминающее устройство 8 и микроконтроллер 9, управляющий запоминающим устройством 8, жидкокристаллическим индикатором 10 и печатающим устройством 11.

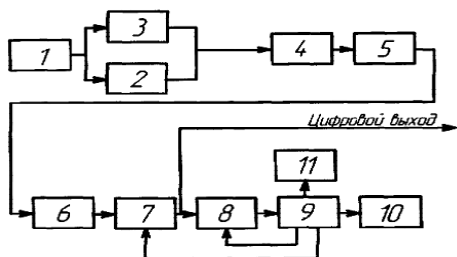


Рис. 1. Структурная схема волоконно-оптического информационно-измерительного устройства

На рис. 2 изображена структурная схема устройства для измерения напряженности электрического поля и напряжения.

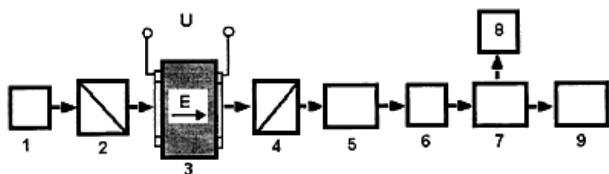


Рис. 2. Структурная схема устройства для измерения напряженности электрического поля и напряжения

Устройство содержит источник излучения 1 и фотоприемник, оптически связанные с поляризатором 2, электрооптической ячейкой Поккельса 3 и анализатором 4, на выходе анализатора последовательно размещены фотодиод 5, усилитель ток – напряжение 6, микроконтроллер 7, содержащий порты ввода-вывода, память, аналого-цифровой преобразователь, устройство записи 8 и жидкокристаллический индикатор 9.

Оптический луч света от источника света 1 поступает на поляризатор 2, на выходе которого будем иметь плоскополяризованный луч. Далее этот свет проходит через электрооптическую ячейку Поккельса 3, к электродам которой приложено измеряемое напряжение U х. С выхода ячейки Поккельса свет попадает на анализатор 4 и далее на фотодиод 5, где он преобразуется в электрический сигнал. В виде тока сигнал усиливается усилителем 6 и подается на вход микроконтроллера (PIC-контроллер) 7, содержащего порты ввода-вывода, память, анало-

го-цифровой преобразователь. Информация об измеряемых величинах может быть сохранена в устройстве записи 8 и отображена на жидкокристаллическом индикаторе 9. Устройство выполнено полностью из диэлектрических материалов, имеет малые массогабаритные характеристики, допускает интегральное исполнение.

В основе этих устройств, для преобразования поляризации лежит алгебраическая матрица. В формализме Мюллера состояние поляризации представляется четырехкомпонентным вектором Стокса s и оптическими элементами в виде матриц размерностью 4×4 [1]. Все величины при таком подходе являются действительными числами. С другой стороны, в формализме Джонса состояние поляризации представляется двухкомпонентным комплексным числом в виде

$$a = \begin{bmatrix} A_x & e^{i\delta_x} \\ A_y & e^{i\delta_y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

а оптические элементы – матрицами размерностью 2×2 с комплексными компонентами. Несмотря на их структурные различия, оба метода используются одинаково. Ниже представлены векторы Стокса и Джонса для различных типов поляризованного света.

Поляризация вектора света E при $E_x = A_x e^{i\delta_x}$, $E_y = A_y e^{i\delta_y}$,

$$\delta = \delta_x - \delta_y, \quad A^2 = A_x^2 + A_y^2.$$

Линейная поляризация: ось пропускания под углом θ к оси x :

$$\text{Мюллер:} \quad s = \begin{bmatrix} A^2 \\ A^2 \cos 2\theta \\ A^2 \sin 2\theta \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\text{Джонс:} \quad a = \begin{bmatrix} A_x & e^{i\delta_x} \\ \pm A_y & e^{i\delta_y} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Правая (+) и левая (–) круговые поляризации: $A_x = A_y = A/2$, $\delta = \pm\pi/2$.

$$\text{Мюллер:} \quad s = \begin{bmatrix} A^2 \\ 0 \\ 0 \\ \pm A^2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\text{Джонс:} \quad a = \begin{bmatrix} \frac{A}{\sqrt{2}} & e^{i\delta_x} \\ \frac{A}{\sqrt{2}} & e^{i(\delta_x \pm \frac{\pi}{2})} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Эллиптическая поляризация:

Мюллер:

$$s = \begin{bmatrix} A_x^2 + A_y^2 \\ A_x^2 - A_y^2 \\ 2A_x A_y \cos \delta \\ 2A_x A_y \sin \delta \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Джонс:

$$a = \begin{bmatrix} A_x e^{ib_x} \\ A_y e^{ib_y} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Далее приведены матрицы, представляющие поляризующие элементы:

$$\text{Мюллер: } R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta \cos \delta & (1 - \cos \delta) \sin 2\theta \cos 2\theta - \sin 2\theta \cos \delta \\ 0 & (1 - \cos \delta) \sin 2\theta \cos 2\theta & \sin^2 2\theta + \cos^2 2\theta \cos \delta & \cos 2\theta \sin \delta \\ 0 & \sin 2\theta \sin \delta & -\cos 2\theta \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\text{Джонс: } R = \begin{bmatrix} e^{i\delta} \cos^2 \theta + \sin^2 \theta & (e^{i\delta} - 1) \sin \theta \cos \theta \\ (e^{i\delta} - 1) \sin \theta \cos \theta & e^{i\delta} \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Матричное представление произвольного оптического элемента с углом $\theta + \phi$ можно связать с матрицей для того же самого элемента с углом Φ соотношением

$$M(\theta + \Phi) = T(-\theta) M(\Phi) T(\theta), \quad (12)$$

в котором T представляет матрицу вращения, приведенную ниже.

Матрицы вращения:

$$\text{Мюллер: } T(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$\text{Джонс: } T(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Оба метода используются следующим образом. Величина I_i определяется как входное состояние, и нужно определить выходное состояние I_f после того, как свет пройдет через последовательность оптических элементов, состоящую из поляризаторов и фазовых пластинок. Выходное состояние получается в результате последовательного умножения вектора входного состояния на матрицу, представляющую каждый оптический элемент в порядке их расположения:

$$I_f = M_f M_{f-1} \dots M_2 M_1 I_i. \quad (15)$$

Матрицы s для линейного поляризатора: ось пропускания под углом θ к оси x в плоскости $x-y$

Мюллер:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ \cos 2\theta & \cos^2 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & 0 \\ \sin 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & \sin^2 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\text{Джонс: } P = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta \\ \sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Матрицы элементов запаздывания:

матрицы для линейного запаздывания: быстрая ось под углом θ к оси x в плоскости $x-y$; запаздывание $\delta = \delta_y - \delta_x$:

Теперь моделирование любой системы и количественное определение влияния отдельных элементов внутри нее становится вполне очередной процедурой. Формализм Мюллера обычно лучше подходит для вычислений, в которых представляют интерес только изменения интенсивности. Формализм Джонса полезен, когда более важны вопросы фазовых соотношений [1, 2, 3, 4].

Считаем, что применение матриц Мюллера и Джонса актуально и эффективно при моделировании волоконно-оптических измерительных систем, основанных на электрооптическом эффекте в связи с расширением класса измеряемых физических величин. Помимо измерения электрического напряжения и напряженности электрического поля появились новые типы приборов и систем для измерения и контроля расхода диэлектрических сред [12], а также перемещения и смещения объектов и влажности продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волоконно-оптические датчики / под ред. Э. Удда. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2008.
2. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси [и др.]. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Ураксеев, М. А. Волоконно-оптические датчики для автоматизированных технологических процессов и производств. Приборы и системы. Управление кон-

троль, диагностика / М. А. Ураксеев, Н. А. Авдонина. – 2009. – № 4. – С. 29–34.

4. Гонда, С. Оптоэлектроника в вопросах и ответах / С. Гонда, Д. Сэко. – Л. : Ленинградская типография № 2. Главное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Госкомиздате СССР, 1980.

5. Патент 71441 Российская Федерация. Устройства для измерения напряженности электрического поля и напряжения : МПК G01R13/40 / М. А. Ураксеев, О. А. Михина, Д. Г. Хамета ; Уфимский государственный авиационный технический университет. – Заявл. 16.10.2007 ; опубл. 10.03.2008.

6. Патент 67723 Российская Федерация. Волоконно-оптическое информационно-измерительное устройство : МПК G01R13/40 / М. А. Ураксеев, О. А. Михина, Д. Г. Хамета ; Уфимский государственный авиационный технический университет. – Заявл. 13.06.2007 ; опубл. 27.10.2007.

7. Гусев, В. Г. Электроника : учеб. пособие для студентов приборостроительных специальностей вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. :

Высшая школа, 1991. – 622 с.

8. Левшина, Е. С. Электрические измерения физических величин : Измерительные преобразователи : учеб. пособие для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

9. Вострокнутов, Н. Г. Основы информационно-измерительной техники / Н. Г. Вострокнутов. – М., 1972. – 237 с.

10. Измерения в промышленности : справочник : пер. с нем. / под ред. П. Профоса. – М. : Металлургия, 1980. – 648 с

11. Ураксеев, М. А. Современные магнитооптические системы для измерения напряженности магнитного поля / М. А. Ураксеев, А. И. Мухаметзянова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т 17, № 14 (117). – С. 131–135.

12. Патент 2435141 РФ, МПК G01F 1/00, Измеритель расхода двухфазного потока сыпучих диэлектрических материалов, перемещаемых воздухом по металлическому трубопроводу / В. Г. Гуляев ; заявитель и патентообладатель Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Заявл. 12.05.2010 ; опубл. 27.11.2011.

УДК 539.193/.194;535/33.34

П. М. Элькин, В. В. Смирнов, О. А. Алыкова

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ЧАСТОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ГИДРОКСИЛЬНОГО ФРАГМЕНТА В ФЛАВОНОИДАХ

Астраханский государственный университет

kof@aspu.ru

Методом теории функционала плотности DFT (B3LYP) осуществлены квантовохимические расчеты геометрической структуры и колебательных спектров таутомеров и конформеров гидроксифлавона. Выявлены признаки спектроскопической идентификации соединений.

Ключевые слова: гидроксифлавоны, колебательные спектры, спектроскопическая идентификация.

P. M. Elkin, V. V. Smirnov, O. M. Alykova

COMPARED ANALYSIS OF MODELLING CALCULATIONS OF FUNDAMENTAL VIBRATIONS FOR HYDROXY FRAGMENTS OF FLAVONOIDS

Astrakhan State University

By means of the DFT (B3LYP) method, quantum chemical computations of spatial structure and vibrational spectra for tautomers and conformers of the hydroxyflavons have been carried out. The indications of the compounds spectroscopic identification have been revealed.

Keywords: hydroxyflavones, vibrational spectra, spectroscopic identification.

Введение

Флавоноиды (гидроксизамещенные флавоны и изофлавоны) – известный класс биомолекул природного происхождения. Научный и практический интерес к флавоноидам связан с изучением их влияния на сигнальные и регуляторные системы клетки, выяснением механизма биохимического и биофизического действия. Подробности изложены в монографии [1]. Решение подобных научных задач предусматривает исследование свойств веществ на молекулярном уровне, с использованием современных физико-химических методов исследования свойств молекулярных объектов.

Существует научная точка зрения, согласно которой основные физико-химические свойства вещества определяются формой адиабатического потенциала входящих в него молекулярных соединений. Возможность численной оценки параметров адиабатического потенциала предоставляют неэмпирические и гибридные методы квантовой механики молекул, программно реализованные в виде сервисных информационных технологий. К примеру, известный программный продукт «Gaussian» [2].

Достоверность полученной теоретической оценки параметров адиабатического потенциала обосновывается, как правило, хорошим сов-

падением модельных расчетов фундаментальных колебательных состояний исследуемых соединений с имеющимся экспериментом по их ИК- и КР-спектрам. Дополнительным аргументом является непротиворечивость полученных оценок устоявшейся интерпретации фундаментальных колебаний известных молекулярных фрагментов.

Имеющиеся в нашем распоряжении экспериментальные данные по колебательным спектрам для ряда флавонолов касаются лишь набора отдельных полос. Для примера сошлемся на публикации [3–6]. Поэтому предлагаемая в работах [7–11] интерпретация спектра фундаментальных колебаний ряда флавоноидов носит предсказательный характер. Их достоверность обоснована совпадением данных расчета и эксперимента и непротиворечивостью данным теоретического анализа колебательного спектра для бициклических соединений нафта-

заринowego ряда [12, 13] и гидроксизамещенных бензола [14]. Однако полученные в публикациях [7–11] результаты следует рассматривать как предварительные. Для предсказательных квантовых расчетов структуры и спектра флавоноидов необходимо исследовать влияние базиса расчета и исходного приближения для оптимизации геометрии, возможные погрешности численных методов оценки параметров адиабатического потенциала.

В данной публикации речь пойдет о сравнительном анализе частот фундаментальных колебаний гидроксильных фрагментов ряда моно-, ди-, три- и тетра- и пентагидроксизамещенных флавона (рис. 1), исследовании закономерностей в поведении полос соответствующих позиционных таутомеров флавоноидов, выявлении признаков спектральной идентификации конформеров соединений.

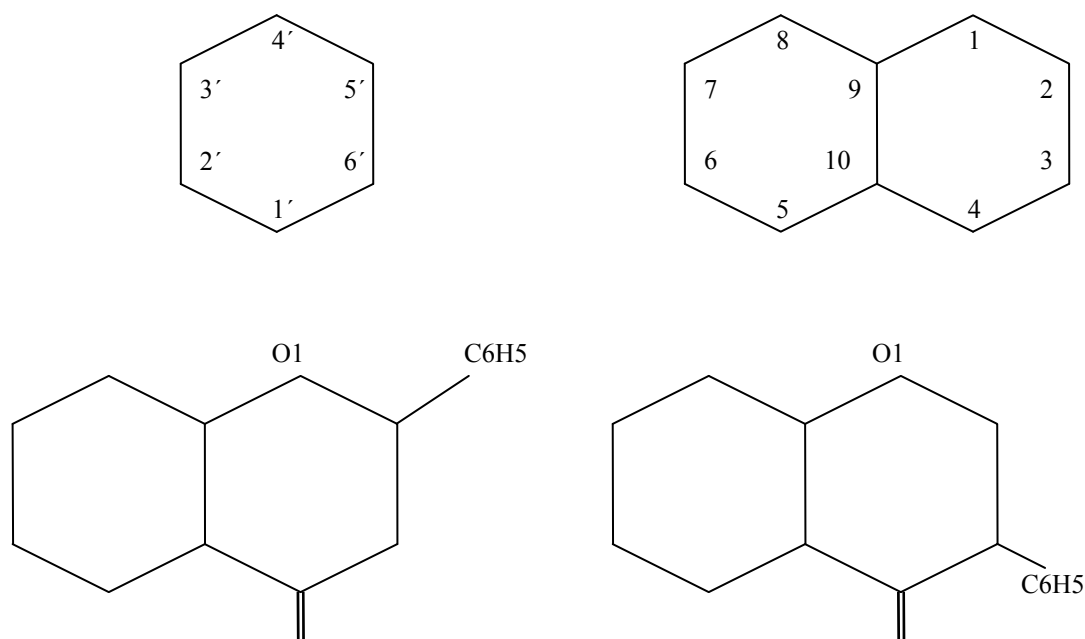


Рис. 1. Нумерация атомов в циклических фрагментах флавона и изофлавона

Результаты квантовохимических расчетов и их обсуждение

Воспроизведение частоты относительного внутреннего вращения бензольного и бициклического фрагментов (как один из критериев достоверности результатов расчета) достигается в случае исходной неплоской конфигурации (C1) рассматриваемых флавоноидов в задаче оптимизации геометрии. Для 3b позиции гидроксильной группы в флавоноидах (рис. 1) оптимизация исходной некомпланарной структуры приводит

к плоской конфигурации конформеров (Cs). К конформерам типа b отнесены те, для которых вектор связи **ОН** направлен в сторону увеличения нумерации атомов. Модельные расчеты дают следующие оценки углу между плоскостями бензольного и бициклического фрагмента: для гидроксифлавонов они располагаются в интервале $\sim 16\text{--}45^\circ$; правая граница соответствует ортопозициям гидроксильной группы в бензольном цикле относительно атома C1'; для гидроксизофлавонов этот интервал $\sim 37\text{--}52^\circ$.

Таблица 1

Интерпретация колебаний гидроксильного фрагмента в феноле

Форма колеб.	$\nu_{\text{жс}}$ [9]	6-311G**			6-311+G**			6-311++G**		
		$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР
qOH	3615-3656	3639	54	106	3643	61	107	3643	61	107
β, ν_{OH}	1341-1343	1330	35	0	1327	27	0	1327	27	0
ν_{CO}, β	1257-1261	1251	78	8	1239	92	13	1238	93	13
$\nu_{\text{OH}}, \beta, Q$	1176-1179	1165	138	5	1158	123	5	1158	123	5
β_{CO}	403-406	397	10	0	396	11	0	396	11	0
ρ_{CO}, χ	502-505	504	13	1	500	15	1	497	14	0
χ_{OH}	309-310	335	111	3	304	111	2	304	11	2

Примечание. Частоты колебаний – в см^{-1} ; интенсивности в спектрах ИК – в км/моль , в спектрах КР – в $\text{\AA}^4/\text{а.е.м.}$

Отметим, что в квантовых расчетах спектра фундаментальных колебаний, осуществленных для исходной неплоской геометрии флавонолов, смещение полос, интерпретированных как колебания циклических фрагментов, не превосходит величины $\sim 20 \text{ см}^{-1}$ [7–11]. При этом качественная оценка интенсивности полос сохраняется. Данный факт дал основание авторам публикаций [7–11] использовать известное в теории молекулярных колебаний приближение свободного внутреннего вращения и предположить, что весь набор колебаний можно условно разделить на колебания бензольного и сопряженного фрагментов. В этом случае для достоверности отнесения спектра фундаментальных колебаний флавонолов можно воспользоваться устоявшейся в практике спектроскопических расчетов интерпретации нормальных колебаний замещенных бензола, дифенила и нафталина [15]. На основании представленной в работах [7–15] интерпретация спектра фундаментальных колебаний флавоноидов предложены признаки спектральной идентификации конформеров соединений. Авторы отнесли их к дополнительным признакам, поскольку они касаются диапазона $1550\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$, где проявляются полосы, отнесенные к деформационным колебаниям связей ОН и СН (колебания валентных углов СОН). При этом энергетическая щель для ряда соседних полос (согласно модельным расчетам) указанного диапазона не превышает величины $\sim 20 \text{ см}^{-1}$. На эту величину могут отличаться расчеты частот фундаментальных колебаний в различных базисах метода функционала плотности [2]. Сказанное иллюстрируется данными, приведенными в табл. 1 для фенола.

Поэтому для достоверности предлагаемой спектроскопической идентификации указанные полосы представлены в виде дублета^(d) или триплета^(t) усредненной частоты и суммарной интенсивности. Однако при таком подходе число выявленных признаков идентификации по положению полос и их интенсивности превосходит число возможных конформеров конкретного рассматриваемого флавоноида [7–11]. Если в качестве признака спектральной идентификации конформеров используется относительная интенсивность полос в спектре ИК и КР, то из рассмотрения исключены полосы, для которых указанная интенсивность выше ~ 0.7 от максимума.

Как и в публикациях [7–11], положение и интенсивность полос, интерпретированных как валентные (ν_{OH}) и крутильные (χ_{OH}) колебания гидроксильного фрагмента, отнесены к доминирующим признакам спектроскопической идентификации флавоноидов. Указанные характеристики полос связаны с наличием для гидроксифлавонов (конформеры 5a, 3b, 8b, 2'a, 6'b) и гидроксиизофлавоноидов (конформеры 5a, 2b, 8b, 2'a, 6'b) внутримолекулярного взаимодействия по механизму водородной связи. В табл. 2 и 3 сказанное подтверждается известными закономерностями [16], связывающими характеристики полос, участвующих в образовании водородных связей, с длинами водородных связей. В образовании сильной внутримолекулярной водородной связи участвует конформер 5a ($R_{\text{OH}\cdots\text{O}=\text{C}} \sim 1.7 \text{ \AA}$). Образование средней водородной связи связано с конформером 3b ($R_{\text{OH}\cdots\text{O}=\text{C}} \sim 1.9 \text{ \AA}$). Слабая водородная связь проявляется для остальных вышеуказанных конформеров ($R_{\text{OH}\cdots\text{O}} \sim 2.1 \text{ \AA}$). Смещение

полосы в длиноволновый диапазон, интерпретированной как валентное колебание связи ОН гидроксильной группы ($\nu_{\text{ОН}}$), оценивается величиной $\sim 500 \text{ см}^{-1}$ в случае сильной водородной связи; $\sim 200 \text{ см}^{-1}$ для средней водородной связи. Для слабой водородной связи указанное смещение не превосходит величины $\sim 100 \text{ см}^{-1}$. Смещение в коротковолновый диапазон полосы, отнесенной к крутильному колебанию гидроксильного фрагмента ($\chi_{\text{ОН}}$), оценивается ве-

личины $\sim 400 \text{ см}^{-1}$ (при наличии сильной водородной связи) и $\sim 150 \text{ см}^{-1}$ (для средней водородной связи). Для слабой водородной связи смещение не превосходит величины $\sim 80 \text{ см}^{-1}$. Полученные теоретические оценки смещения полос валентных и крутильных колебаний гидроксильного фрагмента хорошо согласуются с экспериментальными данными для гидроксизамещенных 1,4-нафтохинона. За подробностями отсылаем к публикациям [12, 13].

Таблица 2

**Интерпретация валентных и крутильных колебаний гидроксильной группы
в моногидроксифлавонах и моногидроксиизофлавонах**

$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР
Конформеры моногидроксифлавона ($^{\text{с}}\text{R}_{\text{O1} \cdots \text{H}} = 1.86 \text{ \AA}$, $^{\text{д}}\text{R}_{\text{C}=\text{O} \cdots \text{HO}} = 2.03 \text{ \AA}$)														
2'a			3'a			4'a			5'a			6'a		
3626 ^с	295	146	3698	76	177	3690	99	252	3698	80	179	3693	77	153
521	71	3	338	108	4	362	111	4	327	110	4	354	100	3
2'b			3'b			4'b			5'b			6'b		
3694	67	125	3696	51	89	3692	101	262	3695	55	98	3629 ^д	122	107
340	75	2	340	109	2	359	111	4	338	108	3	475	68	3
Конформеры моногидроксифлавонов ($^{\text{а}}\text{R}_{\text{C}=\text{O} \cdots \text{HO}} = 1.96$, $^{\text{б}}\text{R}_{\text{C}=\text{O} \cdots \text{HO}} = 1.71 \text{ \AA}$)														
3a			5a			6a			7a			8a		
3654	70	99	3223 ^б	297	110	3694	78	151	3694	97	198	3696	76	138
432	52	13	813	47	3	353	113	2	355	108	3	330	51	2
3b			5b			6b			7b			8b		
3427 ^а	151	183	3640	67	202	3698	82	210	3692	70	131	3681	78	49
644	51	6	413	102	4	306	108	3	366	109	2	327	91	2
Конформеры таутомеров моногидроксиизофлавона ($^{\text{а}}\text{R}_{\text{C}=\text{O} \cdots \text{HO}} = 1.69 \text{ \AA}$)														
2'a			3'a			4'a			5'a			6'a		
3655	90	89	3697	47	98	3695	76	201	3697	67	170	3696	60	140
429	41	3	333	103	3	340	120	4	327	100	3	335	84	335
2'b			3'b			4'b			5'b			6'b		
3696	60	140	3697	68	175	3695	78	192	3692	52	91	3296 ^а	806	338
335	85	3	333	105	4	348	106	3	356	105	2	750	47	12
Конформеры моногидроксиизофлавонов ($^{\text{а}}\text{R}_{\text{C}=\text{O} \cdots \text{HO}} = 1.70 \text{ \AA}$)														
2a			5a			6a			7a			8a		
3664	132	137	3188 ^а	413	79	3694	69	117	3694	99	198	3696	85	179
346	83	3	839	88	1	360	115	3	362	109	3	332	90	3
2b			5b			6b			7b			8b		
3597	187	99	3677	62	172	3700	86	204	3692	85	173	3668	76	61
496	86	2	410	65	7	306	107	3	375	116	4	392	111	5

Таблица 3

**Интерпретация валентных и крутильных колебаний гидроксильной группы
в конформерах бициклического фрагмента флавоноидов**

Форма колеб.	5a7a			5a7b			5b7a			5b7b		
	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР
Крезин (5,7 дигидроксифлавоны)												
q5	3121	393	155	3147	409	130	3690 ^d	151	370	3687 ^d	139	311
q7	3692	100	194	3695	73	132						
χ^5	865	103	1	857	100	1	396	72	3	418	110	3
7χ	369	103	3	363	102	3	332	112	4	362	87	3
Апегинин (5,7, 4' тригидроксифлавоны)												
q5	3109	431	136	3136	432	155	3690 ^t	244	615	3692 ^t	235	562
q7,4'	3692 ^d	202	454	3693 [*]	172	387						
χ^5	867	102	1	859	99	1	392	69	3	414	103	3
$\chi^7,4'$	375 ^d	215	7	362 ^d	214	7	358 ^d	232	6	358 ^d	199	7
Лютеалин (5,7, 3',4' тетрагидроксифлавоны)												
q5	3109	417	148	3137	435	164	3705 ^d	161	277	3708 ^d	194	369
q7,3',4'	3694 ^t	100	191	3696 ^t	238	503	3668	207	374	3670 ^d	186	286
χ^5	871	112	1	862	102	1	392	70	3	414	108	3
$\chi^7,4'$	377	106	3	358 ^d	212	6	337	90	4	355	89	3
Кемферол (3,5,7, 4' тетрагидроксифлавоны)												
	3b5a7i4'			3a5a7i4'			3b5b7i4'			3a5b7i4'		
q3	3473	150	202	3655	68	79	3387	180	231	3657	65	88
q5	3260	348	110	3144	409	125	3692 ^t	260	646	3688 ^t	243	583
q7,4'	3694 ^d	196	496	3692 ^d	185	429						
χ^3	572	70	2	381	38	1	621	64	2	432	102	21
χ^5	794	96	3	857	78	1	387	63	2	396	98	2
$\chi^7,4'$	365 ^d	215	7	365 ^d	185	7	345 ^d	217	8	351 ^d	259	14
Квартецин (3,5,7, 3'4' пентагидроксифлавоны)												
	3b5a7i3'a4'b			3a5a7i3'a4'b			3b5b7i3'a4'b			3a5b7i3'a4'b		
q3	3477	151	210	3646	77	80	3385	177	240	3644	73	91
q5	3259	351	118	3140	410	136	3685	76	183	3681	59	187
q7,3'4'	3695	258	589	3693	255	501	3697	267	600	3694	236	443
χ^3	595	95	3	430	91	15	672	60	3	442	49	7
χ^5	797	95	2	855	82	1	380	72	2	415	96	2
χ^7	370	101	3	371	101	3	339	97	3	354	101	3

Представляет интерес и закономерность смещения полос, интерпретированных как проявление колебаний валентного угла СОН ($\nu_{\text{ОН}}$). Такая оценка на основании данных, приведенных в табл. 4, приводит к выводу, что смещение соответствующей полосы может достигать величины $\sim 150 \text{ см}^{-1}$ при наличии внутримолекулярного взаимодействия. Однако

следует иметь в виду, что колебания данного типа не являются характеристическими по форме колебаний (см. табл. 1). В диапазоне, где проявляются указанные колебания ($1530\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$), располагаются и полосы деформационных колебаний связей СН циклических фрагментов гидроксифлавонов и гидроксифлавонов.

Таблица 4

**Интерпретация деформационных колебаний гидроксильной группы
в конформерах позиционных таутомеров моногидроксифлавоны и изофлавоны**

Форма колеб.	А-конформер			В-конформер			Форма колеб.	А-конформер			В-конформер		
	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР		$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР
Моногидроксифлавоны													
β_3	1170	323	5	1406	211	77	β_2'	1359	27	6	1168	38	3
β_5	1474	213	50	1189	44	8	β_3'	1195	28	90	1190	29	171
β_6	1158	128	12	1160	143	16	β_4'	1168	334	91	1161	286	62
β_7	1200	24	36	1181	348	2	β_5'	1197	50	102	1177	187	15
β_8	1217	34	7	1204	144	6	β_6'	1173	28	6	1180	105	12
Моногидроксиизофлавоны													
β_2	1191	22	18	1308	100	139	β_2'	1172	82	4	1172	55	6
β_5	1477	112	11	1207	142	8	β_3'	1175	120	9	1171	96	5
β_6	1160	88	7	1185	46	23	β_4'	1167	246	28	1198	202	27
β_7	1167	240	1	1161	83	15	β_5'	1193	56	4	1179	133	5
β_8	1218	182	94	1225	82	109	β_6'	1172	55	6	1383	67	43

Следует отметить и тот факт, что оценки энергии электронной подсистемы конформеров явно указывают на доминирование тех, в которых проявляется внутримолекулярное взаимодействие.

Заключение

Проведенный сравнительный анализ характеристик полос, отнесенных к валентным и крутильным колебаниям гидроксильного фрагмента в флавоноидах, позволяет сделать следующие выводы. Указанные полосы могут служить спектроскопическими признаками спектральной идентификации конформеров флавоноидов, указывать на наличие внутримолекулярного взаимодействия. Характеристики полос можно предсказать модельными расчетами структуры и колебательных спектров соединений в рамках метода функционала плотности DFT/B3LYP. Проявляющиеся закономерности в их поведении имеют место и для родственных полифенольных соединений и хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными, что можно рассматривать как факт обоснования достоверности приведенных в работе результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю. С. Тараховский, Ю. А. Ким, Б. С. Абдраимов, Е. Н. Музафаров. Synchrobook. 2013. 310 с.

2. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. Gaussian 03, Revision B.03. Gaussian, Inc., Pittsburgh, PA, 2003.

3. Teslova T., Corredor Ch., Livingston R., Spataru T., Birke R.L., Lombardi J.R., Cañamares M.V., Leona M. Raman and surface-enhanced Raman spectra of flavone and several hydroxy derivatives // J. Raman Spectroscopy. 2007. Vol. 38, № 7. P. 802–818.

4. Vavra A., Linder R., Kleinermanns K. Gas phase infrared spectra of flavone and its derivatives // Chemical Physics Letters. 2008. Vol. 463, № 4–6. P. 349–352.

5. Cañamares M.V., Lombardi J.R., Leon M. Raman and surface enhanced Raman spectra of 7-hydroxy flavone and 3',4'-dihydroxy flavone // E-Preservation Science. Morana. 2009. Vol. 6. P. 81–88.

6. Corredor C., Teslova T., Canamares M.V., Chen Z., Zhang J., Lombardi J.N., Leona M. Raman and surface-enhanced Raman spectra of chresin, apeginin and luteolin // Vibrational spectroscopy. 2009. V.49. P.190–195.

7. Структурно-динамические модели флавоноидов. Моногидроксифлавоны / М. Д. Элькин, А. Р. Гайсина, Е. Ю. Степанович, И. Т. Шагаутдинова // Естественные науки. 2012. № 4 (41). С. 133–140.

8. Структурно-динамические модели кризина / М. Д. Элькин, А. Р. Гайсина, Е. А. Джамухамбетова, В. В. Смирнов, Е. Ю. Степанович, И. Т. Шагаутдинова // Естественные науки. 2013. № 1 (42). С. 105–111.

9. Элькин, М. Д. Моделирование структуры и спектров конформеров 3',4'-дигидроксифлавоны / М. Д. Элькин, А. Р. Гайсина, Е. А. Джамухамбетова, В. В. Смирнов, Е. Ю. Степанович, И. Т. Шагаутдинова // Естественные науки. 2013. № 1 (42). С. 111–118.

10. Элькин, М. Д. Структурно-динамические модели и спектроскопическая идентификация флавоноидов / М. Д. Элькин, А. Н. Панкратов А. Р. Гайсина // Изв. Саратов. ун-та. Новая серия. 2014, Т. 14. Серия: Химия, Биология, Экология. Вып. 2. С. 18–26.

11. Моделирование структуры и колебательных спектров лутеолина (5,7,3',4'-тетрагидроксифлавоны) / М. Д. Элькин, А. Р. Гайсина, Е. А. Джамухамбетова, В. В. Смирнов, Е. Ю. Степанович, И. Т. Шагаутдинова // Естественные науки. 2014. № 2 (43). С. 105–111.

кин, И. Т. Шагаутдинова, А. М. Лихтер, О. Н. Гречухина // Естественные науки. 2014. № 2 (47). С. 86–93.

12. Пулин, В. Ф. Компьютерное моделирование динамики и структуры спиназарина / В. Ф. Пулин, П. М. Элькин, Е. А. Эрман // Вестник Саратов. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 3 (46). – С. 98–105.

13. Элькин, М. Д. Колебательные спектры и структура спинохромов / М. Д. Элькин, Л. М. Бабков // Изв. Саратов. ун-та. Новая сер. Физика. 2012. Т. 12, № 2. С. 21–26.

14. Пулин, В. Ф. Моделирование адиабатических потенциалов гидроксизамещенных бензола / В. Ф. Пулин, П. М. Элькин, Е. А. Эрман // Вестник Саратов. гос. техн. ун-та. 2011. № 3 (57). Вып. 1. С. 91–98.

15. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука. 1970. – 560 с.

16. Зефилов, Ю. В. Новые применения ван-дер-ваальсовых радиусов в химии / Ю. В. Зефилов, П. М. Зоркий // Успехи химии. 1995. Т. 64, № 5. С. 446–461.

УДК 539.193/.194;535/33.34

П. М. Элькин, Е. Ю. Степанович, О. Н. Гречухина

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ α - и β -ЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗО-ГАММА-ПИРОНА

Астраханский государственный университет

stepekyr1@mail.ru

В рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP осуществлены модельные квантовые расчеты геометрической структуры и колебательных спектров α - и β -альдегидо-гидрокси и карбоксизамещенных бензо-гамма-пирона. Выявлены признаки спектральной идентификации соединений. Обосновывается возможность использования информационной технологии «Gaussian» в предсказательных расчетах структуры и спектров исследуемого класса полифенильных соединений.

Ключевые слова: замещенные бензо- γ -пирон, колебательные спектры, спектральная идентификация.

P. M. Elkin, E. Yu. Stepanovich, O. N. Grechuhina

STRUCTURAL-DINAMICS MODELS FOR α AND β - SUBSTITUTED BENZO-GAMMA-PYRONES

Astrakhan State University

An analysis of vibrational spectra and geometric structure for α and β - aldehyde- hydroxyl and carboxysubstituted benzo-gamma-pyrones is carried out by the method DFT/B3LYP. The indications of spectral identification are revealed. The possibility of informational technology «Gaussian» for employment in the predictional calculations of structural and spectra for researched polyphenyl compounds is motivated

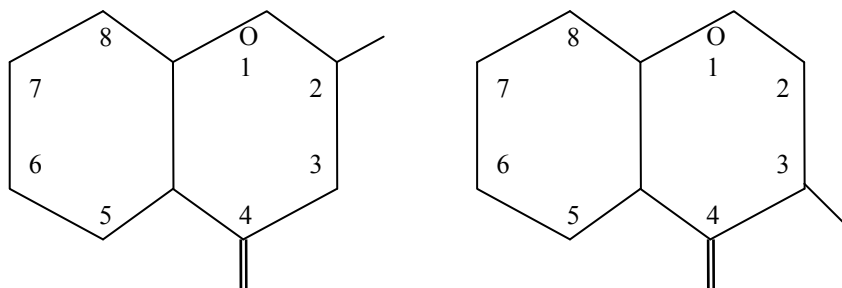
Keywords: substituted benzo-gamma-pyrones, vibrational spectra, spectral identification.

Введение

Теоретическая интерпретация спектра фундаментальных колебаний флавоноидов – полифенильных соединений растительного происхождения [1], основанная на результатах квантовомеханических модельных оценок параметров адиабатического потенциала (силовых постоянных), требует обоснования достоверности результатов численного эксперимента. Это, в первую очередь, связано с тем, что имеющиеся экспериментальные данные по колебательным спектрам ряда флавоноидов касаются лишь отдельных спектральных диапазонов. Для примера сошлемся на публикации [2–6]. Поэтому предлагаемая в работах [7–11] интерпретация спектра фундаментальных колебаний для ряда гидроксизамещенных флавоноидов (флавоноидов) носит предсказательный характер. С обоснованием достоверности полученных авторами результатов можно согласиться, однако вопрос об интерпретации спектра фундаментальных

колебаний бициклического фрагмента исследуемых флавоноидов требует дополнительного рассмотрения, поскольку в диапазоне 1700–1000 см⁻¹ проявляются дополнительно полосы деформационных колебаний как бензольного фрагмента флавоноидов, так и деформационные колебания связей гидроксильных групп.

В данном сообщении для решения задачи предсказательных возможностей квантовомеханических методов молекулярной динамики для интерпретации спектра фундаментальных колебаний флавоноидов и изофлавоноидов осуществлен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных для характеристик полос гармонических колебаний бициклического фрагмента 1,4-нафтохинона, бензо-гамма-пирона и ряда его α - и β -замещенных (альдегидо-, гидроксид-, карбокси-), флавоноидов и изофлавоноидов (рис. 1). Модельные расчеты осуществлены в рамках методики, предложенной в публикации [12], с использованием программного приложения [13].

Рис. 1. Диаграмма α - и β -замещенных бензо-гамма-пирона

Анализ спектра фундаментальных колебаний

Оптимизация геометрии молекул и расчет параметров адиабатического потенциала молекул осуществлялся в базисах 6-311G**, 6-311+G**, 6-311++G** [14]. Выбор базиса принципиального значения не имеет. Как показано в публикациях [7–11], максимальное смещение полос ($\sim 30 \text{ см}^{-1}$) имеет место для валентных и крутильных колебаний гидроксильных фрагментов, однако этот факт не сказывается на выборе признаков спектральной идентификации флавоноидов, с основным из которых относятся именно указанные колебания связей ОН. Однако уточним, что данные, представленные в табл. 1–4, относятся к базису 6-311G**.

Сопоставление модельных расчетов геометрических параметров рассматриваемых соединений представлено в табл. 1. Они касаются длин валентных связей и валентных углов бициклического фрагмента, для которых отклонение от параметров бензола превышает величину $0.02 \text{ \AA}$ и 2° . Отметим, что 1,4-нафтохинон, бензо-гамма-пирон обладают симметрией C_s , флавоон и изофлавоон имеют симметрию C_1 . Лишь в этом случае для них удастся воспроизвести частоту крутильного колебания бензольного цикла относительно бициклического фрагмента. Проявляющейся некомпланарностью атомов бициклического фрагмента можно пренебречь, как естественным результатом использования численных методов технологии «Gaussian» [14].

Таблица 1

Длина связей (R , $\text{\AA}$) и валентных углов (A , $^\circ$) в молекулах 1,4-нафтохинона (1,4-Н), бензо-гамма-пирона (БГП), флавоона (Ф) и изофлавоона (ИФ)

	1,4-Н	БГП	Ф	ИФ		1,4-Н	БГП	Ф	ИФ
$R(1,2)$	1.48	1.35	1.36	1.35	$A(3,2,X)$	122	125	126	123
$R(1,9)$	1.49	1.37	1.37	1.37	$A(2,3,4)$	122	121	123	119
$R(2,3)$	1.34	1.34	1.36	1.35	$A(4,3,X)$	115	119	117	122
$R(3,4)$	1.48	1.46	1.46	1.48	$A(3,4,10)$	117	113	114	114
$R(4,10)$	1.49	1.48	1.48	1.48	$A(3,4,O)$	121	124	123	124
$R(4,O)$	1.22	1.22	1.22	1.22	$A(10,4,O)$	122	123	123	122
$A(1,2,3)$	117	125	122	126	$A(1,9,8)$	120	117	117	117
$A(1,2,X)$	115	111	112	111	$A(10,5,H)$	118	117	117	117

Сравнение результатов модельных расчетов спектра фундаментальных колебаний 1,4-нафтохинона и бензо-гамма-пирона с имеющимися данными экспериментальной интерпретации в диапазоне 1700–750 приведено в табл. 2. Полосы низкой интенсивности из рассмотрения исключены, как не представляющие интерес для спектральной идентификации соединений. Име-

ющееся хорошее соответствие в частотах гармонических колебаний, отнесенных к валентным связям и валентным углам бициклического фрагмента, следует считать надежным обоснованием достоверности квантовых расчетов. Различие в интенсивности полос следует рассматривать как локальное влияние связи $C1=O$ на электронную структуру шестичленного цикла.

Таблица 2

Интерпретация колебаний в молекулах 1,4-нафтохинона и бензо-гамма-пирона

Форма колеб.	$\nu_{\text{экс}}$ [21]	$\nu_{\text{выч}}$	1,4-НХ		БГП		Форма колеб.	$\nu_{\text{экс}}$ [21]	$\nu_{\text{выч}}$	1,4-НХ		БГП	
			ИК	КР	ИК	КР				ИК	КР	ИК	КР
$\text{Q}_{\text{C=O}}$	1680	1686	360 ^d	213 ^d	344	57	β, Q	1292	1274 ^d	260 ^d	30 ^d		
Q, β, γ	1604	1612	29	9	98 ^d	61 ^d	β, Q	1159	1152	0	10		
Q, β, γ	1586	1574	61	62	10	17	β, Q	1144	1129	30	49		
β, Q	1460	1454	1	2	97 ^d	3 ^d	β, Q		1118			25	10
β, Q	-	1387			48	4	β, Q	1042	1040 ^d	17 ^d	8 ^d	16	24
β, Q	1374	1347	3	20			β, Q	1011	1007	39	22	19	3
β, Q	1325	1325	12	2	71	22	Q, γ	692	682	2	9	1	21
β, Q	-	1305			119	4	ρ, χ	769	764	84	0	52	0

Примечание. Частоты колебаний – в см^{-1} ; интенсивности в спектрах ИК – в км/моль ; в спектрах КР – в $\text{\AA}^4/\text{а.е.м.}$ Индексами ^d и ^t помечены дублиеты полос.

Данные, приведенные в табл. 3, позволяют считать, что результат предложенного отнесения частот фундаментальных колебаний для изофлавона является достоверным, а влияние замещения атома водорода в 2- и 3-положениях бензо-гамма-пирона на бензольный фрагмент

(что и приводит, соответственно, к молекулам флавонола и изофлавонола) носит локальный характер. Сказанное подтверждается сравнением характеристик полос валентных и деформационных колебаний бициклического фрагмента в табл. 2 и 3.

Таблица 3

Интерпретация колебаний в молекулах флавонола и изофлавонола

Форма колеб.	$\nu_{\text{экс}}$ [22]	$\nu_{\text{выч}}$	Флавонол		Изофлавонол		Форма колеб.	$\nu_{\text{экс}}$ [22]	$\nu_{\text{выч}}$	Флавонол		Изофлавонол	
			ИК	КР	ИК	КР				ИК	КР	ИК	КР
$\text{Q}_{\text{C=O}}$	1634	1678	439	211	231	93	Q, β	1326	1325	22	31	187 ^t	116 ^t
Q, β	1611	1604 ^t	151	1188	104	689	Q, β	1280	1298	54	1	–	–
Q, β, γ	1592	1566	42	224	33 ^d	59 ^d	β, Q	–	1267	5	59	67 ^d	71 ^d
β	1504	1488	17	29	17	21	β, Q	1239	1222	23 ^d	254 ^d	94	75
β, Q, γ	1452	1460 ^d	108	20	130	9	Q, β	1210	1204	36	86	12	38
Q, β	1439	1443	24	23	8	6	Q, γ	1003	997	11	109	15 ^d	125 ^d
Q, β	1361	1352	354	122	51	11	χ, ρ	–	769	59	2	89	1

Мы не располагаем экспериментальными данными по колебательным спектрам гидроксизамещенных бензо-гамма-пирона, а потому данные табл. 4, относящиеся к интерпретации колебательного спектра 2-(альфа) и 3-(бетта) моногидроксизамещенных бензо-гамма-пирона, следует считать предсказательными. Достоверность указанных данных можно обосновать общим характером поведения полос валентных и деформационных колебаний связей бициклического фрагмента при замещении в указанных положениях. Достаточно сопоставить характеристики полос, представленных в табл. 3 и 4. Следует только учесть, что для конформера 3b моногидроксизамещенного бензо-гамма-пирона имеет место внутримолекулярное взаимодей-

ствие между атомом водорода гидроксильного фрагмента и связью C4=O . Механизмом этого взаимодействия является водородная связь. Данный вопрос подробно освещен в публикациях [7–11], посвященных спектроскопической идентификации гидроксизамещенных флавонолов.

Общей закономерностью колебательных спектров бензо-гамма-пирона, флавонола, изофлавонола и их замещенных соединений является низкая интенсивность большинства полос в диапазоне ниже 1000 см^{-1} . Исключение составляют активные в ИК-спектре полосы, отнесенные к крутильным колебаниям гидроксильных фрагментов. Подробности изложены в публикациях [7–11]. В данный диапазон попадают

деформационные колебания валентных углов циклических фрагментов (γ), деформационные колебания валентных углов связей заместителя β_{C-X} ($X = HC=O, OH, HOC=O, C_6H_5$), неплоские деформационные колебания связей $CH(\rho)$, крутильные колебания связей шестичленных циклов (χ). Перечисленные колебания, как правило, делокализованы по форме. Использование полос указанного диапазона в качестве призна-

ков спектральной идентификации соединений, содержащих бициклические фрагменты, не представляется возможным.

Валентные колебания связей циклических фрагментов попадают в интервал $1700-1560\text{ см}^{-1}$, что характерно для шестичленных циклических и азациклических соединений различных классов [15–20]. В этот интервал попадает и полоса валентного колебания связи $C=O$.

Таблица 4

**Интерпретация колебаний циклического фрагмента
в конформерах α - β -замещенных бензо-гамма-пирона**

Форма колеб.	$\nu_{\text{выч}}$	$2(\alpha)\text{-OH}$				$2(\alpha)\text{-HC=O}$				$2(\alpha)\text{-HO-C=O}$			
		Ка		Кб		Ка		Кб		Ка		Кб	
		ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
$q_{C=O}, \gamma$	1686	377	49	334	44	313	120	321	118	338	102	335	116
Q, β, γ	1661	231	33	349	38	—	—	—	—	—	—	—	—
Q, β, γ	1610	45	36	49	26	129 ^d	260 ^d	93 ^d	155 ^d	118 ^d	122 ^d	93 ^d	180 ^d
Q, β, γ	1572	22	13	71	12	8	40	3	47	6	40	4	38
β, Q, γ	1460 ^d	63	5	91	3	87	7	95	6	102	5	94	5
β, Q, γ	1429	—	—	242	1	—	—	—	—	—	—	—	—
β, Q, γ	1386	—	—	—	—	—	—	—	—	38	36	147	25
Q, β	1321	10	15	3	18	88	6	4	24	104	15	96	16
β, Q	1285	27	4	82	2	—	—	—	—	15	1	1	2
β	1258	77	2	275	1	0	1	52	0	—	—	—	—
β, Q, γ	1205	13	25	30	30	16	55	36	38	51	39	18	46
β	1156	174	11	—	—	6	2	4	4	134	18	311	27
β, Q_{CC}	1140	7	5	1	3	8	50	0	42	115	32	7	4
β, q_{CC}	1108	28	4	17	5	84	2	60	5	—	—	—	—
γ, β	1074	3	1	2	2	7	4	18	2	74	3	11	9
β, Q	1024	9	24	8	23	12	28	14	25	5	26	3	26
γ	964	36	1	30	1	27	4	58	6	—	—	—	—
γ	850	24	2	2	2	19	3	56	4	16	3	30	3
ρ, χ	770	47	0	107	0	15	0	18	0	2	0	1	0
ρ, χ	754	33	1	1	1	52	0	50	0	97	1	105	0
		$3(\beta)\text{-OH}$				$3(\beta)\text{-HC=O}$				$3(\beta)\text{-HO-C=O}$			
$Q_{C=O}, \gamma$	1695	298	61	—	—	103	14	325	64	233	65	94	16
$Q_{C=O}, \gamma$	1654	—	—	328 ^d	167 ^d	—	—	—	—	—	—	—	—
Q, β, γ	1628	43	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q, β, γ	1605	62	36	75	67	159	121	196	171	157	144	123	111
Q, β, γ	1564	1	26	2	31	64	9	160	29	122	18	69	10
β, γ, Q	1460 ^d	107	8	67	16	119	1	148	2	123	1	111	1
	1419	24	2	113	2	—	—	—	—	—	—	—	—
	1364	—	—	—	—	—	—	—	—	31	14	191	9
β, γ, Q	1338	11	19	45	22	84	24	22	29	50	29	154	9
Q, β	1308	11	14	61	21	226	13	205	8	203	4	145	2
	1279	72	7	155	6	—	—	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 4

Форма колеб.	$\nu_{\text{выч}}$	2(α)-ОН				2(α)-НС=О				2(α)-НО-С=О			
		Ка		Кб		Ка		Кб		Ка		Кб	
		ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
β,Q	1254	—	—	—	—	25	7	36	5	16	1	42	3
	1222	38	22	8	25	—	—	—	—	—	—	—	—
β	1205	112	7	227	2	22	47	12	38	35	51	10	53
Q,β,β _{ОН}	1165	—	—	—	—	12 ^d	7 ^d	17	16	110	9	136	12
β,β _{ОН} ,Q	1141 ^d	31	7	141	5	12	7	11	9	25	5	45	3
β	1096	27	3	22	3	12	5	10	3	53	1	26	9
γ,β	1024	1	23	1	20	6	23	6	26	3	26	1	30
γ	766	—	—	—	—	45	15	94	9	—	—	—	—
	745	3	18	3	23	—	—	16	22	25	18	16	18
ρ,χ	759	65	0	66	0	69	0	70	0	109	0	90	0

При отсутствии внутримолекулярного взаимодействия атома кислорода этой связи с атомом водорода в фрагменте-заместителе щель между указанной полосой и полосами, отнесенными к валентным колебаниям связей колец может достигать величины $\sim 50 \text{ см}^{-1}$. Интенсивность полос в ИК- и КР-спектрах доминирует над всеми остальными в указанном диапазоне. Этот факт следует использовать как признак спектральной идентификации конформеров соединений.

При наличии внутримолекулярного взаимодействия щель между полосами уменьшается, имеет место делокализация формы колебания и перераспределение интенсивностей полос. В этом случае отнесение по форме носит условный характер.

В диапазоне $1500\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$ проявляются деформационные колебания связей СН циклических фрагментов (β) и деформационные колебания гидроксильных фрагментов (β_{ОН}). Делокализация форм колебаний не позволяет отнести часть полос этого диапазона к конкретному фрагменту. Однако прослеживается следующая закономерность. При наличии внутримолекулярного взаимодействия между гидроксильным фрагментом и связью С=О полосы, условно отнесенные к деформационным колебаниям гидроксильного фрагмента (по доминирующей форме колебаний), смещаются в коротковолновый диапазон спектра. Такое смещение может достигать величины $\sim 150 \text{ см}^{-1}$. Как правило, полосы интенсивны в ИКС.

Заключение

Представленные результаты модельных расчетов колебательных спектров бензо-гамма-

пирона, его альфа- и бетазамещенных дают основание утверждать, что предсказательные расчеты структуры и колебательных спектров соединений данного класса следует считать достоверными и использовать полученные данные в задачах спектроскопической идентификации позиционных таутомеров и конформеров гидроксизамещенных флавоноидов и изофлавоноидов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю. С. Тараховский, Ю. А. Ким, Б. С. Абдраимов, Е. Н. Музафаров // *Synchrobook*. 2013. 310 с.
2. *Heneczowski, M.* Infrared spectrum analysis of some flavonoids / M. Heneczowski, M. Kopacz, D. Nowak, A. Kuźniar // *Acta Polon. Pharm. – Drug Research*. 2001. Vol. 58, № 6. P. 415–420.
3. *Canamares, M.V.* Raman and surface-enhanced Raman spectra of 7-hydroxyflavone and 3',4'-dihydroxyflavone / M.V. Canamares, J.R. Lombardi, M. Leona // *Morana RDD*. 2008. N.3. P. 81–88.
4. *Sundaraganesun, N.* Molecular structure and vibrational spectroscopic studies of chrysin using HF and density functional theory / N. Sundaraganesun, G. Mariappan, S. Monoharan // *Spectrochim. Acta*. 2012. Vol. 72A, № 2, P. 67–76.
5. *Corredor, C.* Raman and surface-enhanced Raman spectra of chresin, apeginin and luteolin / C. Corredor, T. Teslova, M.V. Canamares, Z. Chen, J. Zhang, J.N. Lombardi, M. Leona // *Vibrational spectroscopy*. 2009. V.49. P. 190–195.
6. *Vavra, A.* Gas phase infrared spectra of flavone and its derivatives / A. Vavra, R. Linder, K. Kleinermans // *Chem. Phys. Letters*. 2008, Vol. 463. P. 349–352.
7. Структурно-динамические модели кризина / М. Д. Элькин, А. Р. Гайсина, Е. А. Джалмухамбетова, В. В. Смирнов, Е. Ю. Степанович, И. Т. Шагаутдинова // *Естественные науки*. – 2013. – № 1 (42). – С. 105–111.
8. Моделирование структуры и спектров конформеров 3',4'-дигидроксифлавоноидов / М. Д. Элькин, А. Р. Гайсина, Е. А. Джалмухамбетова, В. В. Смирнов, Е. Ю. Степанович, И. Т. Шагаутдинова // *Естественные науки*. – 2013. – № 1 (42). – С. 111–118.

9. Шагаутдинова, И. Т. Моделирование структуры и динамики конформеров лютеалина / И. Т. Шагаутдинова, Д. М. Нуралиева, М. Д. Элькин // Мат-лы Международной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике SFM-2013. – Саратов : Новый ветер, 2013. – С. 165–170.
10. Структурно-динамические модели флавоноидов. 1. Флаван C15O2H10 / М. Д. Элькин, И. Т. Шигаутдинова, В. В. Смирнов, Д. М. Нуралиева, А. М. Лихтер, А. Р. Гайсина // Естественные науки, 2012. – № 37(3). – С. 161–167.
11. Структурно-динамические модели флавоноидов. Моногидроксифлавоны / М. Д. Элькин, А. Р. Гайсина, А. М. Лихтер, Д. М. Нуралиева, В. В. Смирнов, Е. Ю. Степанович, И. Т. Шагаутдинова // Естественные науки. – 2012. – № 4 (41). – С. 133–140.
12. Математическое моделирование колебательных состояний молекулярных систем / П. М. Элькин, Е. А. Эрман, О. Н. Гречухина, М. В. Карташов // Известия Волгоградского гос. техн. ун-та. Серия. Актуальные проблемы управления, выч. техники и информатики в техн. системах. – 2011. – № 9 (82), вып. 11. – С. 50–55.
13. Эрман, Е. А. Программно-алгоритмическая поддержка задач молекулярного моделирования / Е. А. Эрман, П. М. Элькин, Г. П. Стефанова, Н. А. Равчеева // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2012. – № 10 (97), вып. 14. – С. 63–67.
14. Frisch, M.J. Gaussian / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel // et al. 2003. Pittsburg PA. Inc.
15. Пулин, В. Ф. Моделирование адиабатических потенциалов гидроксизамещенных бензола / В. Ф. Пулин, П. М. Элькин, М. А. Эрман // Вест. Саратов. гос. техн. ун-та. 2011. № 3 (37). С. 91–95.
16. Математическое моделирование структуры и динамики димеров урацила и азаурацилов / П. М. Элькин, М. А. Эрман, В. М. Карташов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2012. – № 10 (97), вып. 14. – С. 55–63.
17. Компьютерное моделирование внутримолекулярного взаимодействия в эхинохроме / Е. А. Эрман, П. М. Элькин // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2010. – № 6(66), вып. 8. – С. 41–46.
18. Эрман, Е. А. Математическое моделирование структуры и динамики димеров ацетилсалициловой кислоты / Е. А. Эрман, П. М. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2012. – № 4 (91), вып. 13. – С. 31–36.
19. Элькин, М. Д. Моделирование структуры дофимина и адреналина / М. Д. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова, А. Р. Гайсина, О. М. Алыкова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2012. – № 10 (97), вып. 14. – С. 47–55.
20. Элькин, М. Д. Модельные расчеты колебательных состояний тринитротолуола, тринитротриазина, гексогена / М. Д. Элькин, В. В. Смирнов, О. М. Алыкова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2012. – № 4 (91), вып. 13. – С. 21–26.
21. Элькин, М. Д. Компьютерное моделирование геометрической структуры и колебательных состояний спиназарина / М. Д. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова, И. И. Гордеев // Прикаспийский журнал: высокие технологии и управление. 2009. № 3 (7). С. 48–54.
22. Erdogdu, Y. Vibrational analysis of flavone / Y. Erdogdu, O. Unsalan, M. T. Gulluoglu, J. Turk // Phys. 2009. V. 33. P. 249–259.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.932.4

В. Ю. Агафонов

МЕТОДЫ МНОГОКАДРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Волгоградский государственный технический университет

agafonov.vladislav@gmail.com

В статье описаны методы многокадровой обработки, применяемые для повышения качества изображений. Разработана автоматизированная система повышения качества цифровых изображений, использующая информацию с нескольких изображений. Приведены результаты экспериментальных исследований, которые показали ее работоспособность и возможность практического применения.

Ключевые слова: повышение качества изображений, многокадровая обработка.

V. U. Agafonov

MULTIFRAME PROCESSING METHODS OF IMPROVING QUALITY OF IMAGE

Volgograd State Technical University

The paper describes methods of multiframe processing used to improve image quality. Automated system was developed to improve the quality of digital images, which uses information from multiple images. The experimental results showed efficiency and the possibility of practical application.

Keywords: image quality, multi-frame image processing.

В процессе регистрации цифрового изображения существуют естественные потери пространственного разрешения, вызванные оптическими искажениями; размытость при движении из-за ограниченной скорости затвора; шум, который образуется внутри сенсора. Это приводит к уменьшению детальности и ухудшению восприятия малоразмерных объектов. Разработка методов цифровой обработки изображений, позволяющих устранить этот недостаток, является актуальной задачей.

Целью работы является повышение качества цифровых изображений за счет использования нескольких изображений одной сцены.

Понятие качества изображений

Качество – это характеристика изображения, которая оценивает деградацию изображения, воспринимаемую человеком [8]. Существует несколько методов, которыми можно объективно измерить качество изображений. Они могут быть классифицированы на два типа: full-reference и no-reference. В первом случае качест-

во тестового изображения оценивается путем сравнения его с эталонным изображением, которое имеет отличное качество. Во втором случае методы пытаются оценить качество изображения без каких-либо ссылок на оригинал. В данной работе качество полученного изображения будет определяться как отличие от оригинала.

Методы повышения качества изображений

Существует два принципиально разных способа повышения качества цифровых изображений. Первый способ подразумевает повышение качества аппаратной части. Он включает в себя улучшение оптических систем, повышение мощности процессоров и т. д. Все это связано с удорожанием аппаратной части. Также более мощные системы становятся более громоздкими, следовательно, их невозможно встроить в мобильные системы. Второй способ подразумевает повышение качества изображений программно. Этот способ не ведет к удорожанию и увеличению размеров аппаратной части, поэтому является более актуальным.

В настоящее время существует множество методов повышения качества изображений. Большинство из них основано на обработке одного изображения путем применения различных фильтров, которые убирают шумы, делают изображение более четким, или на интеллектуальном анализе сцены [10]. Основной целью традиционных методов восстановления изображения является его реконструкция, при этом все размеры сохраняются. Но в связи с тем, что количество информации на изображении остается постоянным, при помощи данных методов нельзя добиться идеального качества. В данной работе рассмотрен абсолютно иной подход к повышению качества изображений, основанный на обработке нескольких изображений.

Эти методы используют информацию сразу с нескольких изображений, поэтому результирующее изображение высокого разрешения содержит в себе больше полезной информации. Актуальность исследований по данному направлению определяется тем, что здесь не требуется решение сложных технологических проблем, связанных с созданием новых сканирующих устройств, а повышение качества изображений, главным образом, достигается за счет комплексирования различных данных.

Математическая модель деградации изображения

Рассмотрим изображение высокого разрешения размера $(N_1 \cdot L_1 \times N_2 \cdot L_2)$ и обозначим его как x . Параметры L_1 и L_2 представляют собой коэффициенты дискретизации изображения в данной модели наблюдения по горизонтальному и вертикальному направлениям соответственно. Получаем, что каждое наблюдаемое нами изображение с низким разрешением име-

ет размер $N_1 \times N_2$. Запишем исходное изображение высокого разрешения как

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T,$$

где $N = (N_1 \cdot L_1 \times N_2 \cdot L_2)$, и i -е изображение низкого разрешения $y_i = [y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iM}]^T$, где $M = N_1 \times N_2$. Учитывая все искажения, которые могут возникнуть при регистрации изображения, модель наблюдения может быть представлена следующим образом:

$$y_i = DH_i F_i x + N_i, \quad (1)$$

где F_i – матрица геометрической деформации размером; H_i – матрица искажений размером; D – матрица дискретизации размером; N_i – шумовая составляющая [1].

Задача повышения качества изображения при многокадровой обработке ставится как решение:

$$x_r = \arg \min_x \sum_i \|DH_i F_i x + N_i - y_i\| \quad (2)$$

Методы многокадровой обработки для повышения качества изображений

Для получения изображения высокого разрешения выделяются три этапа: регистрация, интерполяция и восстановление. Регистрация изображения – это оценка параметров движения сцены от кадра к кадру. Процесс оценки параметров межкадрового движения заключается в определении параметров геометрического преобразования между наблюдаемыми изображениями с низким разрешением и некоторой базовой системой координат. Важным фактором для успешного повышения разрешения является точная оценка параметров движения сцены на кадрах, поэтому методы регистрации должны обеспечить субпиксельную точность.

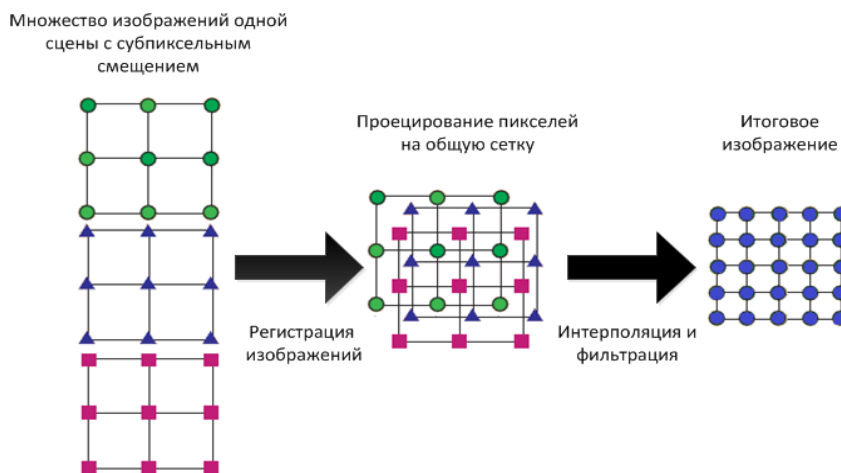


Рис. 1. Обобщенная схема многокадровой обработки для повышения качества изображений

На этапе интерполяции производится объединение всех изображений низкого разрешения с последующей интерполяцией на координатную сетку изображения с высоким разрешением. После этого применяются методы восстановления для устранения частотных и шумовых искажений. Методы отличаются друг от друга различными подходами в реализации этих этапов.

Обобщенная технологическая схема представлена на рис. 1. Имеется последовательность изображений некоторой сцены с низким разрешением. Все они имеют незначительное смещение друг относительно друга. Для начала проводится оценка межкадрового движения сцены. С помощью полученных оценок неоднородно распределенные пиксели размещаются на координатной сетке изображения с высоким разрешением. Затем одним из методов интерполяции вычисляются равномерно распределенные пиксели изображения с высоким разрешением. По наблюдаемым изображениям производится оценка частотно-шумовых искажений. После этого решается традиционная задача восстановления изображения.

Итерационный метод iterative back projection (IBP)

Имеется последовательность, состоящая из K изображений с низким разрешением $y_1, \dots, y_K$ размера $N_1 \times N_2$. Необходимо построить изображение x размера $(L_1 \cdot N_1) \times (L_2 \cdot N_2)$, которое минимизировало функцию ошибки

$$E(x) = \sum_{i=1}^K \|P_i(x) - y_i\|, \quad (3)$$

где $\|\cdot\|$ является любой нормой; $P_i(x)$ – это проекция изображения x на координатную сетку изображения y_i .

Построение изображения с высоким разрешением основывается на итерационном подходе. Выбирается произвольное начальное приближение изображения с высокой разрешающей способностью $x^{(0)}$, после этого моделируется процесс формирования изображения для получения набора изображений с низким разрешением $y_k^{(0)}$. Разность $\{y_k - y_k^{(0)}\}$ используется для уточнения начального приближения, и итерационный процесс продолжается до минимизации функции ошибки. Если получается так, что на j итерации $x^{(j)}$ является «правильным» решением, то имитируемые изображения $\{y_k^{(j)}\}$ должны быть абсолютно идентичны изображениям y_k . Математически можно описать метод IBP следующей итерационной схемой [2, 7]:

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} + \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K F_k^{-1} \left(\left((y_k - y_k^{(n)}) \right) \uparrow s \right) * h, \quad (4)$$

где $x^{(n)}$ и $x^{(n+1)}$ – это изображения высокого разрешения на n и $n+1$ итерациях; K – количество изображений низкого разрешения; y_k – k -е изображение низкого разрешения; $y_k^{(n)}$ – k -е изображение низкого качества, полученное на n -й итерации из изображения $x^{(n)}$; F_k – оператор геометрического преобразования, связывающий изображения x и y_k ; h – ядро функции рассеивания точки; $\uparrow s$ – оператор повышения размеров изображения.

Метод Fast Super Resolution (Fast SR)

Поиск решения (2) может занять большое количество времени, а очень часто важно получить быструю аппроксимацию задачи. Алгоритм Fast SR быстро решает эту проблему и состоит из следующих шагов [3]:

1) зафиксировать первое изображение y_1 и вычислить смещение между y_1 и y_k ; $k = 2, 3, \dots, n$; n – это количество различных изображений. Смещение между y_1 и y_1 нулевое;

2) повысить разрешение каждого изображения, учитывая их смещение относительно первого изображения, т. е. сделать так, чтобы изображение максимально совпадало с первым:

$$Y_k = F_k U y_k, \quad (5)$$

где U – оператор повышения разрешения, основанный на функции Гаусса. Основа данного алгоритма заключается в быстром вычислении $F_k U$;

3) усреднить полученные изображения

$$X = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y_k; \quad (6)$$

4) повысить четкость изображения.

Для повышения разрешения используется оператор повышения разрешения, основанный на функции Гаусса. Метод Гаусса для изменения масштаба изображения с масштабирующим коэффициентом p выглядит следующим образом:

$$W_k = \frac{\sum_{(x_i, y_i) \in \Omega} e^{\frac{-(x-x_i)^2 - (y-y_i)^2}{2\sigma^2}} w_k(x_i, y_i)}{\sum_{(x_i, y_i) \in \Omega} e^{\frac{-(x-x_i)^2 - (y-y_i)^2}{2\sigma^2}}}, \quad (7)$$

где w_k – изображение низкого разрешения; W_k – изображение высокого разрешения; σ – радиус

фильтра Гаусса (выбран равным 0.4); (x_i, y_i) – это значение пикселей, где w_k известен.

Применение искажающего оператора F_k является сдвигом известных значений (x_i, y_j) на величину вектора смещения:

$$W_k(px, py) = \frac{\sum_{\Omega} e^{\frac{-(x-x_i+u_{i,j})^2 - (y-y_2+v_{i,j})^2}{2\sigma^2}} w_k(x_i, y_i)}{\sum_{\Omega} e^{\frac{-(x-x_i+u_{i,j})^2 - (y-y_2+v_{i,j})^2}{2\sigma^2}}} \quad (8)$$

Для быстрого вычисления числитель и знаменатель этой дроби представляются в виде свертки дельта-функции с фильтром Гаусса [4]. В дискретной форме мы формируем два изображения (W_k^* и W_k^{**}), изначально заполненные нулями. Далее для каждой точки (x_i, y_j) из w_k вычисляются ее координаты в изображении высокого разрешения W_k :

$$(x_i, y_j) \rightarrow (p(x_i - u_{i,j}), p(y_i - v_{i,j})) (x_{i,j}^*, y_{i,j}^*) \quad (9)$$

После этого значения $w_k(x_i, y_j)$ добавляются к $W_k^*(x_{i,j}^*, y_{i,j}^*)$, и единица к $W_k^{**}(x_{i,j}^*, y_{i,j}^*)$. Если координаты $(x_{i,j}^*, y_{i,j}^*)$ не целочисленные, тогда значения свертки с дельта-функцией аппроксимируются как сумма дельта-функций, определенных в целочисленных координатах, с использованием билинейной интерполяции [5, 6].

Когда изображения W_k^* и W_k^{**} сформированы, к ним применяется фильтр Гаусса. Далее W_k^* делится поэлементно на W_k^{**} :

$$W_k = \frac{W_k^*}{W_k^{**}} \quad (10)$$

Сравнение качества работы методов

Рассмотрим результаты работы методов. Для всех методов на вход подавался набор из шести низкокачественных изображений низкого разрешения. Тесты были получены с использованием искусственного генератора изображений низкого разрешения. Для существования субпиксельного разрешения небольшие участки были вырезаны из оригинального изображения с произвольным сдвигом. После этого все полученные тестовые изображения были сжаты в несколько раз, так что часть информации была утеряна. Для сравнения двух изображений были использованы метрики PSNR и MSSIM [9].

Из рис. 2 видно, что изображения, полученные методами многокадровой обработки, визуально более качественные. Изображение, полученное методом билинейной интерполяции одного из изображений низкого разрешения, не является читаемым из-за низкой детализации. Метод Fast SR повысил детализацию изображения, и номерной знак стало можно прочитать, однако изображение остается нечетким. Итерационный метод IBP показывает наилучшие результаты: изображение более четкое, номерной знак можно полностью прочитать.

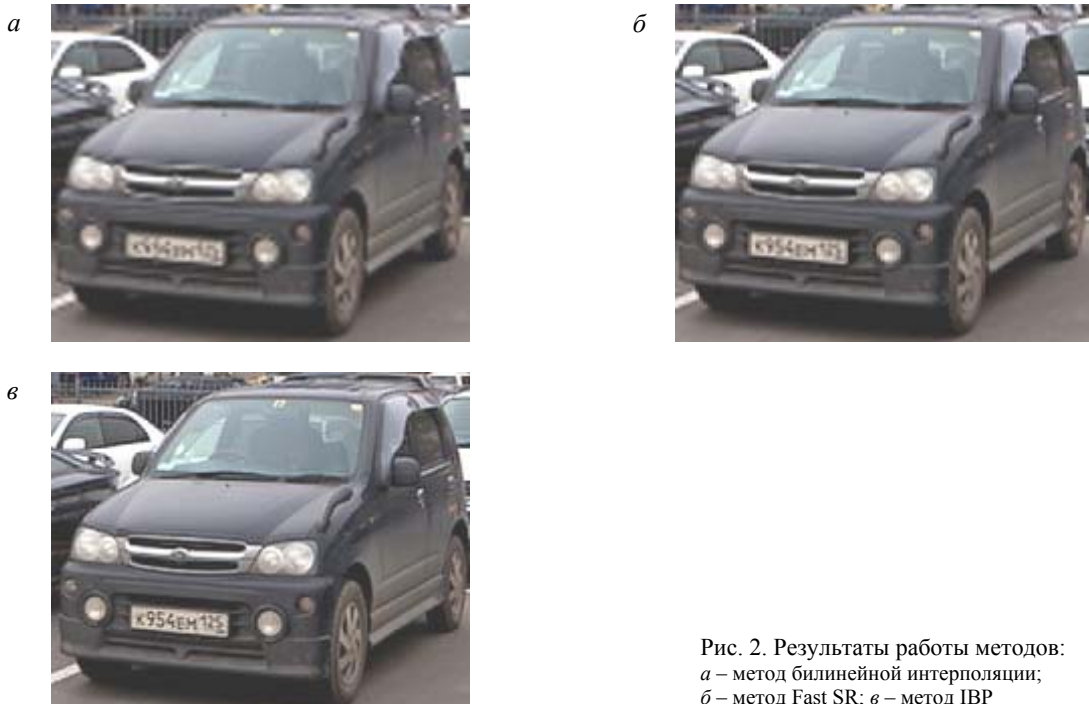


Рис. 2. Результаты работы методов:
а – метод билинейной интерполяции;
б – метод Fast SR; в – метод IBP

Результаты сравнения полученных изображений с оригиналом представлены в таблице.

Результаты сравнения методов

Метод	Метрика		
	PSNR (дБ)	MSSIM	Время работы метода (с)
Билинейная интерполяция	22,191	0,712	0,131
Fast SR	22,682	0,756	0,736
IBP(70 итераций)	24,375	0,837	24,328

Заключение

В данной работе рассмотрено такое направление компьютерной обработки изображений, как повышение качества изображений. Было показано, что методы, основанные на многокадровой обработке, имеют преимущество перед методами, работающими только с одним изображением.

Применение данных методов открывает возможность получения изображений более высокого качества с использованием имеющейся аппаратной базы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Park, S. C. Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview / S. C. Park, M. K. Park, M. G. Kang // IEEE Signal Processing Magazine. – 2003. – P. 21–36.

2. Ращупкин, А. В. Методы обработки данных дистанционного зондирования для повышения качества выходных изображений / А. В. Ращупкин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 2. – С. 124–132.

3. Lukin, A. Image Interpolation by Super-Resolution / A. Lukin, A. Krylov, A. Nasonov // 16th International Conference Graphicon'2006. – Novosibirsk Akademgorodok, 2006. – P. 239–242.

4. Krylov, A. Image Super-Resolution using Fast Deconvolution / A. Krylov, A. Nasonov, O. Ushmaev // 9th International Conference «Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies»: Conference Proceedings. – Nizhni Novgorod, 2008. – Vol. 1, No. 2. – P. 362–364.

5. Krylov, A. Face image super-resolution from video data with non-uniform illumination / A. Krylov, A. Nasonov, D. Sorokin // Proceedings of 18-th International Conference on Computer Graphics GraphiCon'2008. – M., 2008. – P. 150–155.

6. Krylov, A. S. Video super-resolution with fast deconvolution / A. S. Krylov, A. V. Nasonov, O. S. Ushmaev // Pattern Recognition and Image Analysis. – United States: Allen Press Inc., 2009. – Vol. 19, No. 3. – P. 497–500.

7. Farsiu, S. Fast and Robust Multi-Frame Super-Resolution / S. Farsiu [at al.] // IEEE Transaction.

8. Structural and Information Theoretic Approaches to Image Quality Assessment / Alan C. Bovik [at al.] // Multi-Sensor Image Fusion and Its Applications. – United Kingdom: CRC Press, 2005. – P. 473–497.

9. Hor, A. Image Quality Metrics: PSNR vs. SSIM. / A. Hor, D. Ziou // 20th International Conference on Pattern Recognition. – Istanbul, 2010. – 23–26 August. – P. 2366–2369.

10. Автоматизированное окрашивание полутоновых изображений на основе интеллектуального анализа сцены / А. В. Алексеев, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25 (152). С. 35–41.

УДК 004.932.2

А. В. Алексеев, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОИСК ЛИЦ И ВЫДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ РТА, ГЛАЗ НА ПОРТРЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ*

Волгоградский государственный технический университет
alekseev.yeskela@gmail.com

Данная работа посвящена контекстно-зависимому анализу портретных изображений. Анализ производится автоматически, вмешательство пользователя не требуется. В статье описана разработанная методика контекстно-зависимого анализа лиц, которая позволяет локализовать лицо и найти контуры рта и глаз. В заключение показаны примеры работы на тестовых фотографиях.

Ключевые слова: обработка изображений; контекстно-зависимый анализ; анализ портретных изображений; лицо человека; автоматический поиск.

A. V. Alekseev, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev

AUTOMATIC SEARCH OF HUMAN FACE AND DISTINGUISH THE CONTOURS OF THE MOUTH, EYES ON THE PORTRAIT IMAGES

Volgograd State Technical University

This paper presents a method of context-sensitive analysis of the portrait images. The entire analysis automatically, no user interaction is required. The presented method allows to locate the person and find the contours of the mouth and eyes. Finally, examples of work on the test photos.

Keywords: image processing; context-sensitive analysis; analysis of the portrait images; human face; automatic search.

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 13-07-00459, 13-07-97042, 14-07-97016, 15-07-06322).

Введение

В настоящее время в связи со стремительным развитием цифровой фотографии и цифрового видео очень перспективной является задача распознавания образов на цифровых изображениях и лиц в частности [1].

Последние десять лет в области распознавания лиц и их элементов ведутся активные разработки и предложены различные методы распознавания, использующие такие подходы, как метод сверточных и обычных нейронных сетей [2], скрытый марковских моделей [3], активные модели формы [4], активные модели внешнего вида [5], методы с использованием гистограмм, статистические методы и т. д. [6].

Распознавание лиц и элементов лиц может применяться в следующих областях: системы автоматического учета числа посетителей; системы пропускного контроля в учреждениях, аэропортах и метро; автоматические системы предотвращения несчастных случаев; интеллектуальные интерфейсы «человек – компьютер» и др. [2, 7]. Нахождение различных элементов лица позволяет вести учет дополнительной статистики и получать больше информации о человеке [8]. Задача обнаружения лица человека (а также элементов лица) является сложной ввиду нескольких основных причин: высокая вариативность лиц человека, обусловленная анатомическими и фенотипическими особенностями индивидов; различные условия освещенности, определяющиеся типом, количеством и направлением источников света [9, 10].

Целью данной работы является создание средств для автоматического поиска и выделения лиц, контуров рта, глаз на портретных изображениях.

1. Предлагаемая методика

Мы предлагаем следующую методику контекстно-зависимого анализа лиц:

1) детектирование лиц на основе метода Виолы – Джонса [11], – хорошо зарекомендовавший себя метод с высоким качеством и скоростью работы;

2) все искомые элементы будут находиться в зависимости от найденного прямоугольника лица исходя из физиологии человека. Глаза симметричны и находятся в верхней части лица (на симметрию накладываются ограничения в случае незначительных наклонов головы, тогда глаза не будут симметричны относительно найденного прямоугольника). Рот находится посередине в нижней части лица;

3) локализовать рот мы будем на основе эвристически подобранного соотношения относительно прямоугольника лица. Уточнение границ рта будем делать с помощью метода сегментации GrabCut – метод трактует все изображение как граф, и по заданным правилам в этом графе ищется минимальный разрез; в результате сегментации мы получаем две области: объект и не объект;

4) локализовать глаза мы будем также с помощью метода Виолы – Джонса, только в этот раз мы будем искать глаза в пределах верхней части лица; также дополнительно будет учитываться то, что глаза должны быть не цвета кожи.

2. Детектирование лица

Для детектирования лиц используем метод Виолы – Джонса [11]. Метод был разработан в 2001 году Полом Виолой и Майклом Джонсом, и на данный момент является одним из лучших по соотношению качества и скорости для детектирования объектов на изображении (лиц в частности). Основные принципы, на которых основан метод, таковы:

1) используются изображения в интегральном представлении, что позволяет быстро вычислять необходимые объекты. Интегральное представление изображения – это матрица, размерность которой совпадает с размерностью исходного изображения, и каждый элемент интегрального изображения содержит в себе сумму пикселей изображения в прямоугольнике от пиксела с координатами (0,0) до него самого (x,y);

2) используются признаки Хаара, с помощью которых происходит поиск нужного объекта (лица) (рис. 1). Признаки Хаара – признаки цифрового изображения, используемые в распознавании образов. Своим названием они обязаны интуитивным сходством с ветвями Хаара. Признак Хаара состоит из смежных прямоугольных областей. Они позиционируются на изображении, далее суммируются интенсивности пикселей в областях, после чего вычисляется разность между суммами. Эта разность и будет значением признака, заданного размера, определенным образом спозиционированного на изображении;

3) используется бустинг для выбора наиболее подходящих признаков для искомого объекта на данной части изображения. Бустинг – комплекс методов, способствующих повышению точности аналитических моделей. Эффективная модель, допускающая мало ошибок классификации, называется «сильной». «Сла-

бая» же, напротив, не позволяет надежно разделять классы или давать точные предсказания и делает в работе большое количество ошибок. Поэтому бустинг означает дословно «усиление» «слабых» моделей [12] – это процедура последовательного построения композиции алгоритмов машинного обучения, когда каждый следующий алгоритм стремится компенсировать недостатки композиции всех предыдущих алгоритмов;

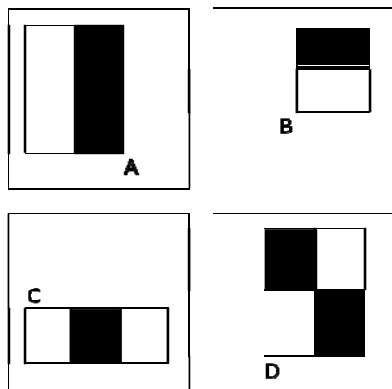


Рис. 1. Признаки Хаара

4) все признаки поступают на вход классификатора, который дает результат «истина» – объект есть, либо «ложь» – объекта нет;

5) используются каскады классификаторов для быстрого отбрасывания окон, где не найдено лицо. Каскад представляет собой цепочку классификаторов, каждый из которых обучается на ошибках предыдущего. Объект считается найденным только тогда, когда все классификаторы каскада вернули «истину».

3. Детектирование рта

3.1. Локализация рта

Детектирование рта мы проводим в два этапа: первый – получение ограничивающего прямоугольника; это делается на основе физиологии лица (в результате экспериментов были полученные границы, которые зависят от полученного ранее прямоугольника лица). Прямоугольник рта относительно лица определяется следующими соотношениями:

- ширина рта = 50 % от ширины лица;
- высота рта = 30 % от высоты лица;
- относительно верхнего левого угла прямоугольника лица:
 - координата x (ширина) рта = $0,25 * \text{ширину лица}$;
 - координата y (высота) рта = $0,7 * \text{высоту лица}$.

На рис. 2 представлен локализирующий рот прямоугольник (зеленый), красный прямоугольник – найденное лицо. Здесь и далее все изображения лиц взяты с базы МІСТ [13].

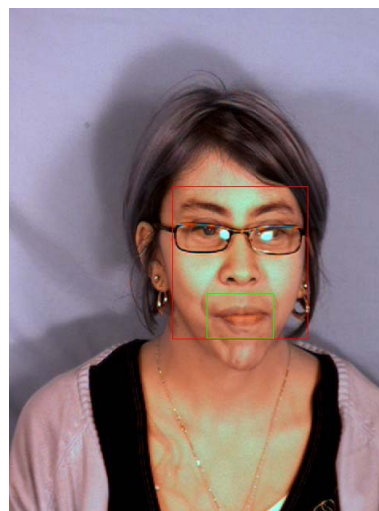


Рис. 2. Локализация рта

3.2. Нахождение контура рта

Границы рта уточняются на основе алгоритма сегментации GrabCut. Данный алгоритм основан на приближенном построении минимального разреза специального графа, который строится по пикселям изображения. Найденный контур рта представлен на рис. 3.

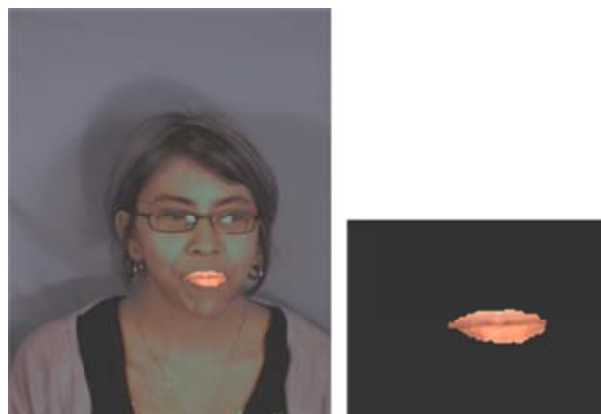


Рис. 3. Контур рта

4. Детектирование глаз

4.1. Локализация глаз

Для детектирования глаз также используется метод Виолы – Джонса; специальный обученный каскад, как и каскад для детектирования лиц, был взят из открытой библиотеки компьютерного зрения OpenCV [14]. Кроме того, используется предположение о том, что глаза находятся в верхней части лица (остальные детектирования

отбрасываются как ложные). На рис. 4 представлен пример детектирования глаз с помощью каскада: красный прямоугольник – лицо; синие прямоугольники – примерная область нахождения глаз; зеленые – найденные глаза.

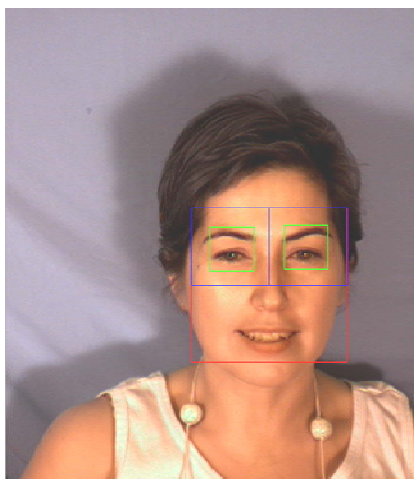


Рис. 4. Локализация глаз

4.2. Нахождение контура глаз

Контур глаз мы будем находить, ориентируясь на то, что глаза (непосредственно белки и зрачки) не телесного цвета. Цвет тела будем определять согласно [15] по формуле (1):

$$R > 95 \text{ and } G > 40 \text{ and } B > 20 \text{ and } R > B \\ \text{and } R - G > 15 \text{ and } \max(R, G, B) - \min(R, G, B) > 15 \\ \text{and } (H < 25 \text{ or } H > 230), \quad (1)$$

где R , G , B – соответственно значения красного, зеленого и синего каналов в цветовой модели RGB; H – значение канала цветового тона в цветовой модели HSV.

Цвет пиксела считается цветом кожи тогда, когда значения соответствующих каналов удовлетворяют формуле (1).

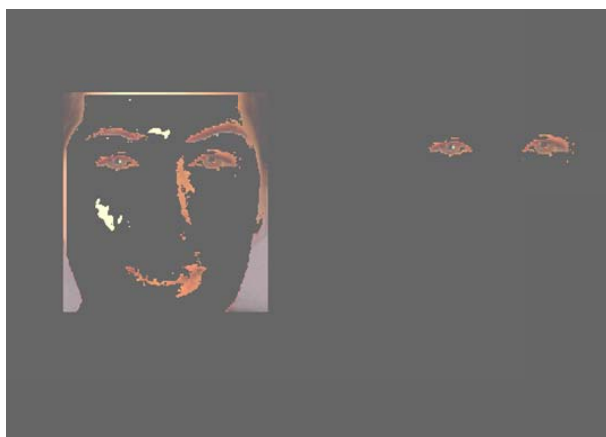


Рис. 5. Выделение контуров глаз

Полученная маска кожи и выделенные контуры глаз с учетом локализации представлены на рис. 5.

5. Результаты

В данной работе представлена методика контекстно-зависимого анализа портретных фотографий, который заключается в поиске лиц и локализации для каждого из найденных лиц глаз и рта, а также нахождения их контуров. Данная методика представляет собой комбинацию других методов, поэтому на нее накладываются ограничения, которые, в свою очередь, накладываются на каждый используемый метод в отдельности [10, 16], а именно: метод детектирования Виолы – Джонса чувствителен к сильным поворотам лица; каскады для глаз чувствительны к очкам, эта проблема решается путем использования каскадов, специально обученных для детектирования глаз в очках или же лиц в профиль. Так же детектирование рта может работать некорректно в случае наличия обильной растительности на лице; GrabCut может посчитать за искомый объект именно усы, а не рот. Результаты работы предложенной методики изображены на рис. 6, найденные рот и глаза выделены цветом.



Рис. 6. Детектирование рта и глаз

Заключение

В данной работе была представлена методика автоматического поиска лиц и выделения на них таких элементов, как рот и глаза. Также представлены отдельные этапы данной методики; указаны ограничения на применение, как отдельных этапов, так и всей методики в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексеев, А.В.* Автоматизация определения шрифтов по изображению / А. В. Алексеев, В. Л. Розалиев // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'12» (Дивноморское, Краснодарский край, 2–9 сент. 2012 г.). В 4 т. Т. 1. Тр. конф. «Интеллектуальные системы-12» и «Интеллектуальные САПР-2012» / ЮФУ [и др.]. – М., 2012. – С. 292–293.
2. *Розалиев, В. Л.* Применение нейронных сетей и грануляции при построении автоматизированной системы определения эмоциональных реакций человека / В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, О. С. Федоров // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – Вып. 9, № 11. – С. 63–68.
3. *Nefian, A. V.* Hidden Markov Model-Based Approach for Face Detection and Recognition / Ara Nefian, 1999.
4. *Prabhu U., Seshadri K.* Facial Recognition Using Active Shape Models, Local Patches and Support Vector Machines // contrib.andrew.cmu.edu. P. 1–8.
5. *Mitchell, S. C.* 3-d active appearance models: Segmentation of cardiac MR and ultrasound images // S. C. Mitchell, J. G. Bosch, B. P. F. Lelieveldt, R. J. van der Geest, J. H. C. Reiber, and M. Sonka/ IEEE Trans. Med. Imaging. – 21(9). – 2002. – P. 1167–1178.
6. *Фоменков, С. А.* Математическое моделирование системных объектов: учеб. пособие / С. А. Фоменков, В. А. Камаев, Ю. А. Орлова; ВолгГТУ. – 2-е изд., перераб. и доп. – Волгоград, 2014. – 334 с.
7. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 59–62.
8. *Алексеев, А. В.* Применение окрашивания полутоновых изображений для ускорения передачи видеопотока через сеть Интернет / А. В. Алексеев, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // Наука и образование в XXI веке: сб. науч. тр. по

матер. междунар. заоч. науч.-практ. конф., Тамбов, 30 сент. 2013 г. В 34 ч. Ч. 12 / Консалтинговая компания Юком. – Тамбов, 2013. – С. 16–18.

9. *Алексеев, А. В.* Окрашивание изображений в градациях серого на основе индивидуальных предпочтений / А. В. Алексеев, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 18: межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 22 (125). – С. 46–49.

10. *Алексеев, А. В.* Автоматизированное окрашивание полутоновых изображений на основе интеллектуального анализа сцены / А. В. Алексеев, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова, С. А. Фоменков // Известия ВолгГТУ. Сер. «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 22. – Волгоград, 2014. – № 25(152). – С. 35–41.

11. *P. Viola and M.J. Jones*, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001.

12. Jan ˇSochman AdaBoos // Jan ˇSochman, Jiřı Matas/ Center for Machine Perception. – Czech Technical University. – Prague, 2010.

13. Nicolls S.M. and J.M. and F. The MUCT Landmarked Face Database // Pattern Recognit. – Assoc. South Africa. – 2010.

14. OpenCV – Open computer vision library, Itseez, Retrieved from <http://opencv.org>, 2014.

15. *Vezhnevets V., Sazonov V., Andreeva A.* A survey on pixel-based skin color detection techniques // Proc. Graph. Moscow, Russia, 2003. – P. 85–92.

16. *Заболеева-Зотова, А. В.* Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 8: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – № 6. – С. 121–124.

УДК 658.512.011.56:004

Ю. Ф. Воронин, О. В. Лобачева, А. В. Матокхина

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССУ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН

Волгоградский государственный технический университет
ollobacheva@mail.ru, matokhina.a.v@gmail.com

В статье рассмотрены условия возникновения горячих трещин, анализ конструкции отливки и элементы формы в дефектных местах. Рассматривается с использованием системного подхода часто встречаемая горячая трещина, располагающаяся в термическом узле при наличии контакта с ним выступающих частей формы или стержня. Горячие трещины могут иметь различную по конфигурации форму, располагаться в различных местах отливки и возникать от увеличенного питателя, неподатливого стержня, недостаточной прочности металла в термическом узле, разветвленной литниковой системы и др. Выявлены этапы возможного формирования дефекта путем построения цепочек причинно-следственных связей. Также были предложены способы ликвидации данного дефекта.

Ключевые слова: горячая трещина, дефекты отливки, отливка, ликвидация брака, системный подход.

Y. F. Voronin, O. V. Lobacheva, A. V. Matokhina

SYSTEMATIC APPROACH TO THE PROCESS THE EMERGENCE AND LIQUIDATION HOT CRACKS

Volgograd State Technical University

The article describes the conditions for the occurrence of hot cracks, analysis structure of the casting and elements of form in defect sites. With using a systematic approach there considered an often commonly seen hot crack, located in the thermal unit in case of contact with it by protruding parts of forms or rod. Hot cracks can have a different form by configuration, can be located in different places of casting, and can occur from increased feeder, unyielding rod, insufficient strength of the metal in the thermal unit, or in brancher running system, and in others cases. There are identified stages of potential defect formation by constructing chains of causality. There were requested methods for liquidation of this defect.

Keywords: hot cracks, defects in casting, casting, elimination of the marriage, a systematic approach.

Производство отливок различного назначения из чугуна и стали в ряде случаев терпит убытки от возникновения горячих трещин. Рассмотрим условия возникновения горячих трещин с анализом конструкции отливки и элементов формы в дефектных местах, фрагментами анимационного представления протекающих в литейной форме процессов формирования и ликвидации рассматриваемого дефекта. Горячие трещины могут иметь различную по конфигурации форму, располагаться в различных местах отливки и возникать от увеличенного питателя, неподатливого стержня, недостаточной прочно-

сти металла в термическом узле, разветвленной литниковой системы и др.

Для проведения исследований используем методику логического определения, диагностики и ликвидации горячей трещины. Проанализируем возможные варианты связей между причинами возникновения и системой определения разновидности горячей трещины [1]. В качестве примера для получения требуемой информации используем дефект горячей трещина на отливке «Задвижка» (рис. 1). На рис. 1, а представлена отливка «Задвижка» с горячими трещинами, на рис. 1, б – увеличенный дефект отливки.



а



б

Рис. 1. Отливка «Задвижка» с горячей трещиной (а); увеличенный фрагмент отливки с дефектом (б)

Изучая дефект отливки, отмечаем, что на поверхности ее термического узла, в стыке стенок, имеется хорошо заметная изломанная трещина. По описанным отличительным особенностям, приведенным в [2], рассмотренный дефект является горячей трещиной. Анализируя конструкцию отливки совместно с формой можно отметить, что место возникновения горячей трещины выполняется выступающей частью формы.

В процессе заливки металла выступающая часть формы со всех сторон контактирует с горячим металлом и аккумулирует значительное количество тепла, в основном, от прибылей. При охлаждении отливки происходит процесс усадки металла, который заметно проявляется в термических узлах, к которым относятся и стыки стенок отливки. В процессе усадки возникают напряжения в затвердевающем металле, которые релаксируются в виде горячих трещин

в местах с наименьшей прочностью металла. Таким местом в рассматриваемой отливке с низкой прочностью металла является контактируемая с термическим узлом вершина выступающей части формы, где сохраняется повышенная температура от залитого металла и контакта с прибылями.

Используем изложенную информацию для выявления этапов возможного формирования дефекта путем построения цепочек причинно-следственных связей [3]. Проведенный анализ возникновения дефекта показывает, что горячая трещина образовалась в месте соединения стенок отливки, в зоне термического узла, и эти условия можно отнести к *первому этапу* возникновению дефекта. Образование трещины произошло со стороны формы, в месте контакта вершины выступающего угла с термическим узлом, где в процессе охлаждения и затвердевания металла более длительное время сохра-

няется повышенная температура. Эти условия можно отнести ко *второму этапу* возникновения горячей трещины. Процесс усадки металла связан с уменьшением его объема и образования усадочной раковины. При небольшом объеме термического узла и повышенной температуре с одной из сторон формы, в частности, со стороны вершины выступающего угла, возможно смещение усадочного напряжения в область высоких температур. Это условие можно отнести к *третьему этапу* формирования дефекта. *Четвертый этап* образования дефекта обусловлен низкой прочностью металла отливки в области вершины выступающего угла формы, где имеется повышенная температура. *Пятый этап* возникновения трещины обусловлен моментом превышения напряжения от усадки металла его прочности в вершине выступающего угла формы. В этот момент начинается процесс образования горячей трещины.

Изучая возможные условия возникновения горячей трещины на данной отливке, отмечаем, что трещина возникает эпизодически. Температура заливаемого металла контролируется на выпуске из плавильного агрегата, заливка металла происходит из пятитонного ковша. В этот момент может происходить заливка первых форм горячим металлом (возможное образование горячих трещин), а последующих форм – более холодным (отсутствие возникновения трещин). Следовательно, возмущающим звеном между описанными условиями формирования трещины и случаем ее возникновения служит повышенная температура заливаемого металла.

Для более полного представления процесса возникновения трещины и получения навыков определения этапов возникновения дефекта и построения цепочек причинно-следственных связей используем анимационный процесс формирования горячей трещины на протяжении цикла изготовления отливки. На рис. 2, а в правой стороне приведена отливка «Задвижка» и ее фрагмент с горячей трещиной. В левой стороне рисунка представлен анимационный фрагмент литейной формы в виде ее выступающего угла с предполагаемым местом возникновения горячей трещины. На данном фрагменте литейная форма находится в процессе заполнения ее металлом. В месте соединения стенок имеется термический узел с увеличенным скоплением металла, что является *первым*

этапом формирования дефекта. Завершение цикла заливки формы металлом представлено фрагментом анимационного изображения на рис. 2, б. В этот момент начинается интенсивный нагрев выступающего угла формы от двух прибылей. Наибольшую температуру имеет вершина выступающего угла формы (*второй этап* формирования дефекта). На рис. 2, в приведена стадия затвердевания элементов отливки в зависимости от их толщины (*третий этап*). Более тонкие стенки имеют темноватую окраску, следовательно они охлаждаются быстрее элементов отливки, имеющих более светлую окраску. Светлым цветом отмечен термический узел, где имеется большая масса металла и повышенная температура выступающего угла формы, о чем описывалось выше.

Представленный на рис. 2, г фрагмент анимационного процесса образования горячей трещины имеет равномерную затемненную окраску температурного поля отливки. Цвет окраски свидетельствует о завершающей стадии затвердевания отливки (*четвертый этап*). В этот момент в отливке возникают напряжения, которые в определенных случаях могут вызвать появление трещины. В рассматриваемом анимационном процессе появление горячей трещины представлено на рис. 2, д, где дефект образовался в термическом узле со стороны разогретой вершины выступающей части формы (*пятый этап*). Дефект представлен в виде хорошо заметной трещины, в форме глубокой межкристаллической трещины, расположенной у термического узла со стороны разогретого выступающего угла формы.

Рассмотренный на рисунках путь возникновения дефекта можно представить в виде цепочек причинно-следственных связей [4]. Цепочки состоят из следующих этапов технологического процесса: → расположение дефекта в термическом узле отливки → наличие выступающего угла формы в области возникновения горячей трещины → заливка формы горячим металлом → создание напряженного температурного состояния отливки от термического узла и выступающего угла формы → формирование усадочного напряжения отливки → возникновение горячей трещины под воздействием высокой температуры заливаемого металла, наличия термического узла и выступающего угла формы. Подобные цепочки причинно-следственных связей можно строить при исследовании отливок с различными дефектами.

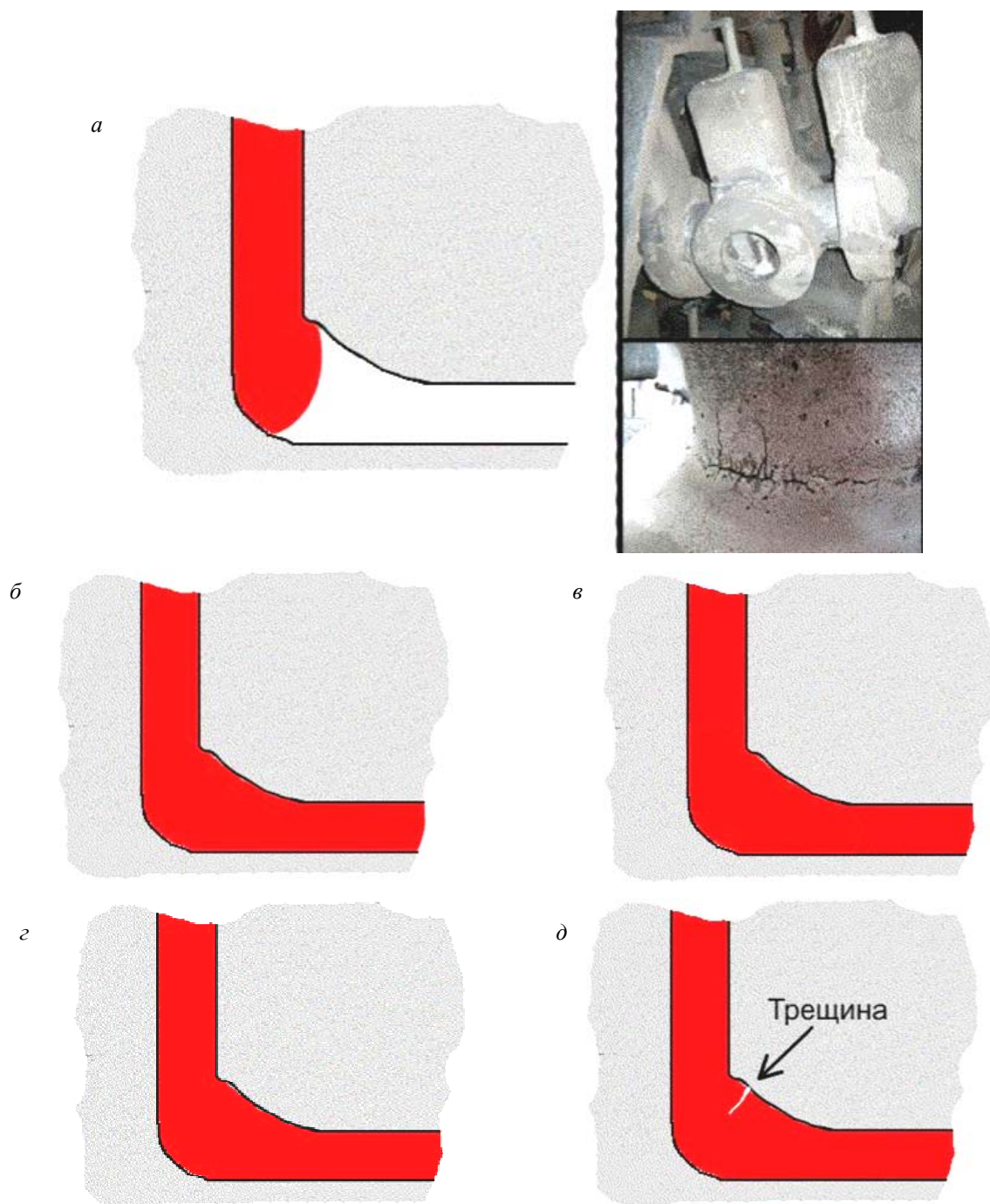


Рис. 2. Отливка «Задвижка» и ее анимационный фрагмент с местом возникновения горячей трещины (стадия заливки формы металлом) (а); фрагмент формы с завершенным процессом заливки металла (б); фрагмент формы в стадии процесса охлаждения залитого металла (в); фрагмент формы в завершающей стадии процесса затвердевания металла (г); фрагмент формы с возникшей горячей трещиной (д)

Рассмотрим анимационный процесс ликвидации горячих трещин, построенный по результатам рассмотренных выше причинно-следственных связей в виде этапов формирования дефекта. Как описывалось выше, горячие трещины возникают из-за недостаточной прочности металла в момент протекания процесса усадки сплава. Существуют несколько способов лик-

видации горячих трещин, заключающихся в понижении температуры заливаемого металла, использовании облицовочной смеси с повышенным коэффициентом теплоаккумуляции, использовании охлаждающих ребер и др.

Из существующих способов ликвидации горячих трещин выберем тот, который наиболее прост и нейтрализует вредное влияние ряда

параметров, способствующих возникновению трещин. Таким способом является использование на ряде заводов охлаждающих ребер жесткости. На рис. 3, *a* приведен фрагмент анимационного представления процесса заливаемого металла в форму с выполненными охлаждающими ребрами жесткости. Ребра выполнены

в виде проточек на вершине выступающего угла формы и пересекают линию образования горячей трещины. Ребра небольшой толщины (обычно 0,1–0,3 толщины стенки отливки) быстро затвердевают и, обладая большей прочностью, принимают на себя значительную часть напряжений.

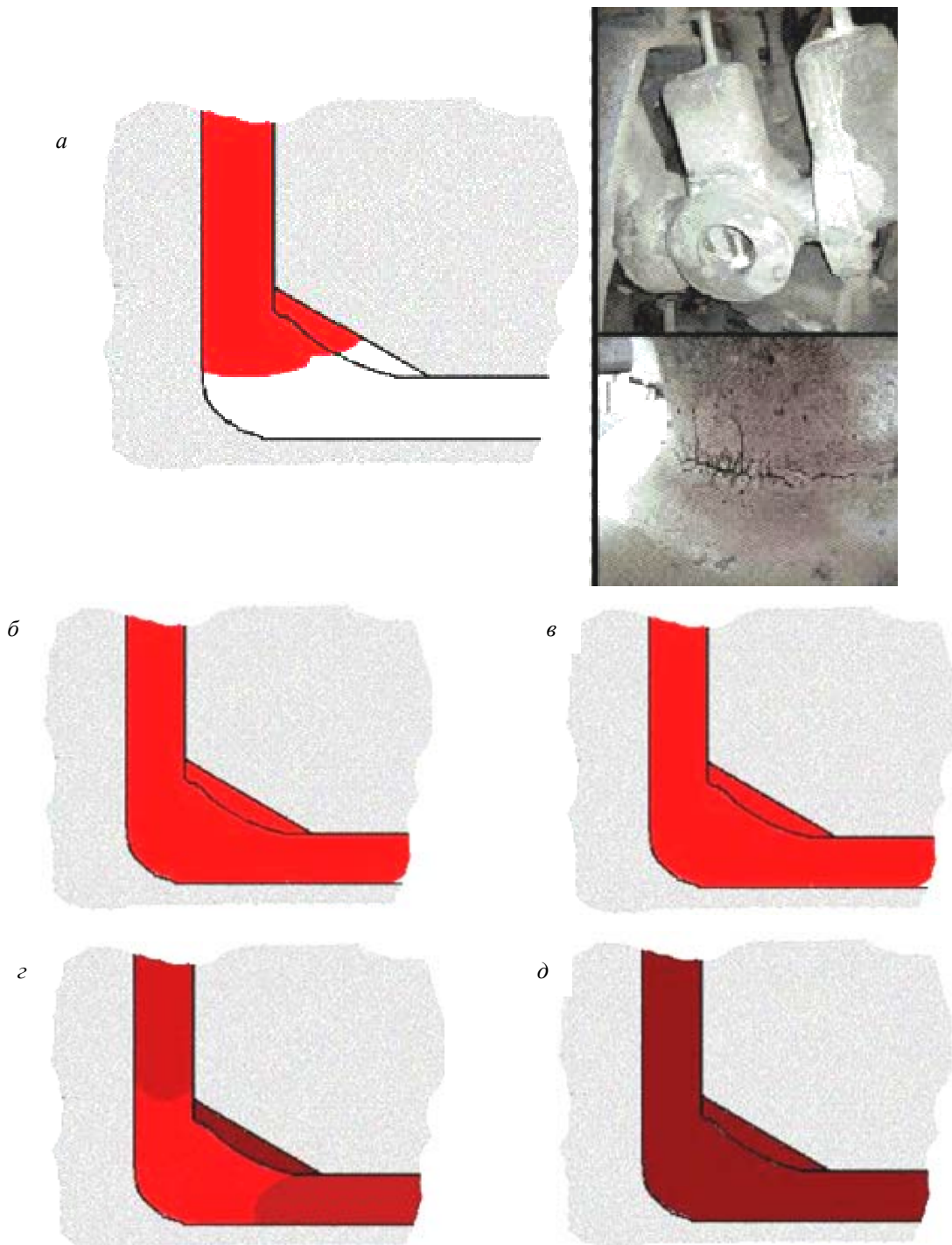


Рис. 3. Процесс заливки металла в форму, имеющую охлаждающее ребро жесткости в месте образования горячей трещины (*a*); завершение процесса заливки формы металлом (*б*); процесс охлаждения залитого металла в форму (*в*); продолжение процесса охлаждения залитого металла в форму (*г*); завершающий процесс затвердевания залитого металла в форму (*д*)

На рис. 3, б приведен фрагмент процесса завершения заливки формы металлом. Правильно примененная система ребер в напряженном месте отливки принимает на себя значительную часть напряжения, что в значительной мере снижает опасность возникновения горячих трещин.

Процесс охлаждения залитого металла в форму приведен на рис. 3, в, где заметно потемнение охлаждающего ребра. Наиболее эффективно применение ребер проявляется при использовании их в отливках из стали с пониженной трещиностойкостью. Продолжение процесса охлаждения залитого металла в форму можно увидеть на рис. 3, г.

Охлаждающее ребро полностью затвердело и способно выдерживать значительные напряжения, вызванные процессом усадки металла. В это же время термический узел затвердел не полностью, что видно по различной окраске некоторых мест сочленения стенок отливки. Завершающий процесс затвердевания залитого металла в форму приведен на рис. 3, д. Окраска фрагмента отливки стала более темной, установленные прочные ребра полностью ликвидировали возможность образования горячих трещин. Пример расположения ребер приведен на фрагменте отливки «Рама» с охлаждающими ребрами для предупреждения возникновения горячих трещин.

Как отмечалось выше, горячая трещина может возникнуть от увеличенного питателя, неподатливого стержня, недостаточной прочности металла в термическом узле, разветвленной литниковой системы и др. [5].



Рис. 4. Фрагмент отливки «Опора» с охлаждающими ребрами

Системный подход к характерным отличительным признакам разновидностей горячих трещин позволил установить, что в ряде случаев форма трещины и некоторые особенности конструкции отливки свидетельствуют о причине возникновения дефекта. Приведем некоторые из них. На рис. 5 представлен фрагмент отливки, рассмотренной на рис. 1, где подробно описаны условия его возникновения – контакт термического узла с выступающей частью формы, подверженной интенсивному разогреву. На рис. 6 приведен фрагмент отливки шарового крана с прерывистой горячей трещиной на равной по толщине стенке отливки. Дефект образовался от использования неподатливого стержня. При использовании увеличенного по толщине питателя может возникнуть изломанная удлиненная горячая трещина, которая приведена на рис. 7. Распределенный подвод питания отливки ликвидирует появление трещины. Представленные на рис. 5–7 фрагменты отливок с трещинами возникали при использовании перегретого металла.



Рис. 5. Трещина, изломанная в термическом узле



Рис. 6. Трещина, прерывистая на равной по толщине стенке отливки



Рис. 7. Трещина, изломанная у увеличенного питателя

Приведенная статья посвящена использованию новых подходов к системному анализу разновидностей трещин отливок из железоуглеродистых сплавов, причин их возникновения и способов ликвидации. Системный подход открывает новые возможности определения разновидностей трещин, когда уже по виду дефек-

та можно в ряде случаев определить причину его возникновения. Рассмотренный материал частично положен в основу учебного пособия для системного подхода к наиболее трудным по решению вопросам повышения качества отливок. Эта информация может с успехом использоваться также при разработке технологическо-

го проекта изготовления литья повышенного качества. В частности, использование анимационного представления протекающих в форме процессов позволит студентам и технологам литейного производства применять эти методы на стадии проектных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин, Ю. Ф. Повышение качества литья. Системный подход : моногр. / Ю. Ф. Воронин. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 263 с.
2. Воронин, Ю. Ф. Эффективность ликвидации горячих трещин / Ю. Ф. Воронин // Литейщик России. – 2006. – № 8. – С. 15–19.

3. Прангишвили, И. В. Системный подход и общесистемные закономерности / И. В. Прангишвили. – М. : СИНТЕГ, 2000. – 528 с.

4. Воронин, Ю. Ф. Синтез процессов повышения качества литья. В 2 т. : моногр. / Ю. Ф. Воронин, В. А. Камаев. – М. : Машиностроение, 2009. – 313 с.

5. Воронин, Ю. Ф. Определение условий возникновения дефектов отливок на примере горячей трещины / Ю. Ф. Воронин, В. А. Камаев, А. В. Матохина // Заготовительные производства в машиностроении. – 2005. – № 3. – С. 10–14.

6. Лукьяненко, А. Ю. Применение семантической сети для анализа процесса возникновения и ликвидации литейных дефектов / А. Ю. Лукьяненко, Ю. Ф. Воронин, А. В. Матохина // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 17. № 14 (117). – С. 46–51.

УДК 658.512.011.56:004

О. В. Лобачева, А. В. Матохина, Ю. Ф. Воронин

СИСТЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ГАЗОВЫХ И УСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В ЛИТЫХ ЗАГОТОВКАХ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

Волгоградский государственный технический университет

ollobacheva@mail.ru, matokhina.a.v@gmail.com

В данной статье описывается прием эффективной ликвидации течи отливки, выявленной при гидроиспытании отливок. Диагностика и ликвидация дефектов усадочного происхождения осуществляется с помощью визуально-логической методики. Рассмотрен пример анализа отливки «Задвижка Ду300», проведенный с использованием разработанного метода. Описан процесс диагностики дефекта отливки и поиск причин возникновения дефекта. Для точного определения причин возникновения дефекта были сформулированы и проанализированы этапы формирования дефекта. Некоторые этапы формирования дефекта были представлены в виде фрагментов анимационного процесса. Приведен перечень мер для ликвидации рассмотренного дефекта.

Ключевые слова: отливка, качество, брак литья, системный подход, течь отливки, газовые раковины, усадочная пористость, ликвидация брака.

O. V. Lobacheva, A. V. Matokhina, Y. F. Voronin

SYSTEM OF REVEALING AND LIQUIDATION OF GAS AND SHRINKABLE DEFECTS IN CAST PREPARATIONS OF PIPELINE ARMATURE

Volgograd State Technical University

This article describes the method an effective liquidation of casting leak, identified by hydrotest castings. Diagnostics and liquidation defects of the shrinkable origin realize with a help of visual-logic methods. There is reviewed example an analysis of casting "Zadvijka DU 300" is conducted with the using of developed method. There is described process of the diagnostic deffect of the casting and searching for the causes emergence of a defect. To determine the exact nature of the defect were formulated and analyzed stages of the formation of a defect. Some stages of the formation of a defect were presented in the form of fragments of animation process.

Keywords: casting, quality, moulding marriage, the system approach, a casting leak, gas bowls, shrinkable porosity, marriage liquidation.

Производство литых заготовок сопряжено со значительными трудностями, преодоление которых требует от сотрудников литейных предприятий высокого уровня знаний и опыта работы. До настоящего времени литейное производство испытывает недостаток высококвалифицированных кадров для повышения качества продукции. Для оказания помощи в повышении уровня знаний по производству отливок высокого качества в 2010 году выпущена серия

учебных пособий и «Тренажеров», позволяющих студентам вузов и специалистам литейного производства в короткий срок усвоить приемы эффективного производства литых заготовок. В основу материалов заложено визуально-логическое восприятие рассматриваемой информации, что значительно увеличивает усвояемость приемов по повышению качества отливок. Эти и другие материалы представлены на сайте, указанном в конце статьи.

Рассмотрим практическое использование разработанной методологии ликвидации брака отливок, а именно методику логического определения, диагностики и ликвидации дефектов усадочного происхождения. Предметом рас-

смотрения являются отливки «Задвижка Ду300» с течью. К таким отливкам относятся тройники или соединительные рукава на нефте- и газопроводах, головки или крышки цилиндров, блоки цилиндров, радиаторы отопления и т. д.



а



б



в



г



д



е

Рис. 1. Отливки «Задвижка Ду300» с пористостью, обнаруженной при гидроиспытании (а); отливка «Задвижка Ду300» с порезкой в месте образования течи (б); фрагмент отливки «Задвижка Ду300» с поверхностью реза (в); фрагмент внешней поверхности отливки «Задвижка Ду300» в месте образования газовой раковины (г); фрагмент поверхности отливки «Задвижка Ду300» с механической обработкой в месте образования газовой раковины (д); фрагмент поверхности отливки «Задвижка Ду300» с углубленной обработкой в месте образования течи (е)

Проанализируем возможные варианты связей между причинами возникновения наиболее сложного по ликвидации дефекта – усадочной пористости, приводящей в совокупности с газовыми раковинами к возникновению течи отливки, и системой определения разновидности этого дефекта. На рис. 1, *а* представлена группа отливок «Задвижка Ду300» с дефектами в виде течи или потения; на рис. 1, *б* – одна из таких отливок с вырезанной газовой резкой места образования течи; на рис. 1, *в* – вырезанная часть отливки с механически обработанной поверхностью реза. На поверхности реза отчетливо проявляется закрытая усадочная раковина темносинего цвета с шероховатой поверхностью. Течь проявляется в термическом узле отливки, расположенном в его продолжении на этом же рисунке. При визуальном осмотре под увеличением места образования течи со стороны формы замечено, что здесь имеются очень мелкие по диаметру раковины (от 0,5 до 1 мм), уходящие в сторону термического узла. Раковины представлены на рис. 1, *г* в круге, обведенном мелом. При изучении увеличенной наружной поверхности раковин установлено, что они имеют серосиний цвет, гладкую поверхность и узкий канал прохождения в тело отливки. По визуальнo-логической модели определения разновидностей окисленных газовых раковин [1] устанавливаем, что такие характерные отличия имеет газовая раковина гладкая, окисленная, свищевидной формы, размером 0,5–3 мм. Аналогичные раковины обнаружены и на внутренней поверхности отливки со стороны стержня.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение стенки отливки в месте возникновения течи для определения этапов формирования дефекта. Для этого проводилась фрезеровка стенки отливки по линии формирования газовой раковины в направлении пористой зоны. На рис. 1, *д* представлен фрагмент отливки «Задвижка Ду300», где проведена механическая обработка стенки по линии образования окисленной газовой раковины. Видно, что окисленная газовая раковина проникает в пористую зону отливки. Проведенное описание отличительных особенностей газовой раковины свидетельствуют о том, что она сформировалась при повышенном давлении газа, выделяющегося при сгорании органических веществ в формовочной и стержневой смесях. Из этого следует, что форма и стержень не имели вентиляционных каналов для вывода газа в атмосфе-

ру, что и явилось первопричиной образования течи [2]. Осмотр стержней и формы показал отсутствие в них вентиляционных систем. При изменении угла механической обработки отливки, представленной на рис. 1, *е*, вскрывается более отчетливый извилистый свищеобразный канал, проникающий в толщину стенки, где имеется усадочная пористость. Это дополнительно свидетельствует о значительном газовом давлении, возникающем в форме при ее контакте с заливаемым металлом.

Аналогичное возникновение газовых раковин происходило со стороны стержня с последующим проникновением их в пористую зону, что и способствовало образованию течи. Следует отметить, что со стороны стержня всегда возникает повышенное давление газа, что можно объяснить контактом с заливаемым металлом основной поверхности стержня. Образование газовых раковин со стороны формы возникает достаточно редко. В данном случае объяснить повышенное выделение газа со стороны формы можно тем, что в месте образования газовых раковин имеется выступающая часть формы, которую можно увидеть на рис. 1, *а–в*. Выступающая часть контактирует с металлом с трех сторон и подвергается интенсивному нагреву с образованием газа при отсутствии требуемой вентиляции. В результате, в ряде случаев, создаются условия свободного прохода газа из стержня и формы в пористость, что приводит к возникновению течи [3]. Одновременно выступающая и обогреваемая с трех сторон часть формы имеет повышенную температуру, что способствует снижению прочности металла в этом месте и проникновению газа в отливку.

После изложения информации о возникновении дефекта используем ее для выявления этапов возможного формирования дефекта путем построения цепочек причинно-следственных связей. Проведенный анализ возникновения дефекта показывает, что течь отливки образовалась в средней ее части, в зоне термического узла рядом с фланцем, где возникает пористость (*первый этап*). Стержень и форма, оформляющие поверхность отливки, не имеют вентиляционной системы, что может способствовать возникновению окисленных газовых раковин (*второй этап*). В результате заливки горячего металла в форму, происходит выгорание органических составляющих смесей и образуется повышенное давление газа в порах формы и стержня (*третий этап*). Отсутствие вентиля-

ционной системы приводит к значительному увеличению газового давления в форме и стержне. Это способствует возникновению газовых раковин, проникающих в зону пористости отливки с пониженной прочностью металла со стороны формы и стержня в виде свищевидных каналов (четвертый этап). Соединение газовых раковин

с пористостью дает возможность, в ряде случаев, образованию течи при гидроиспытании отливки (пятый этап). В данном исследовании было обнаружено, что отливка «Задвижка Ду300», имеет три дефекта – свищевидные окисленные газовые раковины со стороны формы и стержня, закрытая усадочная раковина, пористость отливки.

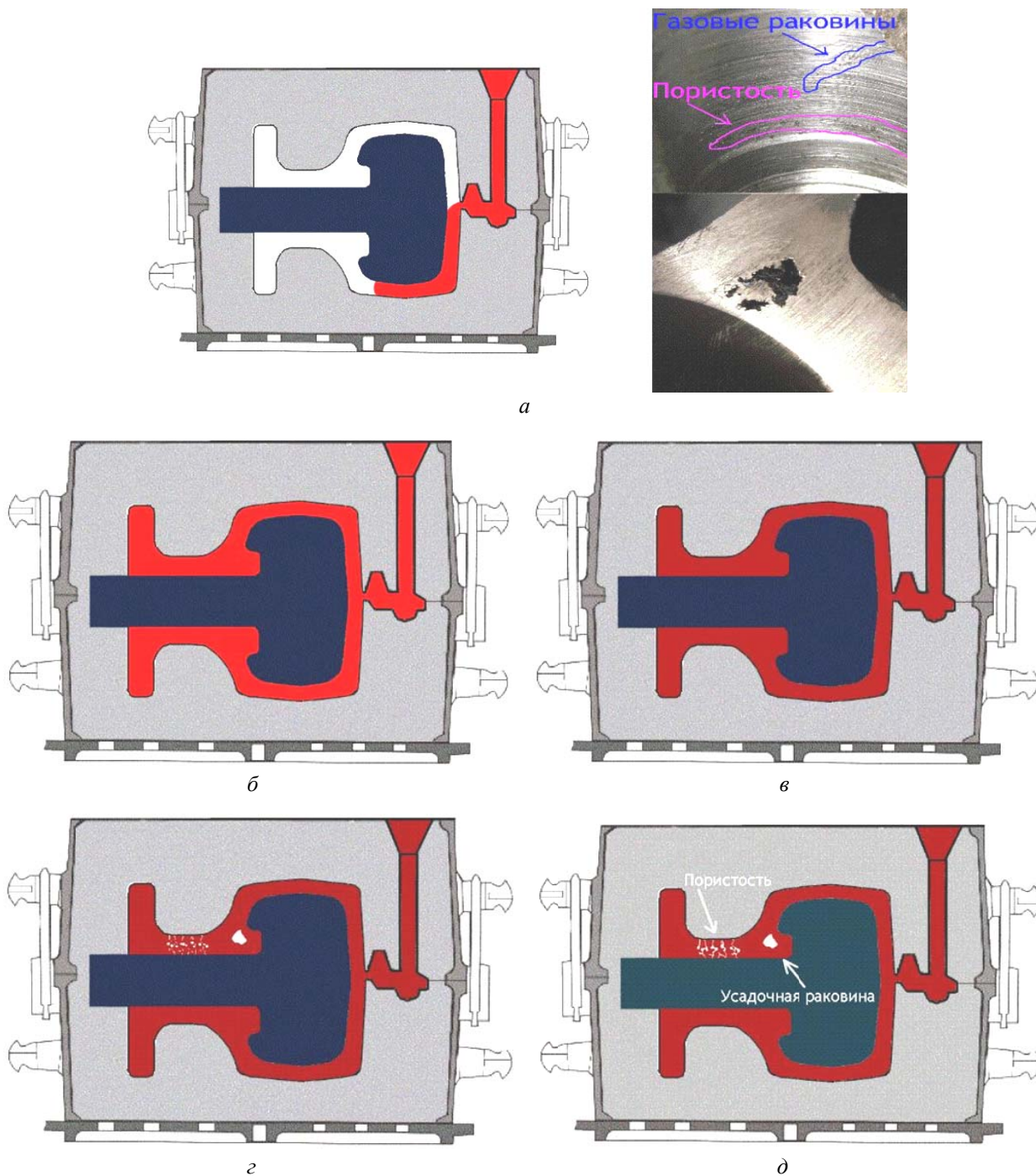


Рис. 2. Форма в сборе без вентиляционных каналов, заливаемая сталью (а); завершение процесса заполнения формы металлом (б); процесс охлаждения металла, начало проникновения газовых раковин в тело отливки и образование усадочных дефектов (в); стадия образования газовых и усадочных дефектов в отливке (г); стадия завершения образования газовых и усадочных дефектов в отливке (д)

Рассмотрим этапы формирования течи отливки «Задвижка Ду300» и решение по ликвидации трех рассмотренных дефектов в виде анимационных представлений процессов их формирования и ликвидации. На рис. 2, а представлен фрагмент анимационного представления процесса заполнения литейной формы расплавленным металлом. Этот период является начальной стадией возникновения газового давления в стержне и форме, и является *первым этапом* формирования дефекта. В этот момент происходит повышение давления газа в порах смеси формы и стержня при отсутствии вентиляционной системы. На фото справа представлено изображение трех, возникших в теле отливки дефектов – усадочная раковина, пористость и газовая раковина. На *втором этапе* (рис. 2, б) происходит завершение процесса заливки формы металлом, активно повышается давление в стержне и форме ниже уровня 780 Н/м^2 , что затрудняет прорыв газом поверхности жидкого металла. На *третьем этапе* происходит процесс охлаждения металла, повышение давления газа, начальная стадия образования газовых и усадочных раковин, пористости металла. На рис. 2, в показано анимационное представление процесса охлаждения стали в виде потемнения ее цвета. В этот момент в металле начинается процесс усадки расплава и свищевидное проникновение газа со стороны формы и стержня в область возникновения пористости. Реальный процесс возникновения усадочных раковин и пористости со свищевидными газовыми раковинами представлен на рис. 2, г. Здесь наблюдается формирование закрытых усадочных раковин в связи с отсутствием питания термических узлов. Соединением свищевидных окисленных газовых раковин с усадочной пористостью отливки намечается возможность возникновения условий появления течи в отливке. Завершение этапа формирования дефектов в отливке можно увидеть на рис. 2, д. При соединении в единую цепочку газовых раковин от стержня с пористостью и газовыми раковинами со стороны формы, возникает течь отливки. Заготовки с такими дефектами уходят в окончательный брак.

Изучая представленные фрагменты анимации, следует отметить, что этапы формирования дефектов отливок можно разделить на технологические и производственные. К *технологическим этапам* формирования дефектов, заложены при разработке проекта, относятся:

- усадочная пористость в средней части термического узла отливки;
- отсутствие вентиляционных наколов в форме;
- отсутствие вентиляционной системы в стержне;
- термический узел в соединении стенок отливки, в котором создаются условия возникновения усадочной раковины и отсутствует прибыльная система для подпитки усадочных мест.

Стоит отметить, что технологические этапы могут быть отражены в документации, но не выполняться на производственном участке.

К *производственным этапам* формирования течи можно отнести повышенную температуру заливаемого металла. Такое распределение этапов позволит быстро определить направление по ликвидации дефектов.

Рассмотренный на рисунках путь возникновения дефекта можно представить в виде цепочек причинно-следственных связей. Цепочки состоят из следующих этапов технологического процесса: → наличие утолщенной стенки отливки с возможностью возникновения в ней усадочной пористости → отсутствие вентиляционных наколов в форме → отсутствие вентиляционной системы в стержне → наличие термического узла в соединении стенок отливки → отсутствие прибыльной системы для подпитки усадочных раковин → заливка формы горячим металлом → повышение газового давления в порах литейной формы → проникновение газа в пористую зону отливки в виде свищевидных каналов с образованием сообщающихся каналов внутренней полости отливки с внешней → формирование усадочных раковин и сквозных каналов в отливке, способствующих возникновению течи.

Рассмотрим анимационный процесс ликвидации закрытых усадочных раковин и сквозной пористости отливки, построенный по результатам рассмотренных выше причинно-следственных связей в виде этапов формирования дефекта. На рис. 3, а приведена заливаемая металлом форма с выполненными вентиляционными каналами в стержне и форме.

Стержень имеет центральный вентиляционный канал, расположенный по горизонтали с выходом в стержневой знак и далее по вертикальным каналам формы в атмосферу. Для подпитки пористости и усадочной раковины предусмотрены уменьшенные прибыли с теплоизолирующими оболочками.

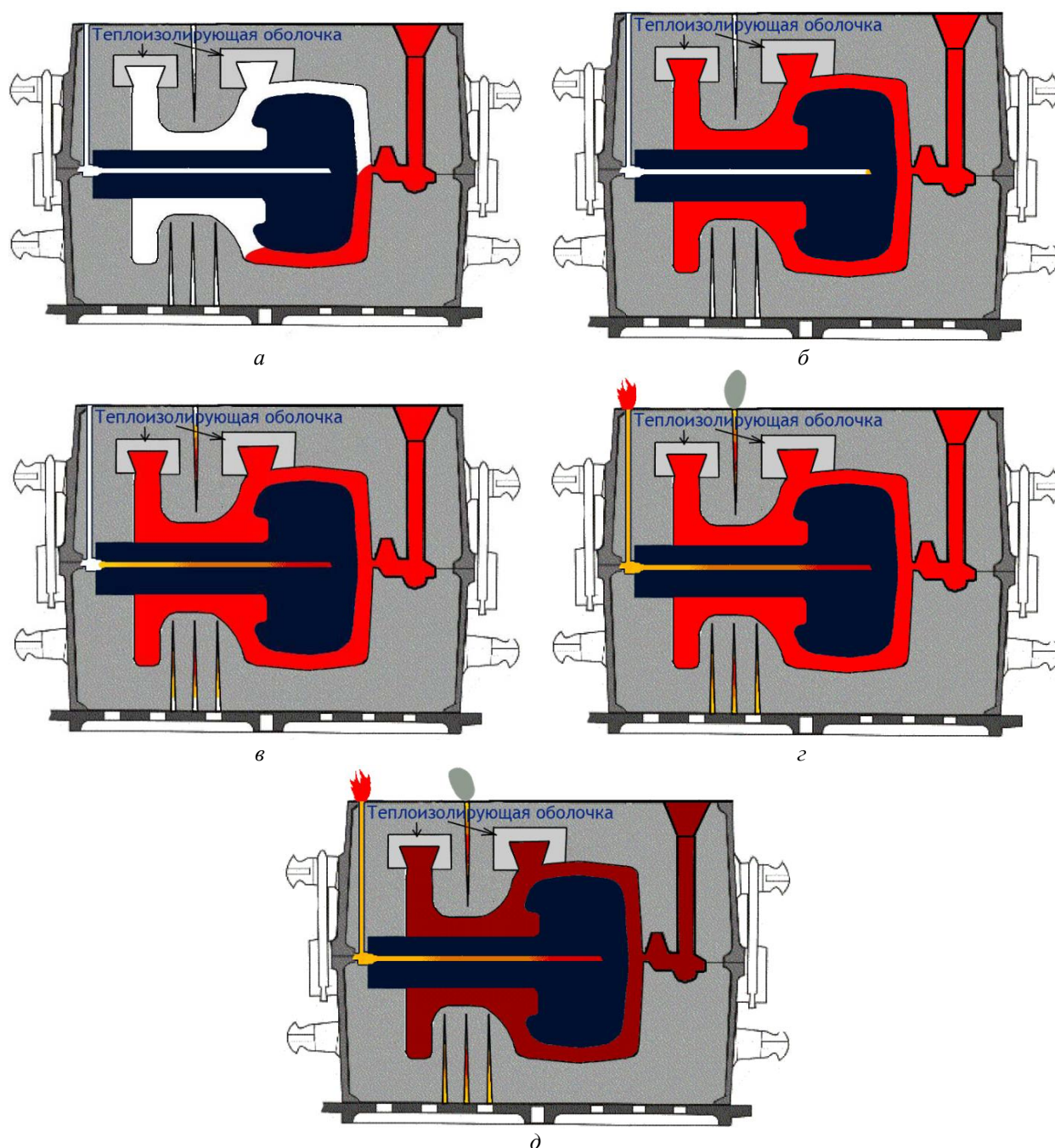


Рис. 3. Процесс заливки металла в форму, имеющую вентиляционную систему и теплоизолирующие прибыли (а); заполнение формы металлом с протекающими процессами газообразования формы (б); заполнение вентиляционных каналов отходящими от формы и стержня газами (в); активный процесс выхода газа в атмосферу в виде зажженных факелов и подпитка усадочных мест (г); завершающий процесс газообразования формы и затвердевания отливки (д)

Процесс завершения заполнения формы металлом с начавшимся активным периодом газообразования от формы и стержня представлен на рис. 3, б. В этот период начинается активное повышение давления газа в порах формы и стержня. Для улучшения процесса питания усадочных дефектов применены теплоизолирующие оболочки, позволяющие вдвое уменьшить объем применяемых в промышленности прибылей.

Активное заполнение вентиляционной системы стержня и формы отходящими в атмосферу газами показано на рис. 3, в. В это время ликвидировано проникновение газа в отливку, осуществляется эффективная подпитка ее усадочных мест горячим металлом из теплосберегающих прибылей. Увеличение отвода продуктов газообразования от формы и стержня приведено на рис. 3, г. Высокая концентрация го-

рючего газа воспламеняется над формой, что свидетельствует о хорошей работе вентиляционной системы. Теплосберегающие оболочки прибылей позволяют более длительное время сохранять жидкотекучее состояние металла для подпитки усадочных мест. Завершающий процесс формирования качественной отливки представлен на рис. 3, д.

Эффективная вентиляционная система снижает давление газа в форме и стержне ниже 780 Н/м^2 , что ликвидирует возможность образования газовых раковин в отливке. Потемнение цвета залитого металла свидетельствует о завершении стадии подпитки термических узлов жидким металлом и предотвращении образования усадочных мест. Использование таких приемов в литейной практике позволяет ликвидировать течь ответственных отливок.

Рассмотренную статью и динамику происходящих в литейной форме процессов при воз-

никновении и ликвидации течи можно увидеть в «Тренажере» и новых учебных пособиях, размещенных на сайте <http://otlivka.vstu.ru>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин, Ю. Ф. Характерные особенности окисленных газовых раковин / Ю. Ф. Воронин, С. Ю. Воронин // Оборудование. Технический альманах. – 2006. – № 4. – С. 49–55.
2. Воронин, Ю. Ф. Ликвидация окисленных газовых раковин / Ю. Ф. Воронин, С. Ю. Воронин // Оборудование. Технический альманах. – 2007. – № 1. – С. 46–49.
3. Воронин, Ю. Ф. Синтез процессов повышения качества литья : моногр. / Ю. Ф. Воронин, В. А. Камаев. – В 2 т. – М. : Машиностроение, 2009. – 313 с.
4. Применение семантической сети для анализа процесса возникновения и ликвидации литейных дефектов / А. Ю. Лукьяненко, Ю. Ф. Воронин, А. В. Матюхина // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 17. № 14 (117). – С. 46–51.
5. Прангишвили, И. В. Системный подход и общесистемные закономерности / И. В. Прангишвили. – М. : СИНТЕГ, 2000. – 528 с.

УДК 004.934.2

Е. С. Малькова, О. А. Шабалина

МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРОИЗНОШЕНИЯ*

Волгоградский государственный технический университет

lana210692@mail.ru

Данная статья посвящена обзору методов распознавания речи и их применения для системы выявления дефектов произношения. В статье описываются методы, которые используются для распознавания речи, а также их применимость для систем выявления дефектов произношения. Также в данной статье представлен анализ уже существующих программных решений в этой области.

Ключевые слова: распознавание речи, дефекты произношения, нейронные сети, Марковские модели, методы распознавания речи.

E. S. Malkova, O. A. Shabalina

SPEECH RECOGNITION METHODS IN TASK OF AUTOMATED DETECTION OF PRONUNCIATION DEFECTS

Volgograd State Technical University

This article reviews the methods of speech recognition and their use for the detection of pronunciation defects. The article describes the methods used for speech recognition, as well as their applicability to systems detection of pronunciation defects. Also in this article presents an analysis of existing software solutions in this area.

Keywords: speech recognition, pronunciation defects, neural networks, Markov models, speech recognition methods.

Каждый ребенок, а иногда даже и взрослый, хотя бы раз в жизни сталкивались с проблемой произношения некоторых звуков. И в большинстве случаев с такой проблемой обращаются к логопеду. Только он может правильно поставить диагноз и назначить лечение. Однако ло-

гопед нуждается в большом количестве времени, чтобы определить не только проблемные звуки, но и их фонематические комбинации.

Компьютерная программа может облегчить терапию проблем произношения, а также зачатую и сократить усилия специалистов, предлагая диагностику проблем произношения в домашних условиях или в кабинете логопеда, так же применяя эту программу. Задача коррекции и,

* Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части (проект 2586 задания № 2014/16).

прежде всего, задача определения этих дефектов очень важна, ведь любой человек хочет правильно говорить на своем родном языке.

Существует ряд исследований, в которых описываются процесс создания этих систем, алгоритмы отличия неправильного от правильного произношения и описание результатов этих исследований, включающих процент правильной классификации. Однако они находятся на стадии исследования и практической их реализации еще нет.

Для выявления дефектов необходима технология распознавания речи и ее сведение к методу выявления дефектов. В наши дни распознавание речи достаточно хорошо развито, и оно используется в различных сферах, но именно систем, распознающих дефекты в произношении, не так много. В России же не столь быстро развиваются технологии, как за рубежом, и подобная система еще не реализована.

Для распознавания разных видов неправильного произношения звуков необходимы разные методы, ведь дефекты произношения различных букв также различны. Одним из самых распространенных дефектов является дефект произношения звука «Р» (ротацизм), а также он является и самым простым в распознавании, по сравнению с другими звуками.

В данной статье приведен анализ существующих решений в области распознавания дефекта буквы «р» на других языках, а также представлена концепция и описание своего варианта решения для буквы «р».

1. Формулировка проблемы

Чтобы точно определить характер нарушения той или иной группы звуков, нужно:

четко знать разновидности [6] нарушений звукопроизношения [5], их отличия по звучанию и артикуляции;

иметь навыки выделения из речи дефектного звука;

уметь определять как нарушен звук;

уметь видеть какие движения не получают, какое участие принимают губы, нижняя челюсть, каждая часть левой и правой половины языка [6].

Принято выделять следующие виды неправильного звукопроизношения [2]:

сигматизм – дефект произношения свистящих и шипящих звуков;

ротацизм – дефект произношения звуков [Р], [Р'];

ламбдацизм – дефект произношения звуков [Л], [Л'];

каппацизм – дефект произношения звуков [К], [К'];

гаммацизм – дефект произношения звуков [Г], [Г'];

хитизм – дефект произношения звуков [Х], [Х'];

йотацизм – дефект произношения звука [й] (йот).

Для распознавания неправильного произношения различных букв существует множество методов, которые подходят только им; это происходит вследствие того, что все звуковые сигналы букв имеют свою амплитуду, и каждый сигнал по-разному выглядит, и для каждой буквы существует свой дефект, не похожий на дефекты произношения других букв. Так как дефект буквы «Р» один из самых распространенных, то именно с него и начинается распознавание в некоторых системах [3, 4]; следует разобраться с особенностями дефектов и видами нарушений именно для этой буквы [10]:

1) горловое произношение звука «Р» – наиболее частое встречаемое нарушение;

2) смягченное произношение звука «Р» – следующее по частоте;

3) произношение «Р» одноударно;

4) произношение «Р» с носовым оттенком;

5) боковое произношение «Р»;

6) в редких случаях взрослые заменяют звук «Р» другими звуками или пропускают его в речи. Взрослые чаще искажают звуки «Г» и «В», дети – «Л» и «Й».

Именно все эти типы неправильного произношения буквы «р» нам необходимо будет распознать.

Самой важной проблемой для решения является реализация нового метода, который должен не только правильно анализировать нарушение произношения, но и использовать некоторую информацию, извлеченную из согласных или группировок гласных-согласных.

2. Методы распознавания речи и их применимость к задаче выявления дефектов произношения

Задача распознавания дефектов в первую очередь сводится к задаче классификации, задаче четкого деления на два класса – на правильное и неправильное произношение (а уже потом – деления класса неправильного произношения на виды неправильного произношения).

Процесс распознавания речи

Рассмотрена архитектура современных систем распознавания речи.

Входными данными является сам сигнал в формате .wav или голос с микрофона.

Процесс распознавания речи включает следующие этапы:

предварительная обработка сигнала;

преобразование сигнала в секторы особенностей;

распознавание речевой части (классификация).

Первая задача инвариантна, и существует достаточно много решений этой задачи, вторая и третья специфические, где методы их решения будут рассмотрены ниже.

Перед тем как предпринимать попытки распознавания речи, необходима предварительная обработка речевого сигнала [12].

Большинство современных систем автоматизированного распознавания используют модульную архитектуру. Модуль предварительной обработки включает в себя:

блок шумоочистки, где повышается качество сигнала;

блок детектора голоса, где выделяются участки, содержащие речь.

Следующий модуль выделения информативных признаков речевого сигнала – преобразование сигнала в векторы особенностей [12], где участки, содержащие речь, превращаются в наборы коэффициентов, которые в дальнейшем поступают в блок распознавания (классификации):

1) получение спектра частот речевого сигнала с помощью набора программных полосовых фильтров (ДПФ);

2) преобразования полученного спектра речевого сигнала:

а) логарифмическое изменение масштаба в пространстве амплитуд и частот;

б) сглаживание спектра с целью выделения его огибающей;

в) кепстральный анализ, т. е. обратное преобразование Фурье от логарифма прямого преобразования.

Таким образом, на выходе главного модуля мы получаем информацию о наличии команды или ее отсутствии, само распознанное слово, или, как для нашего случая, это правильно или неправильно произнесено слово [13].

В самом блоке распознавания могут использоваться существующие методы распознавания речи [14]:

метод распознавания речи на основе сравнения с эталоном – временные динамические алгоритмы, динамическое программирование;

методы распознавания на основе контекстно-зависимой классификации – методы дискриминантного анализа, основанные на Байесовской дискриминации, Скрытые Марковские модели, Нейронные сети.

В качестве методов распознавания можно выделить метод Mel-Cepstrum (MFCC), метод моделей заполнителей, метод скользящего окна и т. д.

Распознавание с помощью mel-frequency-cepstral coefficients

Метод MFCC чаще используется для второго и третьего этапа, где в конце третьего этапа применяется простой алгоритм kNN-классификации (k-ближайших соседей).

Mel-frequency cepstrum является весьма эффективным в аудиораспознавании частотосодержащих звуковых файлов. Mel-scale рассчитывается как

$$Mel(f) = 2595 \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right), \quad (1)$$

где $Mel(f)$ – логарифмический масштаб в нормальной шкале частот f .

MFCCs вычисляются по коэффициентам мощности быстрого преобразования Фурье (БПФ), которые отфильтрованы по треугольному банку полосового фильтра. Банк состоит из 12 треугольных фильтров. MFCCs и рассчитываются как

$$C_n = \sqrt{\frac{2}{k} \sum_{k=1}^K (\log S_k) \cos \left[\frac{n(k-0.5)\pi}{k} \right]},$$

$$n = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где S_k ($k = 1, 2, \dots, K$) – это выходы из банка фильтров и N – общее число образцов в 20 мс аудиоустройства [7].

MFCC обычно получают следующим образом:

а) получение преобразования Фурье взвешенного сигнала (в нашем случае окно Хэмминга);

б) отображение спектра мощности, полученного с использованием треугольных перекрытых окон, на Мела-шкале;

в) логарифмирование квадрата каждой Mel-частоты;

г) использование дискретного косинусного преобразования вышеупомянутого, как будто это был сигнал [8].

Применение метода MFCC в системе распознавания дефектов рассмотрено ниже.

Использование Скрытых Марковских Моделей для распознавания речи

Задача распознавания речи также решается с помощью Марковских моделей, однако вторая и третья задача тут взаимосвязаны и составляют неразрывно связную систему, в которой все найденные вероятности, к данной ли единице распознавания принадлежит входной сигнал, анализируются, и система обучается.

Скрытая Марковская модель (СММ) – это модель, состоящая из N состояний, где некоторая система может принимать одно из M значений какого-либо параметра [15].

Скрытой Марковской моделью называется тройка $\lambda = \{A, B, \pi\}$.

Чаще всего используются СММ с тремя состояниями, она представлена на рис. 1.

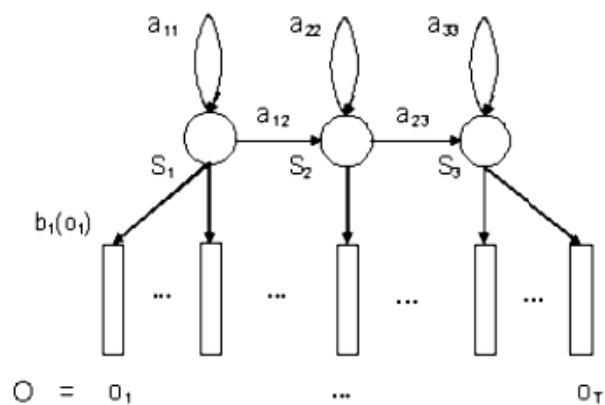


Рис. 1. СММ с тремя состояниями

В системе распознавания речи, построенной относительно скрытых Марковских моделей, решаются, как правило, три задачи:

Задача 1. Алгоритм прямого-обратного хода: даны параметры модели $\lambda = \{A, B, \pi\}$ и последовательность $O = \{o_1, o_2, \dots, o_T\}$; требуется вычислить вероятность появления данной последовательности [16].

Решение этой задачи связано с задачей распознавания речи непосредственно. В ней распознается та речевая единица, которая нам нужна [15].

Задача 2. Алгоритм Витерби: даны параметры модели $\lambda = \{A, B, \pi\}$ и последовательность $O = \{o_1, o_2, \dots, o_T\}$; требуется выбрать последовательность состояний $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_T\}$, которая с наибольшей вероятностью порождает указанную последовательность [16].

Данные, полученные при решении этой задачи, используются для изучения поведения полученной модели [15].

Задача 3. Алгоритм Баума – Велша: дана модель $\lambda = \{A, B, \pi\}$ и выходная последовательность наблюдений $O = \{o_1, o_2, \dots, o_T\}$; требуется подобрать параметры модели так, чтобы максимизировать вероятность данной последовательности наблюдений [16].

В чистом виде это задача обучения модели на подборке входных данных, для того чтобы в дальнейшем использовать эту модель для решения задачи 1, то есть задачи распознавания.

Алгоритмы решения данных задач представлены в [15].

Одним из ярких примеров систем распознавания речи, использующих СММ, является Sphinx.

CMUSphinx – это независимый от диктора распознаватель непрерывной речи, использующий Скрытую Марковскую модель и n -граммную статистическую языковую модель [9].

Использование нейронных сетей для распознавания речи

Далее рассмотрены нейронные сети и многослойный персептрон, как строятся и выбираются нейронные сети для решения задач в общем, как они обучаются, применения нейронных сетей для распознавания речи. Система, построенная с помощью НС, решает третью задачу классификации.

Применение нейронных сетей для распознавания речи

При обучении сети с учителем можно научить сеть распознавать объекты, принадлежащие заранее определенному набору классов. Если же сеть обучается без учителя, то она может группировать объекты по классам в соответствии с их цифровыми параметрами.

Таким образом, на базе нейронных сетей можно создавать обучаемые и самообучающиеся системы. В [12] формулируются следующие требования к самообучающимся системам:

разработка системы заключается только в построении архитектуры системы. Основную часть информации система получает в процессе обучения;

возможность контроля своих действий с последующей коррекцией;

возможность накопления знаний об объектах рабочей области;

автономность системы.

Возможность создания на базе ИНС самообучающихся систем является важным условием для их применения в системах распознавания речи [12].

В [12] отмечается, что в качестве модели нейронной сети, пригодной для распознавания речи и обучаемой без учителя, можно выбрать самоорганизующуюся карту признаков Кохонена. В ней для множества входных сигналов формируются нейронные ансамбли, представляющие эти сигналы.

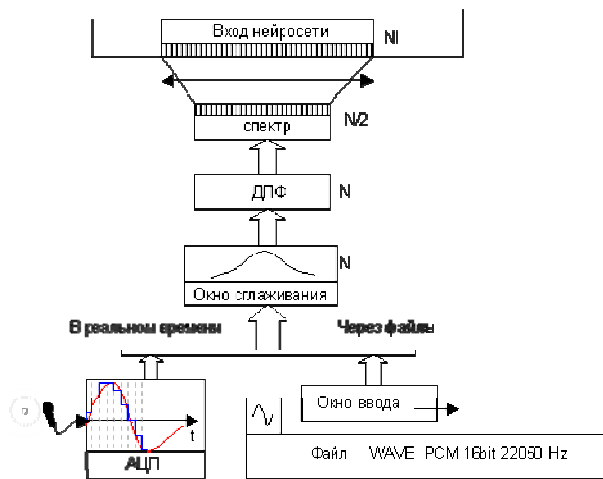


Рис. 2. Процесс ввода звука в нейронную сеть

В [12] описаны процессы, которые необходимо выполнить до входа в нейронную сеть. Эти процессы представлены на рис. 2 и описывают предварительную обработку звуковых сигналов и преобразование их в набор коэффициентов, которые уже поступают в сеть для дальнейшего распознавания.

Ввод звука осуществляется в реальном времени через звуковую карту или через файлы формата WAV.

Звуковые сигналы подвергаются обработке: к файлу перемещается окно ввода, размер которого равен N элементов – размеру окна ДПФ; накладывается окно сглаживания Хэмминга, которое понижает контрастность спектра, но убирает боковые лепестки резких частот;

ДПФ;

получившиеся амплитудный спектр и информация о фазе сигнала отбрасываются и вычисляется энергетический спектр. Размер информативной части спектра NS равен $N/2$.

В системе применяется наиболее распространенный и простой метод – логарифмическое сжатие, или mel-сжатие; оно представлено на рис. 3.

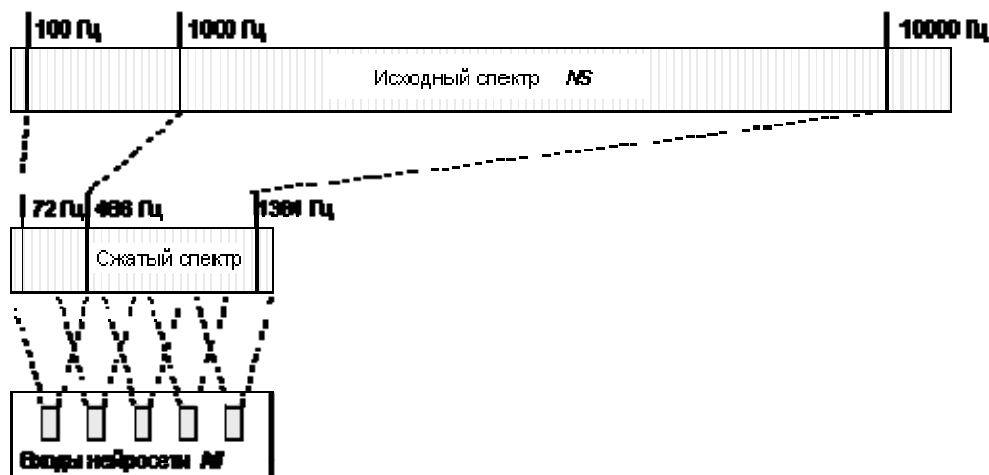


Рис. 3. Процесс логарифмического сжатия частотного спектра

Для выделения синтаксических элементов из речи применяется также вейвлет-преобразование. Этот метод, в отличие от БПФ, исключает потерю информации о временных характеристиках сигнала. Входной сигнал раскладывается в базис функций, характеризующих как частоту, так и время.

В [1] описан алгоритм вычисления входов в нейронную сеть. Нейронные сети применяются и для задачи четкого разделения на два класса; эта задача описана в [11] и применима в нашей задаче выявления дефектов произношения.

3. Программные решения в области выявления дефектов произношения

Было найдено две статьи, описывающие два аналога системы с различными вариантами решения.

Первая статья описывает простое компьютерное приложение, способное классифицировать правильное и неправильное произношение фонемы «р» на румынском языке; представлены результаты простой реализации, простой метод идентификации произношения дефектов с использованием методом обработки сигналов.

Все результаты и подробный алгоритм можно посмотреть в [3].

В работе выделены следующие этапы:

1. Создание базы данных речевых образов. База построена на записях взрослых, 3 мужчин и 8 женщин, из которых 1 мужчина и 3 женщины имели различную степень ротацизма. От каждого по десять слов; произносится не менее трех раз.

2. Предварительная обработка сигнала реализуется с помощью бесплатного редактора звуков.

3. Метод выделения признаков – Mel-Cepstrum анализ. Алгоритм реализован в Matlab.

4. Решение, к какому из двух классов принадлежит проанализированная фонема, было принято с помощью простого kNN-алгоритма классификации. Описание этого метода также представлено в [3].

В данной работе показано, что решение, с помощью которого можно отличить правильное и неправильное произношение, состоит в анализе изменения тембра по длине фонемы. Авторы статьи смогли создать простой классификатор с 80%-й корректной производительностью классификации.

Вторая статья представляет собой способ идентификации сильно ослабленного произношения согласной «Р» на румынском языке с использованием методов обработки сигналов временной области. Исследование было сосредоточено на словах, которые содержат «Р» в качестве первой буквы, с использованием сигналов, записанных, в основном, от детей, так как неправильное произношение возникает, как правило, в молодом возрасте. Все результаты и подробный алгоритм можно посмотреть в [4].

Решение проблемы состоит из нескольких этапов:

1. Составление базы данных записей. База состоит из записей 7 детей и 5 взрослых, произносящих слова на букву «р». Из всех были выбраны 30 записей для тестирования метода.

2. Выделение признаков:

а) выделение огибающего сигнала простым методом, использующим максимальное значение сигнала для каждого из N интервалов длины L ;

б) получение линейной интерполяции полученных точек;

в) вычисление скользящего среднего огибающей и возведение в квадрат разницы между огибающей и вычисленным вектором среднего;

г) вычисление альтернативного компонента сигнала;

е) вычисление функции, реализованной путем деления каждого вектора в БД, интервалов равной длины и среднего на каждом таком интервале.

3. Классификация данных. Здесь использован тот же kNN-алгоритм классификации, что и в предыдущей статье.

4. Экспериментальные условия. Для каждого подмножества средний результат рассчитывался как среднее правильной классификации в процентах от всех возможных испытаний.

В данной работе показано, что альтернативная компонента значительно выше в правильно произнесенной «Р», по сравнению с неправильно произнесенной. При использовании метода, сосредоточенного на извлечении альтернативной компоненты записанного образца речи как инструмента выделения признаков, был создан простой kNN-классификатор с 82%-й точностью правильной классификации.

4. Выводы

В результате данного исследования был проанализирован процесс распознавания речи и выделены следующие этапы:

- предварительная обработка сигнала;
- преобразование сигнала в секторы особенностей;
- распознавание речевой части (классификация).

Также были проанализированы методы применимые для решения второго и третьего этапа, а именно:

- MFCC;
- скрытые Марковские модели;
- нейронные сети.

В описании данных методов приведена их краткая характеристика, классификация, какую задачу (вторую или третью) они решают, алгоритмы решения задачи распознавания, алгоритмы построения систем распознавания на основе этих методов, а также применение их.

Также в этой статье были рассмотрены программные решения, уже существующие для выявления дефектов произношения; выделены алгоритмы распознавания дефектов и представлено описание их работы.

По результатам анализа был выбран метод, который будет использоваться для системы выявления дефектов произношения. Для построения этой системы применимы СММ и ИНС, так

как они оба имеют общие алгоритмы, в которых нужно задать свою обучающую выборку и правильно обучить систему. В первом случае применяются вероятности появления дефекта в звуковой последовательности; на входе – звуковой файл, а на выходе – вероятность дефекта в этом файле. Во втором, система обучается на тестовой выборке, где на входе подаются звуковые файлы, а на выходе – решение о том, дефект это или нет.

Для решения задачи выявления дефектов подходит такой метод распознавания речи, как Искусственные нейронные сети, где можно создать систему и обучить ее классификации на два класса: правильное и неправильное произношение.

В настоящее время проводится работа по разработке архитектуры системы, в которой используется искусственная нейронная сеть. Эта система предназначена для автоматизированной поддержки логопедов на первоначальной стадии коррекции речи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ле, Н. В. Распознавание речи на основе искусственных нейронных сетей / Н. В. Ле, Д. П. Панченко // Технические науки в России и за рубежом : мат. Междунар. науч. конф. (г. Москва, май 2011 г.). – М. : Ваш полиграфический партнер, 2011. – С. 8–11.
2. Логопедия. Искусство речи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://corrects.ru/talkv.php>.
3. Potamianos, G., Neti, C.: Automatic Speechreading of Impaired Speech. In: J. Computer Science & Technology, pp. 582–589. Scheelsminde, Denmark (September 2001).
4. Grigore, O., Grigore, C., Velican, V.: Pattern recognition based method used in identifying impaired speech. In: Proceedings of the 2nd international conference on Applied informatics and computing theory, pp. 190–194. (2011).
5. Общая характеристика нарушений звукопроизношения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://abvgd.russian-russisch.info/txt/logo/m15.html>.
6. Обследование звукопроизношения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://abvgd.russian-russisch.info/txt/logo/ph15.html>.
7. Zheng, F., Zhang, G., Song, Z.: Comparison of Different Implementations of MFCC. In: J.Comput.Sci&Technol, vol. 16, No. 6, pp 582–589 (November 2001).
8. Мел-кепстральные коэффициенты (MFCC) и распознавание речи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/post/140828>.
9. CMUSphinx Tutorial For Developers – CMUSphinx Wiki, <http://cmusphinx.sourceforge.net/wiki/tutorial>.
10. Логопед для взрослых. Буква «Р» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://logoped-therapy.com/index.php?option=com_content&view.
11. Использование нейронных сетей в DataMining [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ami.nstu.ru/~vms/lecture/data_mining/n_set.htm.
12. Фролов, А. Синтез и распознавание речи. Современные решения [Электронный ресурс] / А. Фролов, Гр. Фролов. – Электрон. журн. – 2003. – Режим доступа : <http://www.frolov-lib.ru>.
13. Гребнов, С. В. Аналитический обзор методов распознавания речи в системах голосового управления / С. В. Гребнов // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып. 3. – С. 83–85.
14. Распознавание речи – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание_речи.
15. Чесбиев, И. А. Компьютерное распознавание и порождение речи / И. А. Чесбиев. – М. : Спорт и культура, 2008 – 128 с.
16. Скрытая Марковская модель – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Скрытая_марковская_модель.

УДК 004.822:514

Ю. А. Орлова, А. В. Долбин, Е. В. Кипаева, В. Л. Розалиев АВТОМАТИЗАЦИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПОРТРЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОМУ ОПИСАНИЮ*

Волгоградский государственный технический университет
yulia.orlova@gmail.com

Статья посвящена разработке приложения для выделения элементов описания внешнего вида человека на основе текста и синтеза портретного изображения. В статье описана информационная модель описания внешнего вида человека и предлагаются методы поиска внешности. Описываются принципы построения фотороботов, и кратко рассматривается разрабатываемое программное приложение.

Ключевые слова: обработка текста; информационный поиск; латентно-семантический анализ; оценка релевантности; портретная идентификация; технология построения фоторобота.

Y. A. Orlova, A. V. Doldin, E. V. Kipaeva, V. L. Rozaliev AUTOMATED SYNTHESIS PORTRAIT IMAGES ON THE BASIS OF THE NATURAL LANGUAGE DESCRIPTION Volgograd State Technical University

This article is devoted to the development application for the allocation of items to the external description of a person on the basis of the text. The article describes the model of the appearance of a person, as well as the main methods of searching appearance. Briefly describe the principles of composite on a text description.

Keywords: text processing; information retrieval; latent semantic analysis; assessment of relevance; portrait identification; technology building sketch.

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 13-07-00351, 13-07-97042, 14-07-97016, 14-07-97017, 15-07-06322, 15-07-05440).

Введение

Анализ текстовой информации для последующего синтеза некоторого изображения относится к сложным задачам и в большинстве случаев требует индивидуального решения. В данном проекте мы решили объединить две проводимые нами разработки: выявление внешнего вида человека из текста и синтез фоторобота по текстовому описанию. На вход модуля выявления внешнего вида человека по тексту подается текст на русском языке в произвольной форме. Выходом является фрейм-экземпляр внешнего вида человека. Так как объем входных данных может быть очень большим, то необходимо обеспечить максимальную производительность программы. Для обеспечения должного уровня быстроедействия необходимо формировать инвертированной индекс входных данных [1]. На вход модуля построения фоторобота подается полученный фрейм, выходом является синтезированное изображение.

1. Алгоритм выявления описания внешнего вида человека

Общий алгоритм выявления описания следующий: 1) графематический анализ текста; 2) морфологический анализ; 3) поиск упоминаний о личности в тексте; 4) применение латентно-семантического анализа для установления зависимостей между ключевыми параметрами внешнего вида человека и множеством предложений; 5) выделение в предложении элементов внешнего вида человека.

Выделение предложений из сплошного текста – процедура, необходимая для дальнейшего анализа текста в любой системе анализа естественных языков. Для решения данной задачи необходимо провести графематический анализ текста [2]. Графематический анализ проводится в два этапа:

1) выделение предложений из текста на основе поиска стоп-слов. В ходе разработки были выделены следующие стоп-символы: «.», «!», «;», «?»;

2) выделение отдельных слов в полученных предложениях.

Задачей морфологического разбора является описание морфологической формы слова и ее синтаксической роли в предложении [2; 3]. Как правило, анализу подвергаются слова в контексте предложения, но в данном проекте был принят ряд допущений:

1) входной текст должен быть только на русском языке;

2) входной текст не должен содержать каких-либо грамматических или синтаксических ошибок;

3) букву «е» не следует заменять буквой «ё», так как это приведет к неправильному морфологическому анализу слова;

4) упрощенный разбор «двусмысленных предложений».

2. Модель внешнего вида человека

Был произведен анализ важных элементов описания внешнего вида человека для разных профессий: художник, писатель, криминалист, скульптор. В итоге была составлена информационная модель в виде фрейма-прототипа на языке frame representation language:

```
(frame Внешний_Вид (Пост (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Телосложение (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Голова (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Волосы (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Лицо (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Лоб (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Брови (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Глаза (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Ресницы (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Нос (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Уши (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Губы (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Подбородок (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Зубы (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Шея (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)) (Плечи (value(M))
(IF_NEEDED(ph_s)))).
```

Здесь M – множество внешних характеристик, а ph_s – демон поиска заранее заданных фразеологизмов. Изначально планировалось задать фиксированный набор элементов описания на каждый параметр внешнего вида. Но в ходе разработки от этой идеи пришлось отказаться, так как каждый параметр может быть описан огромным множеством различных речевых оборотов. Поиск описания внешнего вида человека производится по морфологическим признакам [4].

В случае, когда один или несколько слотов фрейма остались незаполненными, отрабатывается процедура поиска фразеологизмов в тексте. Набор фразеологизмов для каждого слота задается в программе в графическом интерфейсе пользователя и сохраняется на жестком диске в файле структуры xml. Фразеологизмы представляют собой продукционную модель знаний: если <условие>, то <действие>. При-

менительно к рассматриваемой теме условие можно сформулировать следующим образом: если <в данном предложении упоминается описание личности и встречается один из указанных фразеологизмов>, то <заполнить слот фрейма соответствующим значением>. Механизм работы с фразеологизмами был добавлен для случаев, когда разработанного функционала программы недостаточно для выполнения тех или иных операций.

3. Обзор корпусов русского языка и систем информационного поиска

Был проведен обзор корпусов и словарей русского языка. Список рассмотренных корпусов: Национальный корпус русского языка, Открытый корпус русского языка, Тюбингенский корпус, Хельсинский аннотированный корпус.

В результате анализа был выбран открытый корпус русского языка, так как он удовлетворял ряду необходимых требований: большое число словоупотреблений с морфологической разметкой, наличие подкорпуса со снятой омонимией, наличие частотных списков, возможность использования на локальной машине.

Несмотря на то, что национальный корпус русского языка имеет больший объем, емкость открытого корпуса (более 200 млн. словоупотреблений) является вполне достаточным для решаемых задач.

Следующим шагом являлась разработка алгоритма по нахождению упоминаний личности в тексте. Был проведен анализ систем семантического анализа текста по критериям, представленным в таблице: не требует участия человека для формирования выборки (1), возможность выделения фактов из текста (2), построение семантической сети текста (3), выделение внешнего описания человека в тексте (4), учет сложных синтаксических конструкций текста (5).

Сравнительный обзор систем семантического анализа текста

	1	2	3	4	5
Томига-парсер (Yandex)	–	+	+	+	+
AOT (www.aot.ru)	+	–	+	–	–
Fact extractor desktop (RCO)	–	+	+	+	–
Поисковые системы (google.com)	+	+	+	+	–
Semantix (Синергетические системы)	–	–	+	–	–

В результате сравнительного обзора были выявлены недостатки существующих на данный момент систем:

- 1) требуется предварительная настройка или наличие обучающей выборки;
- 2) представление результатов в неудобном и неструктурированном для пользователя виде;
- 3) отсутствие сформированной информационной модели внешнего вида человека.

Чтобы решить недостатки 1 и 2, были сделаны следующие допущения и ограничения на работу нашего алгоритма по нахождению упоминаний личности в тексте:

- 1) отсутствие четких правил для разрешения анафоры местоимений третьего лица;
- 2) упоминание во входном тексте только одной личности.

Индексация предложений с описанием человека проходит в два этапа. На первом этапе проводится лемматизация слов и нахождение ФИО человека. На втором этапе проводится поиск местоимений, которые согласуются по морфологическим признакам. Простота такого подхода и принятые допущения безусловно снижают универсальность и качество получаемых результатов, однако мы планируем исправить и усовершенствовать алгоритм.

4. Латентно-семантический анализ

В качестве индексирования текста на естественном языке применялся метод латентно-семантического анализа [5].

Минусы латентно-семантического анализа:

- скорость работы данного метода значительно ухудшается при увеличении объема входных документов;
 - латентно-семантический анализ не учитывает контекст документа.
- Положительные стороны латентно-семантического анализа:
- частичное снятие омонимии с индексированных слов;
 - в работе метода используются матрицы, которые являются результатом сингулярного разложения частотной матрицы.

Реализованный алгоритм работы латентно-семантического анализа, выводом которого является векторное пространство текста:

- 1) по входному тексту посчитать количество вхождений каждого слова в каждое предложение. Составить частотную матрицу;

- 2) применение оценки релевантности полученных результатов методом TF-IDF над частотной матрицей. TF-IDF является методом

взвешивания на основе комбинации частоты и обратной документной частоты [6];

3) использование сингулярного разложения над матрицей, полученной на втором этапе, для формирования матриц U , S , Vt , где U – пространство документов; Vt – пространство слов; S – диагональная матрица;

4) для матрицы Vt в дальнейшей работе метода не учитываются строки с индексом больше 2, а для матрицы U – столбцы с индексом больше 2;

5) определить индекс слота фрейма относительно остальных слов;

6) по матрицам Vt , U определить координаты ключевого параметра внешнего вида человека и всех документов.

Особенность сингулярного разложения матрицы в том, что оно выделяет ключевые составляющие матрицы, позволяя игнорировать шум.

Алгоритм сингулярного разложения матрицы:

1) пусть дана частотная матрица A . Тогда необходимо вычислить матрицу по формуле

$$B = A^t * A; \quad (1)$$

2) построить уравнение:

$$\det(B - \lambda * E) = 0; \quad (2)$$

3) если n – размерность матрицы, получаем степенное уравнение вида:

$$a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + \dots = 0; \quad (3)$$

4) если V – искомый собственный вектор, то найти собственные векторы можно следующим образом:

$$\det(B - \lambda * E)V = 0; \quad (4)$$

5) точно так же найти все собственные векторы, из которых сформировать матрицу U ;

6) сформировать матрицу S из корней собственных чисел, расположенных по диагонали;

7) рассчитать заключительную матрицу V по формуле

$$V^t = S^{-1} U^t A. \quad (5)$$

5. Определение элементов внешнего вида

Основная идея заключается в том, чтобы по морфологическим признакам определить качества, которые относятся к тем или иным слотам фрейма. В каждом индексированном предложении с найденным упоминанием о внешнем виде человека определяется позиция самого объекта и внешней характеристики. Если два слова расположены близко и совпадают по морфологическим признакам, то заполнить слот

фрейма. На данный момент отбор происходит исключительно по прилагательным, характеризующим качество объекта.

6. Понятие «фоторобот» и отличие от фотографии

Наука об описании человеческого лица и построении фоторобота называется *габитоскопией*. Портретная криминалистическая экспертиза является одной из форм портретной идентификации. Принцип фоторобота кардинально отличен от принципов живописного портрета или фотографии. Фоторобот составляется из фрагментов множества иных, неидентичных искомому лицу, через сведения отдельных типических черт и черточек (элементарных частиц человеческого облика).

В практике криминалистов фоторобот призван дать не точное изображение лица прототипа, но максимальное приближение к тому впечатлению от лица, которое сложилось в памяти очевидца. Таким образом, в отличие от фотографии (дающей мгновенный объективный слепок лица) и от портрета (где художник как будто нарочно умерщвляет лицо своей «модели», превращая само изображение в «модель восприятия»), фоторобот есть не что иное как неотрывное от воспринимающего субъекта-автора запечатление живого лица, лица из жизни, лица, проплывающего мимо нас в потоке времени. Это изменчивое лицо живого существа – открытое ко времени и ко множеству взглядов.

7. Системы построения фоторобота

Было проведен обзор и сравнение систем для построения фоторобота.

Программа Faces содержит более 9000 особенностей строения человеческого лица. Все отобранные части лица соединяются в единое целое, в результате чего получается фотография человека. Также в редакторе имеется возможность коррекции тона волос и внесение различных дополнений, таких как пирсинг, тату и т. п. Конечный результат – составленный со слов очевидца фоторобот – мало чем отличается от фотографии. В процессе составления фоторобота генерируется его уникальный код, по которому на любом рабочем месте может быть сгенерирован требуемый фоторобот.

«Каскад-Фоторобот» предназначен для автоматизации процесса составления портрета лиц мужского и женского пола, монголоидной

и европеоидной расы, в профиль и анфас. В данном программном продукте присутствуют такие дополнительные возможности, как коррекция элементов внешности (масштабирование, поворот, свободное трансформирование); дорисовка индивидуальных особенностей в ручном режиме (инструменты «кисть», «карандаш», «ластик», «аэрограф», «палец»); подготовка нескольких вариантов изображения одного человека.

3D-Фоторобот (3DHead) – это система, предназначенная для оперативной портретной идентификации (т. е. для построения портрета человека по памяти с целью идентификации), однако может быть использована не только правоохранительными органами для проведения розыскных мероприятий, но и в любых других областях, где требуется создание трехмерных моделей головы человека.

Традиционно программы этого класса представлены в виде библиотек готовых элементов лица, перебором которых нужно собрать образ, максимально приближенный к оригиналу. Эффективность их не высокая, так как для создания качественного образа нужны большие библиотеки, в которых трудно найти подходящий рисунок.

В этой системе использован другой подход – создана математическая модель головы человека, изменяя параметры которой можно получить практически любой тип лица и головы человека. То есть не нужно выискивать в списках похожий элемент лица – нужно только изменить связанные с этим элементом параметры модели, причем пересчет модели производится в реальном времени; по мере изменения любого параметра одновременно изменяется и образ на экране.

Однако у программы существует несколько серьезных недостатков: крайне сложный интерфейс, внушительная ресурсоемкость и самое длительное время построения фоторобота среди всех рассмотренных аналогов.

8. Синтез портретного изображения

В компьютерной графике давно известна и используется технология морфинга, позволяющая получать «среднее арифметическое» между несколькими изображениями. Если использовать ее для объединения нескольких фотороботов, узнаваемость итогового изображения заметно повышается. Морфинг может применяться и непосредственно при создании фотоботов.

Корректируя фоторобот с его помощью, можно добиться большего соответствия итогового изображения, чем при «сборке» лица из готовых частей, применяемой сейчас [7].

Для избавления от случайных шумов на изображении будет использоваться метод сглаживания. Сглаживание или анти-алиасинг является процессом, который пытается минимизировать появление ступенчатых или зубчатых диагональных границ, придающих тексту или изображениям грубый цифровой вид [8]. Сглаживание удаляет эти ступеньки и создает впечатление более мягких границ и высокого разрешения. Оно принимает во внимание, насколько идеальная граница перекрывает смежные пиксели. Ступенчатая граница просто округлена вверх или вниз без промежуточного значения; сглаженная граница выдает значение, пропорциональное тому, насколько много от границы попало в каждый пиксель.

Для реализации программы была собрана база данных изображений с частями лица. Каждое такое изображение было проиндексировано и отмечено, к какой части головы оно относится.

Общий принцип работы программы, построенной по принципу многокомпонентного программного обеспечения [9], заключается в следующем: пользователь вводит текстовое описание человека или подгружает его. Текст анализируется, формируется фрейм-экземпляр. По нему максимально близко выбирается изображение. После чего набор изображений komponуется в одно изображение (рис. 1). Также в данном программном продукте имеется возможность подобрать описание частей лица и вручную настроить их размеры (рис. 2).

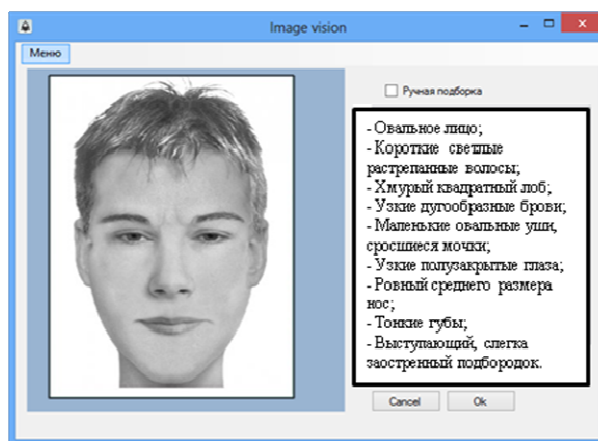


Рис. 1. Пример работы программы разрабатываемой системы

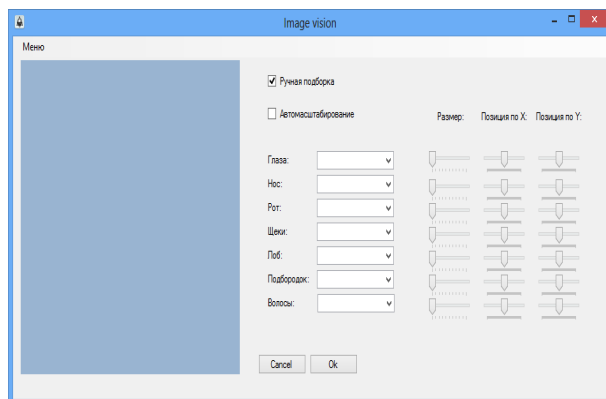


Рис. 2. Интерфейс программного продукта при ручном подборе описания человека

Заключение

В результате была разработана программа на языке Python 3.3 с использованием библиотеки морфологического анализа *rumorphy2*, выделяющая из текста внешнее описание человека по разработанным в ходе работы над проектом алгоритмами. Результаты показывают высокую точность распознавания. В ходе дальнейшей работы планируется решить следующие проблемы: разрешение омонимии на основе контекстных правил, использование семантического и синтаксического анализа языковых конструкций, улучшение алгоритма поиска личности, улучшение алгоритма разрешения анафоры. Синтез изображения и его коррекция могут быть проведены с учетом работ [10; 11]. Создание фоторобота человека играет важную роль не только в криминалистике, но и в других сферах жизни. Благодаря предлагаемой системе пользователю не надо будет делить лицо на несколько частей, чтобы составить фоторобот, ему следует просто представить описание человека, которого он видел, что достаточно упростит задачу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Automatic identification of time and space categories in the natural language text / А. С. Дмитриев, А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // *Applied Computing 2013 : proceedings of the IADIS International Conference (Fort Worth, Texas, USA, October 23-25, 2013) / IADIS (International Association for Development of the Information Society), UNT (University of North Texas)*. – [Fort Worth (Texas, USA)], 2013. – P. 187–190.
2. Солошенко, А. Н. Thematic Clustering Methods Applied to News Texts Analysis / А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. В. Заболеева-Зотова // *Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17–20, 2014) / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Tadashi Iijima ; Volgograd State Technical University [etc.]*. – [Б/м] : Springer International Publishing, 2014. – P. 294–310. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).
3. Солошенко, А. Н. Автоматизация семантического анализа новостных интернет-текстов / А. Н. Солошенко, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS-2014 : мат-лы IV Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 20–22 февр. 2014 г.)*. – Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, Администрация Парка высоких технологий. – Минск. – С. 435–438.
4. Методы и модели анализа данных OLAP и Data Mining / А. А. Баргесян [и др.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
5. Латентно-семантический метод извлечения информации из интернет-ресурсов / А. А. Стенин [и др.] // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Автоматика. Вычислительная техника*. – 2013. – Вып. 9, т. 4. – С. 19–22.
6. Маннинг, К. Д. Введение в информационный поиск / К. Д. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце ; пер. с англ. под ред. П. И. Браславского, Д. А. Ключина, И. В. Сегаловича. – М. : Вильямс, 2011. – 528 с.
7. Michael L. Matthews: Discrimination of Identikit constructions of faces: Evidence for a dual processing strategy / Michael L // *Perception & Psychophysics*, March 2008, Volume 23, Issue 2, pp 153–161.
8. Норвиг, П. Искусственный интеллект. Современный подход / П. Норвиг. – М. : ВИЛЬЯМС, 2006.
9. Formalization of initial stage of designing multi-component software / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, С. А. Фоменков, А. Б. Петровский // *Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23–26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society)*. – [Prague], 2013. – P. 107–111.
10. Розалиев, В. Л. Применение нейронных сетей и градиации при построении автоматизированной системы определения эмоциональных реакций человека / В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, О. С. Федоров // *Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ*. – Волгоград, 2010. – Вып. 9, № 11. – С. 63–68.
11. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А. С. Бобков, А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // *Открытое образование*. – 2011. – № 2. – С. 59–62.

УДК 004.93

*А. Б. Рогудеев, А. В. Матохина, Ю. Ф. Воронин***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ
ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК ИЗ ФОТОГРАФИЙ ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ****Волгоградский государственный технический университет**

rogudeevml@yandex.ru, matokhina.a.v@gmail.com, voronin@vstu.ru

Одной из проблем литья является проблема возникновения дефектов получаемых отливок. Способ ликвидации дефекта может быть разработан только при его правильной идентификации. В автоматизированной идентификации необходимо определить форму дефекта, которая имеет произвольный характер. Для этого был составлен метод, реализация которого была найдена в библиотеке компьютерного зрения OpenCV. В тексте статьи рассматривается данный метод и результаты его работы.

Ключевые слова: отливка, дефект, форма дефекта, контурный анализ, библиотека OpenCV.

*A. B. Rogudeev, A. V. Matokhina, Y. F. Voronin***CONTOUR ANALYSIS USE FOR AUTOMATIC DETERMINATION
A FORM OF THE CASTING DEFECTS FROM PHOTO OF THEIR SURFACES****Volgograd State Technical University**

One of the problems of casting is the defect's appearance problem in obtained castings. Method of defect's elimination can be developed only at its correct identification. In automated identification it is necessary to determine a form of a defect which has random character. For this it was compiled method which realization was found in computer vision library OpenCV. This method and results of its work is considered in the text of the article.

Keywords: cast; defect; form of a defect; contour analysis; OpenCV library.

Введение

Снижение брака отливок является важнейшей задачей литейщиков и зависит от квалификации специалиста, его представлений о разновидностях дефектов, причин их возникновения и способов ликвидаций. Наличие таких знаний позволяет не только раскрыть причину возникновения дефекта и ликвидировать его, но и разработать технологический проект с эффективными технологическими решениями, предупреждающими возникновение дефектов.

Одной из характеристик идентификации дефектов отливок является форма дефекта. Для ее определения из фотографии поверхности дефекта отливки был применен контурный анализ. Однако прежде чем применить данный метод на исходном изображении, необходимо было предварительно провести его обработку для того, чтобы убрать шумы и сделать границы на изображении более четкими. Реализация методов обработки или анализа изображения была взята из открытой библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Так как программа для тестирования этих методов была написана на C#, то соответственно для использования возможностей OpenCV была подключена ее обертка под .NET под названием EmguCV.

Предобработка изображения

Для повышения четкости изображения и уменьшения различных шумов была использована эрозия – метод морфологического сужения. В EmguCV данный метод можно вызвать с помощью процедуры `_Erode`, который применяет эрозию с использованием квадратного шаблона размером 3x3. В эту процедуру можно также передать количество итераций, т. е. сколько раз нужно применить данный метод.

В качестве тестового исходного изображения была взята фотография поверхности отливки, на которой содержатся дефекты в виде четырех округлых раковин, представленная на рис. 1.

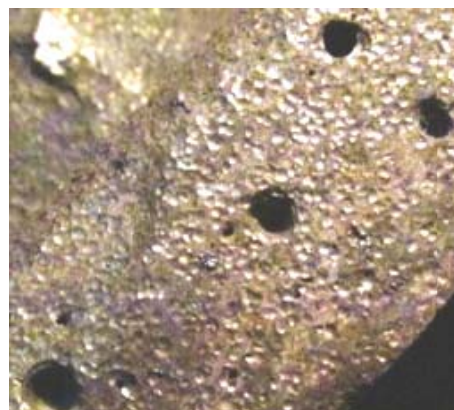


Рис. 1. Исходное изображение

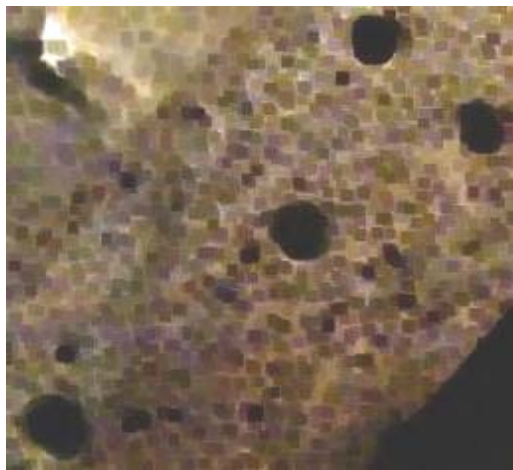


Рис. 2. Изображение после двойной эрозии

После применения эрозии был получен результат, представленный на рис. 2.

После применения эрозии границы дефектов являются более четкими, что позволяет улучшить результат следующего метода, применяемого для уменьшения количества незначительной для определения формы информации на изображении.

Вторым методом предобработки изображения является бинаризация – метод, который позволяет преобразовать цветное изображение в черно-белое. Так как наше изображение является цветным, то в EmguCV оно представлено классом `Image<Bgr, byte>`. Тогда метод бинаризации можно реализовать с применением двух функций – `Convert<Gray, byte>` и `InRange`. Функция `Convert` позволяет преобразовать исходное цветное изображение в изображение в оттенках серого, т. е. в изображение, где каждый пиксель характеризуется значением цвета от 0 (черный) до 255 (белый). Функция `InRange` принимает два числа – нижний и верхний порог, и возвращает черно-белое изображение.

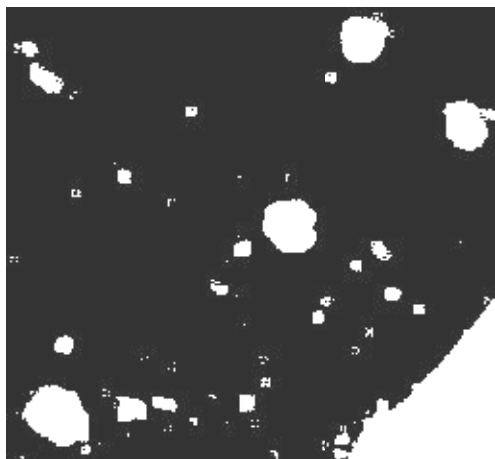


Рис. 3. Бинаризованное изображение

Принцип работы метода заключается в проверке цвета каждого пикселя на вхождение в отрезок, левой границей которого является нижний, а правой границей – верхний пороги. Если пиксель входит в отрезок, то его цвет меняется на белый, иначе – на черный. Пороги должны быть заданы пользователем самостоятельно. Результат работы данного метода представлен на рис. 3.

Как видно из рисунка, полученное бинаризованное изображение содержит в себе четыре округлых области, которые и являются искомыми дефектами. Однако оно также содержит множество мелких белых областей, не являющихся дефектами, и большую белую область в правом нижнем углу изображения. Соответственно, после применения контурного анализа данные области, не являющиеся дефектами, должны быть определенным образом выключены из рассмотрения.

Контурный анализ

К полученному бинаризованному изображению можно применить метод контурного анализа для поиска и выделения интересующих нас дефектов, содержащихся на изображении. Для этого в EmguCV существует метод `FindContours`, который принимает на входе следующие параметры:

- метод аппроксимации. Существует несколько методов, однако для нашей задачи был применен метод под названием «`CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE`»;
- режим поиска. Существует четыре режима, но для нашей задачи был применен режим «`CV_RETR_LIST`», который позволяет найти все контуры в виде списка.

Результат работы контурного анализа представлен на рис. 4.

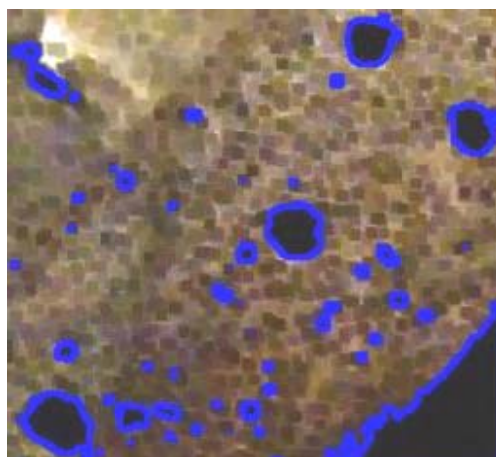


Рис. 4. Изображение с выделенными контурами

Как видно из рисунка, после применения контурного анализа были получены контуры как дефектов, так и областей, которые ими не являются. Поэтому для удаления этих областей из рассмотрения можно поступить следующим образом:

- сравнить площадь каждого полученного контура с задаваемым пороговым значением. Если площадь рассматриваемого контура окажется меньше порогового значения, значит, скорее всего, данный контур не является областью дефекта. Таким образом, можно будет убирать мелкие контуры, которые в большом количестве представлены на рис. 4 и являются шумами;

- позволить пользователю самостоятельно вычеркивать из рассмотрения контуры, которые точно не являются областями дефектов. На рис. 4 таким является контур в правом нижнем углу изображения.

После применения вышеперечисленных методов было получено изображение с контурами, являющимися областями дефектов, представленное на рис. 5.

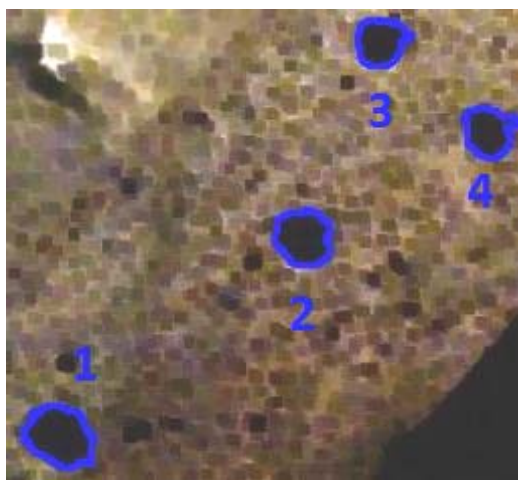


Рис. 5. Изображение с пронумерованными областями дефектов

Для нахождения формы полученных областей дефектов можно воспользоваться таким численным параметром, как округлость, которая определяется следующим соотношением:

$$c = \frac{p^2}{S},$$

где p – периметр области; S – площадь области.

Периметр области, ограниченной контуром, в EmguCV можно найти с помощью свойства контура `Perimeter`, а площадь – с помощью свойства `Area`. Значения округлостей для рас-

сматриваемых на рис. 5 областей дефектов приведены в таблице.

Значения округлостей дефектов

№ дефекта	Округлость
1	17,92
2	16,72
3	18,68
4	20,23

Для окружностей округлость принимает значение соответственно; по этому параметру можно оценить, является ли рассматриваемая область близкой к окружности или другой фигурой. Также можно предположить, что для областей, имеющих линейную форму, данный параметр стремится к гораздо большему, чем c , значениям.

Заключение

В результате данной работы было выявлено, что контурный анализ является эффективным методом определения формы дефектов отливок из фотографий их поверхностей. Однако для правильного определения изображение предварительно должно быть обработано с помощью методов эрозии и бинаризации, а также после применения контурного анализа должны быть удалены области, являющиеся шумами. Для реализации этих методов может быть использована открытая библиотека компьютерного зрения OpenCV.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин, Ю. Ф. Выделение и ликвидация литейных дефектов / Ю. Ф. Воронин, В. А. Камаев, А. В. Матохина. – М. : Машиностроение-1, 2014. – 424 с.
2. Михайлов, В. В. К вопросу о построении системы распознавания и подсчета животных на аэрофотоснимках. Ч. 1. Анализ методов распознавания / В. В. Михайлов, Я. В. Харин // Информационно-управляющие системы / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – СПб. – 2011. – № 2–51. – С. 22–28.
3. Камаев, В. А. Использование контурного анализа в задаче контроля качества абразивных материалов / В. А. Камаев, П. П. Кудряшов, А. А. Стец // Изв. ВолгГТУ / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. Т. 11. № 9. С. 53–56.
4. Robocraft. OpenCV [Электронный ресурс] / Robocraft. – [2014]. – Режим доступа : <http://robocraft.ru/page/open cv/> (дата обращения 16.07.14).
5. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2012. – 1104 с.

УДК 004.822

*Н. П. Садовникова, Е. П. Гнедкова, Д. А. Ширманова***ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ
ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В ОБЛАСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА*****Волгоградский государственный технический университет**

npsn1@ya.ru, lena.gnedkova@gmail.com

Проведен анализ проблемы использования онтологических моделей для поддержки принятия решений в управлении развитием городов. Проведена классификация задач управления развитием города. Определены цели управления для разных сфер деятельности. На основе проведенного системного анализа и выявленной специфики предметной области разработана онтологическая модель представления знаний для поддержки процессов принятия решений в области стратегического планирования развития города.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, модель представления знаний, онтология, управление развитием города.

*N. P. Sadovnikova, E. P. Gnedkova, D. A. Shirmanova***THE ONTOLOGICAL KNOWLEDGE REPRESENTATION MODEL,
SUPPORTING DECISION-MAKING PROCESSES IN THE FIELD
OF THE CITY STRATEGIC PLANNING****Volgograd State Technical University**

The problems of using ontological models to support decision making in the urban development management was analyzed. The tasks of the urban development control was classificated. The management objectives for the different fields of activity was defined. The ontological model for the knowledge representation of the decision support in the field of the city strategic planning was developed.

Keywords: support in decision-making, knowledge representation model, ontology, urban development management.

Цели стратегического планирования должны быть ориентированы на формирование комфортной, безопасной городской среды и на создание условий для самореализации жителей, развития экономики знаний и уникальных культурных пространств.

Процесс планирования развития города связан с разработкой стратегических решений, реализация которых обеспечивает формирование городской среды с учетом демографических процессов, экологии, ресурсного потенциала, потребностей внутреннего и внешнего рынка, историко-культурных традиций, а также определения перспективных направлений привлечения инвестиций [1–2].

В результате принятия и осуществления ошибочных решений нарушаются принципы устойчивого развития, появляются опасности, угрожающие жизнеспособности города.

Решения принимаются как на стратегическом уровне в процессе создания принципов управления, так и на оперативном в процессе выбора способов использования территории, распределения средств, изменения условий хозяйствования и пр.

Задача принятия решения формулируется следующим образом: какие действия необходимо предпринять для достижения заданных показателей развития города с учетом текущего состояния и факторов внешней среды.

Уровень качества принимаемых решений может оцениваться на этапах проектирования, разработки и функционирования различных городских подсистем. Оценка может производиться с целью взаимного сравнения с зарубежными образцами аналогичного целевого назначения, проверки соответствия новых проектов предъявляемым требованиям, выбора оптимального варианта и обоснования требований.

Современная городская среда является сложной системой, для эффективного управления которой необходимо использовать наиболее актуальные методы поддержки принятия решений. В области стратегического планирования развития города существует множество проблем связанных с информационно-аналитическим обеспечением: отсутствие единого информационного центра для хранения информации о состоянии городских систем и сервисов обслуживания жителей, отсутствие информационной базы для объединения междисциплинарных исследований. Также следует отметить,

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-07-00219.

что интересы населения, власти и бизнеса далеко не всегда лежат в одной плоскости, что зачастую приводит к появлению дополнительных проблем, требующих решения.

Успешное решение задач развития города невозможно без анализа информации о функционировании городских систем и сравнения альтернативных подходов к решению городских проблем. Необходимо анализировать различную информацию: экономическую, социальную, экологическую, технологическую. В связи с этим существует необходимость единообразного представления знаний разных предметных областей. Для этого нужны формализованные модели, которые обеспечивали бы обработку информации на семантическом уровне [3–4].

Использование формализованной модели позволит:

- повысить эффективность использования информации;
- объединить данные, полученные из различных источников, в единую базу знаний;
- создавать новые знания в области управления развитием города;
- сформировать новые процедуры подготовки, принятия и анализа решений, позволяющие обоснованно подходить к выбору проектов развития города.

Целью данной работы являлась разработка единой системы формального и декларативного представления знаний на основе онтологии для системы поддержки принятия решений в управлении развитием города.

Описание предметной области

В соответствии с основными принципами разработки систем принятия решений в области стратегического планирования развития города, были определены условия решения задачи, извлечены и структурированы знания предметной области.

Объектом управления является городская система, которая используется различными группами, зачастую преследующими противоположные интересы. Среди этих групп можно выделить население, администрацию города и различные хозяйствующие субъекты. В результате экспертного анализа были определены варианты использования городской среды и соответствующие цели, отражающие различные группы интересов:

- 1) оказание медицинских услуг;
- 2) обеспечение условий для развития культуры и спорта;
- 3) обеспечение образовательной деятельности;
- 4) обеспечение деятельности жилищно-коммунального хозяйства;
- 5) развитие торговли;
- 6) развитие промышленности;
- 7) развитие городской транспортной системы.

Соответственно, каждая цель может быть декомпозирована: например, развитие городской транспортной системы подразумевает:

- развитие общественного транспорта;
- развитие дорожно-транспортной инфраструктуры;
- организацию дорожного движения.

Для каждой цели выделены наборы атрибутов, описывающие городскую среду с соответствующей точки зрения. Для атрибутов определены их возможные значения и оценки этих значений в соответствии с целями.

Например, развитие городского общественного транспорта должно обеспечить надежное и безопасное перемещение жителей города с наименьшими затратами финансовых и природных ресурсов и наименьшим ущербом окружающей среде.

Фрагмент описания атрибутов для цели «Развитие общественного транспорта» приведен в таблице.

Описание атрибутов и их значений для цели «Развитие общественного транспорта»

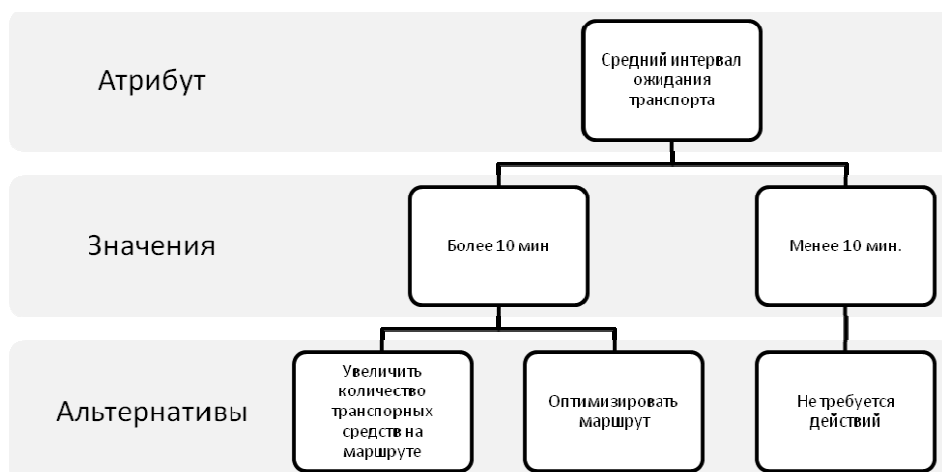
Атрибут	Приемлемо	Неприемлемо
<i>Плотность маршрутов</i> (отношения общей протяженности маршрутов к площади города)	2,0–3,5 км/км ²	Менее 2,0 км/км ²
<i>Средний интервал ожидания транспорта</i>	Менее 10 мин	Более 10 мин
<i>Техническое состояние подвижного состава (ПС)</i>	Более половины ПС эксплуатируется менее 10 лет	Более половины ПС эксплуатируется более 10 лет
<i>Коэффициент прямолинейности маршрутов</i> (длина маршрута делится на расстояние между начальной и конечной точкой маршрута по воздуху)	Менее 1,8	Более 1,8

Окончание таблицы

Атрибут	Приемлемо	Неприемлемо
Транспортная доступность	Половина трудовых передвижений осуществляются за время менее 60 мин	Половина трудовых передвижений осуществляются за время более 60 мин
Количество пассажиров на ед. площади транспортного средства	3–5 чел.	Менее 3 и более 5
Безопасность (количество аварий с участием общественного транспорта)	Снижается	Повышается
Себестоимость перевозок	Маршрут окупается	Маршрут требует субсидий
Температура воздуха в салоне	От +10 до +35 °С	Ниже +10 °С, выше +35 °С
Ежемесячные расходы на проезд в % к прожиточному минимуму	Менее 15 %	Более 15 %

Кроме того, для различных значений атрибутов можно определить альтернативы – решения и действия, которые необходимо предпринять для улучшения положения. На рисунке

приведен пример описания возможных альтернатив для атрибута «Средний интервал ожидания транспорта».



Фрагмент описания возможных действий для атрибута «Количество единиц транспорта»

Результатом данного этапа стало построение поля знаний предметной области, которое описывает основные понятия и взаимосвязи между ними, выявленные из системы знаний экспертов. Далее экспертные знания были формализованы в виде онтологии на языке OWL-DL. Создание онтологии для системы поддержки принятия решений в сфере стратегического планирования развития города осуществлялось в соответствии с концепцией интеграции онтологии и рассуждений по прецедентам, предложенной в работе [5].

Фрагмент иерархии онтологических концептов

1. Case – это прецедент, который описывает конкретный случай реализации каких-то действий. Содержит описание и оценки начального и конечного состояния того или иного городского объекта, а также набор действий, который были предприняты.

2. State – используется для описания состояния объекта в виде множества пар параметр – значение.

2.1. Общественный транспорт:

2.1.1. Интервал движения:

2.1.1.1. Приемлемо – достаточная частота движения транспорта.

2.1.1.2. Неприемлемо – слишком длинные периоды между прибытием транспорта.

2.1.2. Безопасность транспорта.

2.1.3. ...

3. Action – список возможных действий для изменения ситуации:

3.1. Обеспечение функционирования общественного транспорта:

3.1.1. Увеличение количества единиц транспорта на данном маршруте.

3.1.2. Организация капитального ремонта подвижного состава.

3.1.3. ...

- 3.2. ...
4. Assessment – варианты оценки ситуации с различных точек зрения:
 - 4.1. Общественный транспорт:
 - 4.1.1. Приемлемо.
 - 4.1.2. Удовлетворительно.
 - 4.1.3. Неприемлемо.
 - 4.2. Здравоохранение:
 - 4.2.1. ...
5. Взаимное влияние действий – знания о взаимовлиянии действий друг на друга (взаимное усиление или ослабление).

Предложенная модель представления знаний позволяет разделять знания, которые используются в процессе решения задачи. Модель представления прецедента обеспечивает повторное использование опыта из прошлого без необходимости выставления интегральных оценок прецедентам. Также данная модель позволяет организовать эффективный поиск по базе прецедентов [6].

Таким образом, была проведена классификация задач управления развитием города и определены цели управления. Также сформулированы требования к модели представления знаний. На основе проведенного системного анализа, выявленной специфики предметной области и требований к модели представления знаний разработана онтологическая модель представления знаний для системы поддержки

принятия решений в области стратегического планирования развития города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Sadovnikova, N.* Scenario forecasting of sustainable urban development based on cognitive model / N. Sadovnikova, D. Parygin, E. Gnedkova, A. Kravets, A. Kizim, S. Ukustov // Proceedings of the IADIS International Conference ICT, Society and Human Beings 2013, Proceedings of the IADIS International Conference e-Commerce 2013, pp. 115–119.
2. *Sadovnikova N., Parygin D., Gidkova N., Gnedkova E., Sanzhapov B* Evaluating the sustainability of Volgograd WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. T. 179 VOLUME 1. C. 279–290.
3. *Садовникова, Н. П.* Концептуальная модель процесса поддержки принятия решений в условиях неопределенности исходной информации на основе онтологического подхода / Н. П. Садовникова, Ю. С. Львова, Б. Х. Санжапов // Открытое образование. 2011. Ч. 2, № 2 (88). С. 185–187.
4. *Садовникова, Н. П.* Разработка концепции системы поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий / Н. П. Садовникова, Б. Х. Санжапов, Е. П. Гнедкова // Вестник ВолгГАСУ. Серия «Строительство и архитектура». 2011. № 25 (44). С. 427–432.
5. *Wriggers P., Siplivaya M., Joukova I., Kapysh A., Kultsov A.* Integration of a case-based reasoning and an ontological knowledge base in the system of intelligent support of finite element analysis // Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences, Vol. 14, No. 4: 753–765, 2007.
6. Разработка онтологической базы знаний для интеллектуальной системы поддержки принятия решений в сфере управления водохозяйственной системой / А. М. Дворянкин, М. Б. Кульцова, И. Г. Жукова, А. Е. Кульцов, А. С. Капыш // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 6. № 6. С. 95–99.

УДК 004.932.2

А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ СЮЖЕТОВ И ТЕМ ИЗ ПОТОКА НОВОСТНЫХ СООБЩЕНИЙ*

**Волгоградский государственный технический университет
nastyasolan@gmail.com**

Данная работа посвящена проблеме выделения сюжетов и тем из потока новостных сообщений. Кратко рассмотрены алгоритмы кластеризации, такие как алгоритмы k-средних, минимальное покрывающее дерево и др. Проанализированы результаты их работы на новостных текстах. В работе представлена методика комплексного анализа новостного текста, основанная на комбинации статистических алгоритмов извлечения ключевых слов и алгоритмов формирования семантической связности блоков текста. Особое внимание уделено особенностям структуры новостного текста.

Ключевые слова: тематическая кластеризация; алгоритмы кластеризации; новостные статьи; представление документов.

A. N. Soloshenko, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev AUTOMATIC ALLOCATION OF SUBJECTS AND THEMES FROM THE STREAM OF NEWS REPORTS Volgograd State Technical University

This paper is devoted to a problem of partition documents from the news flow into groups, where each group contains documents that are similar to each other. The existing clustering algorithms such as k-means, minimum spanning tree and etc. are considered and analyzed. It is shown which of these algorithms give the best results working with news texts. This paper also presents a methodic of comprehensive news texts analysis based on a combination of statistical algorithms for keywords extracting and algorithms forming the semantic coherence of text blocks. Particular attention is paid to the structural features of the news texts.

Keywords: thematic clustering, clustering algorithms, news articles, document representation.

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 13-07-00351, 13-07-97042, 14-07-97017, 15-07-07519).

Введение

В наши дни заметно усилилась проблема информационной перегрузки. В начале XXI века американская исследовательская служба Cyveillance сообщила о том, что количество страниц в Internet превысило 4 млрд, и с каждым днем увеличивается на 7 млн. В частности, темпы роста аудитории онлайн-новостных ресурсов практически вдвое превышают темпы роста общей численности пользователей интернета, составляя к сегодняшнему дню 43,2 % российских интернет-пользователей (исследование сотрудников Nielsen//NetRatings).

«Сырые» неструктурированные данные составляют большую часть информации, с которой имеют дело пользователи, поэтому многие организации и частные лица заинтересованы в эффективных технологиях автоматизированного анализа информации, представленной на естественном языке. При этом автоматическая кластеризация, т. е. выявление групп семантически похожих текстов, является одной из приоритетных задач, решаемых информационными системами.

На международном рынке представлено множество программных продуктов, предоставляющих функцию кластеризации текстовых документов.

Среди отечественных стоит выделить системы TextAnalyst, Galaktika-ZOOM, из зарубежных – мощный инструмент анализа текстов IBM Text Miner. В возможности TextAnalyst входит создание семантической сети большого текста, подготовка аннотации, автоматическая классификация и кластеризация текстов. IBM Text Miner содержит утилиты классификации, кластеризации, поиска ключевых слов и составления аннотации текстов. Однако на обработку новостных статей программы не направлены.

Российская система Яндекс Новости позволяет автоматически группировать данные в новостные сюжеты и составлять аннотации статей на основе кластера новостных документов. Сервис InfoStream обеспечивает доступ к оперативной информации в поисковом режиме с учетом семантической близости документов. Мобильный агрегатор новостей Summly, купленный в марте 2013 компанией года Yahoo!, также осуществляет группировку новостных статей по темам. Однако приложение абсолютно неприменимо для обработки текстов на русском языке.

Таким образом, существующие программные системы полностью не решают поставленную проблему. Основная идея заключается в разработке программного продукта для анализа новостных текстов, сочетающего кластеризацию новостных статей с комплексным анализом текста.

1. Особенности структуры новостного текста

Проанализировав ряд статей, представленных на известных новостных сайтах, таких как сайты газет «Lenta.ru», «NewsRu.com», «Коммерсант.ru», «Эксперт» (и других, относящихся к топ-30 новостных порталов Рунета), можно построить обобщенную структуру текста новости (рис. 1).



Рис. 1. Структура новостного текста

В ее основу заложен принцип «перевернутой пирамиды», который требует размещение основной информации в самом начале материала и последующее ее раскрытие далее по тексту в деталях [1]:

- заголовок новости отражает ее тему и содержит не более 10 слов (около 80 символов). Так, для примера, в Яндексе отображается не более 15 слов в тайтле; Google показывает до 70 слов;

- основные факты, касающиеся события, отражены в 1–2-м абзацах и составляют так называемый лид текста (освещает главную тему);

- 3-й и последующие абзацы составляют бэкграунд новости (контекст). Как правило, здесь раскрываются детали происходящего, дается информация, напрямую касающаяся новости.

Таким образом, для содержимого новости справедлива формула: (Who? + What? + Where? + Why? + When? + How?) [2]. Это так называемый закон «пять W и одно H», приписываемый Р. Киплингу. Если бы все новостные сообщения строились по единой структуре, то решение задачи кластеризации могло бы значительно упроститься.

2. Кластеризация новостного потока

Прежде чем перейти к описанию алгоритмов кластеризации, определим основные понятия исследуемой области.

Кластеризация – разбиение множества документов на кластеры – подмножества, параметры которых заранее неизвестны. Количество кластеров может быть произвольным или фиксированным. Основные группы алгоритмов кластеризации – это иерархические и плоские, четкие и нечеткие алгоритмы.

Иерархические алгоритмы строят не одно разбиение выборки на непересекающиеся кластеры, а систему вложенных разбиений. То есть на выходе мы получаем дерево кластеров, корнем которого является вся выборка, а листьями – наиболее мелкие кластеры. Плоские алгоритмы строят одно разбиение объектов на кластеры.

Четкие (непересекающиеся) алгоритмы каждому объекту выборки ставят в соответствие номер кластера, т. е. каждый объект принадлежит только одному кластеру. Нечеткие (пересекающиеся) алгоритмы каждому объекту ставят в соответствие набор вещественных значений, показывающих степень (вероятность) отношения объекта к кластерам.

2.1. Формализация задачи кластеризации документов

Рассмотрим задачу кластеризации документов более формально.

Пусть X – множество объектов; Y – множество номеров кластеров. Задана функция расстояния между объектами $\rho(x, x')$. Имеется конечная обучающая выборка объектов $X^m = \{x_1, \dots, x_m\} \subset X$. Требуется разбить выборку на непересекающиеся подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике ρ , а объекты разных кластеров отличались. При этом каждому объекту $x_i \in X^m$ приписывается номер кластера y_i [3]

2.2. Методы кластеризации

Далее рассмотрим лишь несколько алгоритмов кластеризации, оптимальных, с нашей точки зрения, для обработки новостного потока.

2.2.1. Метод агломеративной кластеризации

Иерархические алгоритмы разделяются на два вида: агломеративные (восходящие) и дивизимные (нисходящие). Первые строят кластеры снизу вверх, начиная с множества кластеров, содержащих по одному одиночному документу коллекции, затем последовательно объединяют пары кластеров, пока не получат

один кластер, содержащий все документы коллекции. Вторые разбивают кластеры сверху вниз, начиная с одного кластера, которому принадлежат все документы коллекции, затем этот кластер делится на два и так рекурсивно до тех пор, пока каждый документ не окажется в своем отдельном кластере.

Основное их различие заключается в выборе критерия, используемого для принятия решения о том, какие кластеры следует объединить на текущем шаге алгоритма. Большое пространство получили следующие критерии:

- одиночная связь (минимальное расстояние, или максимально сходство): сходство двух кластеров (сходство между их наиболее похожими документами);
- полная связь (максимальное расстояние, или минимальное сходство): сходство двух кластеров есть сходство между их наиболее непохожими документами;
- групповое усреднение (усреднение всех показателей сходства): сходство двух кластеров есть среднее сходство всех пар документов, включая пары документов из одного кластера, исключая близость документа самому себе;
- центроидный метод;
- метод Уорда [4].

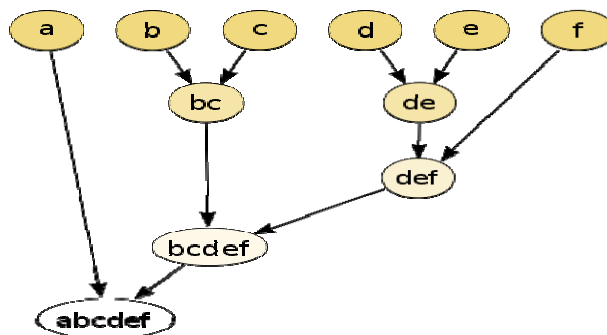


Рис. 2. Дендограмма (граф без циклов, построенный по матрице мер близости)

2.2.2. Алгоритм k -means (k -средних)

При заранее известном числе кластеров k алгоритм начинает с некоторого начального разбиения документов и уточняет его, оптимизируя целевую функцию – среднеквадратичную ошибку кластеризации как среднеквадратичное расстояние между документами и центрами их кластеров:

$$e(D, C) = \sum_{j=1}^k \sum_{i: d_i \in C_j} \|\vec{d}_i - \vec{\mu}_j\|^2, \quad (1)$$

где μ_j – центроид кластера C_j .

Обычно исходные центры кластеров выбираются случайным образом. Затем каждый документ присваивается тому кластеру, чей центр является наиболее близким документу, и выполняется повторное вычисление центра каждого кластера как центроида, или среднего своих членов. Такое перемещение документов и повторное вычисление центроидов кластеров продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто условие остановки. Условием остановки может служить: а) достигнуто пороговое число итераций; б) центроиды кластеров больше не изменяются и в) достигнуто пороговое значение ошибки кластеризации.

2.2.3. Нечеткие алгоритмы классификации – FCM

Нечеткий алгоритм классификации был предложен как решение проблемы мягкой кластеризации, то есть присвоения каждого документа более чем одному кластеру. Как и его четкий вариант, k-means, данный алгоритм, начиная с некоторого начального разбиения данных, итеративно минимизирует целевую функцию, которой является следующее выражение:

$$e_m(D, C) = \sum_{i=1}^{|D|} \sum_{j=1}^{|C|} u_{ij}^m \| \vec{d}_i - \vec{\mu}_j \|^2, \quad (2)$$

где m – степень нечеткости; $1 < m < \infty$, u_{ij} – степень принадлежности i -го документа j -му кластеру.

2.2.4. Алгоритм минимального покрывающего дерева

Алгоритм минимального покрывающего дерева сначала строит на графе минимальное покрывающее дерево, а затем последовательно удаляет ребра с наибольшим весом. На рисунке изображено минимальное покрывающее дерево, полученное для девяти объектов.

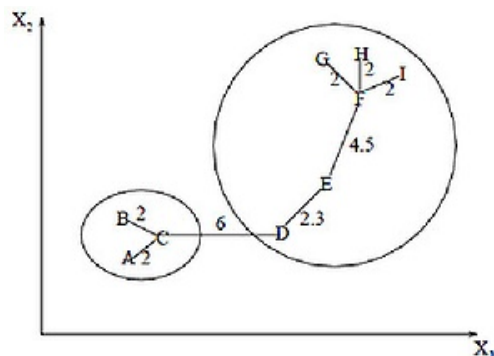


Рис. 3. Иллюстрация алгоритма MST

Путем удаления связи, помеченной CD, с длиной равной 6 единицам (ребро с максимальным расстоянием), получаем два кластера:

{A, B, C} и {D, E, F, G, H, I}. Второй кластер в дальнейшем может быть разделен еще на два кластера путем удаления ребра EF, которое имеет длину, равную 4,5 единицам [5].

2.2.5. Применение нейронных сетей

Алгоритм самоорганизующихся карт (SOM, Self Organizing Maps) был предложен как решение проблемы визуализации и кластеризации данных. Визуализация данных осуществляется путем проецирования многомерного пространства данных в двумерное пространство – карту данных. Такая карта, построенная для массива полнотекстовых документов, может служить как поисковый механизм, альтернативный поиску по запросу, предлагающий обзор/навигацию по коллекции документов [6].

Идея алгоритма заключается в том, чтобы обучить нейронную сеть без учителя. Сеть состоит из некоторого числа нейронов, упорядоченных по узлам двумерной сетки. Каждый нейрон имеет координаты в исходном $| \tau |$ -мерном пространстве документов и двумерном пространстве карты.

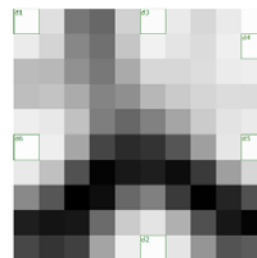


Рис. 4. Самоорганизующаяся карта из шести документов

В процессе обучения нейроны упорядочиваются в пространстве документов так, чтобы наилучшим образом описать входной массив документов. Этот процесс является итерационным, на каждой итерации t :

- случайным образом выбирают из входного массива $d_i \in D$;
- находят нейрон-победитель $m_c \in M$, ближайший к документу d_i ;
- корректируют веса нейрона-победителя, его соседей: $m_i(t+1) = m_i(t) + h_{ci}(t)[d_i - m_i(t)]$.

2.3. Сравнение методов кластеризации применительно к обработке новостных текстов

При выборе оптимального алгоритма кластеризации новостного потока необходимо учитывать его следующие особенности: постоянно растущая коллекция документов, одна и та же статья может отражать несколько сю-

жетов, новости имеют определенную структуру текста, разные части документа должны иметь различный вес при нахождении близости, сюжеты и документы могут иметь перекрестные ссылки друг на друга.

В соответствии с вышесказанным, проведем сравнение рассмотренных нами алгоритмов кластеризации новостного потока:

- агломеративный: иерархический, четкий, не требующий задания числа кластеров;
- K-means: плоский, четкий, требующий задания числа кластеров;
- FCM: плоский, нечеткий, требующий задания числа кластеров;
- MST: плоский, четкий, не требующий задания числа кластеров.

Для работы с новостными текстами желательно, чтобы алгоритм был плоским, нечетким, инкрементальным. Поэтому более перспективным методом для данной задачи видится применение алгоритма FCM или нейронных сетей.

Далее рассмотрим аспекты семантического анализа новостного текста.

3. Анализ новостного текста после кластеризации новостного потока

Новостные агрегаторы представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, решающие широкий круг задач: кластеризацию, ранжирование документов внутри кластера, обзорное реферирование, выявление ключевых лиц, тематическую классификацию и поиск по новостям и т. д. Семантический анализ является основной составляющей вышеперечисленных задач, его можно разбить на несколько этапов, рассмотренных далее.

3.1. Предварительная обработка текста новости

Графематический анализ представляет собой начальный этап обработки текста, в ходе которого вырабатывается информация, необходимая для дальнейшей обработки морфологическим и синтаксическим анализаторами. В задачу графематического анализа входит внутреннее представление структуры новости: $T = \langle P, S, W \rangle$, где P – абзацы; S – предложения; W – слова. При этом необходимо корректно выделить заголовки и первое предложение абзаца, содержащее основные факты статьи.

Следующим этапом является морфологический анализ, цель которого – построение морфологической интерпретации слов входного текста. Все методы можно разделить на сло-

варные и вероятностно-статистические (без использования словаря). Недостатками вторых являются большой объем лексиконов, плохая работа на малой выборке, отсутствие точных лингвистических методов. Словарный же метод основан на подключении словаря, тезауруса, дает максимально полный анализ словоформы.

Поэтому для данного блока целесообразно использовать морфологические библиотеки, например, Lemmatizer, FreeLing, NLTK, MCR, tokenizer [7].

3.2. Задача синтаксического анализа

Синтаксический анализ рассматривается как задача построения дерева зависимостей предложения. В ходе его проведения происходит выделение синтаксических конструкций, определение связности и подчинения фрагментов [8].

Приведем обзор основных инструментов синтаксического анализа, которые возможно использовать в своем проекте:

Модули синтаксического анализа

Название	Методы	Языки
AOT	Грамматика HPSG	Русский, английский, немецкий
MaltParser	Машинное обучение	Русский, английский
Link Grammar Parser	Грамматика связей	Русский, английский
NLTK	Машинное обучение	Английский
Solarix	Правила	Русский, английский

3.3. Поиск ключевых слов, построение аннотации

Для новостных текстов уже существуют программные модули для извлечения ключевых сущностей – к таковым относится PullEnti, полностью написанный на C#.NET.

Поэтому был разработан алгоритм поиска ключевых слов [9], сочетающий выделение именованных сущностей из текста новости (на основе результатов морфоанализа и подключаемого модуля PullEnti), подсчет веса слова с учетом частоты его встречаемости (рис. 5).

Пороговое значение для признания слова ключевым – это значение относительной частоты встречаемости слова-кандидата в ключевые слова, с индексом, равным $(0,2 \times \text{количество сущностей})$. Такое значение вычислено экспериментально на выборке из 100 текстов.



Рис. 5. Алгоритм поиска ключевых фраз

В итоге структуру совокупности знаний S текста новости можно определить следующим образом: $S = \{M, F\}$, где M – множество всех понятий данной совокупности знаний; F – отношение «смысловая связь». В качестве формальной модели структуры знаний можно ис-

пользовать семантическую сеть, определяемую в виде ориентированного графа $G = (E, V)$, где E – множество вершин, поставленное во взаимно однозначное соответствие с множеством понятий; V – множество ориентированных дуг; дуга выходит из вершины, соответствующей основному понятию A , и входит в вершину, соответствующую понятию, которое сочетается по смыслу с понятием A [10, 11]. Таким образом, содержание новости можно представить наглядно в виде ключевых понятий и связей между ними, либо в виде так называемой mind map или интеллектуальной карты (рис. 6).

Подсчет веса предложений при построении аннотации осуществляется в зависимости от его нахождения в тексте новости и рассчитывается по формуле

$$Ws = N(kw) \cdot Rf(kw) \cdot \text{Вес параграфа} \cdot k. \quad (3)$$

Здесь Ws – вес предложения; $N(kw)$ – количество вхождений ключевого слова в предложение; $Rf(kw)$ – относительная частота ключевого слова; вес параграфа – относительный вес параграфа в тексте, равен 0.35 для первого параграфа (лид), 0.2 для второго, 0.1 для остальных (контекст); k – коэффициент значимости предложения внутри параграфа. Для первого предложения в абзаце равен 1, для остальных – 0.8 [12].



Рис. 6. Интеллектуальная карта текста новости

В итоговую аннотацию включаются предложения с наибольшим весом, в зависимости от заданного коэффициента сжатия.

4. Основные результаты

Для проверки теоретических рассуждений была реализована система, основанная на принципе многокомпонентности программного обе-

спечения [13, 14, 15].

Был также проведен эксперимент [12], цель которого – доказать, что за счет автоматизации обработки статей новостного потока повысилась эффективность обработки новостных интернет-статей, то есть снизилось время на обработку и повысилось качество получаемого результата.

Были получены следующие результаты:

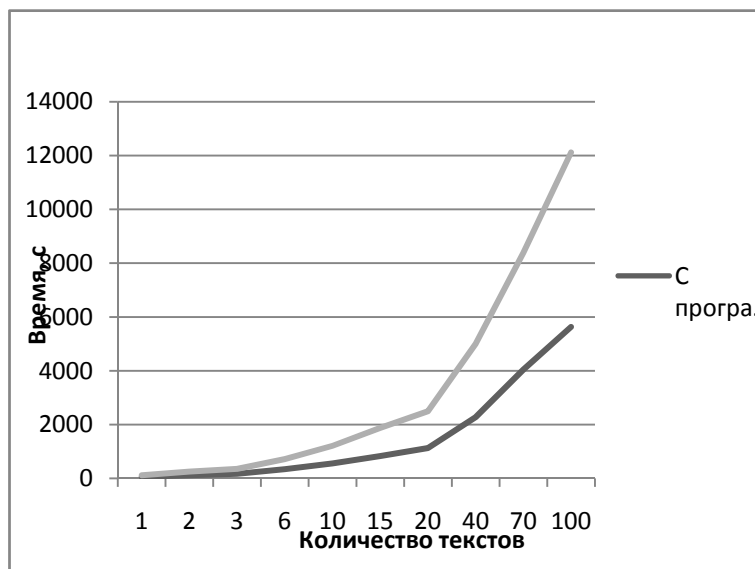


Рис. 7. Зависимость времени обработки от количества текстов

Время обработки уменьшилось как минимум в два раза. При этом время с помощью программы учитывает не только непосредственно время составления аннотации, но и время, необходимое для окончательной корректировки текстов.

Качество аннотации можно оценить по следующим критериям: сохранение ключевых фактов, связность новостной статьи, сохранение синтаксической структуры текста после удаления незначущих частей. Каждый из названных критериев оценивался экспертами по шкале от 0 до 10 баллов, затем для оценки качества полученной аннотации находилось среднее арифметическое трех показателей для каждого текста.

В результате качество обработанных новостей остается на том же уровне, как и при анализе текста человеком.

Заключение

Итак, анализ новостных текстов включает в себя задачу кластеризации и последующую комплексную обработку статей. Был проделан анализ новостного потока, выделены особенности документов. Проанализированы методы кластеризации для новостных статей, предложено наиболее подходящее для нашей задачи решение - алгоритм FCM или нейронные сети. Однако необходимо заметить, что оно не является единственно верным. Реализована часть системы онлайн агрегации новостей из интернет-источников и проведены исследования эффективности ее работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солошенко, А. Н. Автоматизированный анализ новостного потока из сети Интернет с учетом семантики текстов / А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 22. – Волгоград, 2014. – № 25 (152). – С. 80–85.
2. Добров, Б. В. Исследование качества базовых методов кластеризации новостного потока в суточном временном окне / Б. В. Добров // Труды 12-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» RCDL'2010, Казань, Россия, 2010. – С. 287–295.
3. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика : учеб. пособие / Е. И. Большакова [и др.]. – М. : МИЭМ, 2011. – 272 с.
4. Bandyopadhyay, S., Saha, S.: Unsupervised Classification. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
5. Pera, M.S., Ng, Y.-K.D: Using maximal spanning trees and word similarity to generate hierarchical clusters of non-redundant RSS news articles. In: J. Intell. Inf. Syst, vol 39, pp. 513–534.
6. Kiryakov A. Semantic annotation, indexing, and retrieval // Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web. – 2004. Т. 2. № 1. – С. 49–79.
7. Михайлов, Д. В. Морфология и синтаксис в задаче семантической кластеризации / Д. В. Михайлов, Г. М. Емельянов // Математические методы распознавания образов (ММО-14), Владимирская область, Суздаль, 21–26 сентября 2009 г. – С. 1–4.
8. Grune D. Tokens to Syntax Tree – Syntax Analysis. New York, NY: Springer New York. – 2012.
9. Солошенко, А. Н. Thematic Clustering Methods Applied to News Texts Analysis / А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. В. Заболеева-Зотова // Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volograd, Russia, September 17-20, 2014) / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Tadaschi Iijima ; Volgograd State Technical University [etc.]. – [Б/м] : Springer International Publishing, 2014. – P. 294–310. –

(Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).

10. Automatic identification of time and space categories in the natural language text / А. С. Дмитриев, А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // *Applied Computing 2013 : proceedings of the IADIS International Conference* (Fort Worth, Texas, USA, October 23-25, 2013) / IADIS (International Association for Development of the Information Society), UNT (University of North Texas). – [Fort Worth (Texas, USA)], 2013. – P. 187–190.

11. Машечкин, И. В. Латентно-семантический анализ в задаче автоматического аннотирования / И. В. Машечкин, М. И. Петровский // *Программирование*. – 2011. – Т. 37, № 6. – С. 67–77.

12. Солошенко, А. Н. Автоматизация семантического анализа новостных интернет-текстов / А. Н. Солошенко, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS-2014 : мат-лы IV Междунар. науч.-техн. конф.* (Минск, 20–22 февр. 2014 г.) / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, Администрация Парка высоких технологий. – Минск, 2014. – С. 435–438.

13. Орлова, Ю. А. Алгоритмическое обеспечение анализа текста технического задания и построения моделей программного обеспечения / Ю. А. Орлова // *Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»*. Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – № 6. – С. 68–72.

14. Formalization of initial stage of designing multi-component software / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, С. А. Фоменков, А. Б. Петровский // *Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013* (Prague, Czech Republic, July 23–26, 2013) : *Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013* / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 107–111.

15. Солошенко, А. Н. Automated abstraction methodics applied to internet news texts / А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // *Innovation Information Technologie : mater. of the 3rd Int. scien.-pract. conf.* (Prague, April 21–25, 2014). Part 3 / МИЭМ ВШЭ, Рос. центр науки и культуры в Праге. – М., 2014. – С. 75–81.

УДК 519.216

А. В. Старусев, В. И. Лобейко, С. П. Литвинов

МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Астраханский государственный университет

starusev-av@yandex.ru

Предлагается метод определения минимального необходимого числа экспериментов для выполнения требования технического задания с заданной доверительной вероятностью. Метод является универсальным, так как его применение возможно для оценки числа экспериментов при испытании сложных технических систем, разнообразных по составу и выполняемым задачам.

Данный метод позволяет планировать испытания разрабатываемых сложных технических систем с целью получения на их основе объективных данных об их качестве, соответствии техническому заданию на систему; при этом максимально сокращаются временные и материальные ресурсы на проведение необходимого числа экспериментов. Метод предполагает, что в процессе испытаний сложная техническая система не улучшается, то есть испытания независимы и производятся по схеме Бернулли, при этом число успешных экспериментов в испытаниях имеет биномиальное распределение.

Ключевые слова: сложная техническая система, техническое задание, эксперимент, вероятность, математическое ожидание, эффективная оценка.

A. V. Starusev, V. I. Lobeyko, S. P. Litvinov

METHOD OF PLANNING TESTS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

The Astrakhan State University

The method is proposed of definition the necessary minimal number of experiments to fulfill the requirement of the technical project with the given confidence probability. The method is universal because its application is possible to estimate the number of experiments in testing complex technical systems in variety compositions and tasks.

This method allows to plan tests of developed complex technical systems in order to obtain objective data based on their quality, conformity technical a building for system, and minimize the time and material resources to provide the necessary number of experiments. The method assumes, that the complex technical system does not improve in the course of testes, that is tests are independent and produced by the Bernoulli scheme, thus the number of successful experiments in tests has binomial distribution.

Keywords: complex technical system, the technical project, an experiment, the probability, a mathematical expectation, an effective evaluation.

Введение

Испытания представляют собой сложный процесс, характеризующийся огромной разнородностью решаемых задач, неоднородностью инфор-

мации, циркулирующей в самой системе испытаний, многообразием оцениваемых характеристик испытываемых систем, наличием сокращенного состава испытываемого образа системы.

Для специалистов, занимающихся испытаниями сложных технических систем, ясно, что оценки функционирования таких систем – это всегда творчество испытателей. Практика последних лет показала, что в приложении к сложным техническим системам к моменту начала испытаний у заказчика и разработчика нет полного состава требуемых моделей, которые позволяли бы на качественном уровне оперировать важными системными понятиями. Именно указанные ограничения обуславливают необходимость разработки методов планирования испытаний СТС (сложных технических систем).

Планирование испытаний разрабатываемых СТС с целью получения на их основе объективных данных об их качестве в связи с возрастающей сложностью систем, стоимостью их создания, ограничением времени [1] и объеме испытаний является весьма актуальным.

Постановка задачи

Для создаваемых СТС основной целью испытаний является проверка на соответствие их показателей качества требованиям, заданным в техническом задании на систему [2], [3].

$$M[P_N^*(\Theta_1)] = M\left[\frac{\Psi_N}{N}\right] = \frac{1}{N} M[\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_N] = \frac{1}{N} [M(\zeta_1) + M(\zeta_2) + \dots + M(\zeta_N)] = P(\Theta_1), \quad (3)$$

так как $M(\zeta_i) = 0P(\zeta_i = 0) + 1P(\zeta_i = 1) = P(\zeta_i = 1) = P(\zeta\Theta_1)$;

При определении качественных показателей испытываемых систем фиксируется только результат, успешным (Θ_1) или неуспешным (Θ_0)

Если считать, что СТС соответствует положению технического задания, то каким должен быть объем испытаний N для подтверждения данного факта с заданной доверительной вероятностью.

Метод решения

При решении данной задачи предполагается, что в процессе испытаний СТС не улучшается, то есть испытания независимы и производятся по схеме Бернулли [1], [2]. В этом случае число Ψ_N успешных экспериментов в N испытаниях имеет биномиальное распределение [3], [4]:

$$P(\Psi_N = i) = C_N^i P^i (1 - P)^{N-i}, \quad (1)$$

где P – параметр биномиального распределения, представляющий вероятность успешной работы в отдельном испытании.

Эффективная оценка P_N^* данного параметра равна величине [1], [2]

$$P_N^*(\Theta_1) = \frac{\Psi_N}{N}, \quad (2)$$

где Θ_1 – рассматриваемое событие.

Математическое ожидание и дисперсия данной оценки равны [5], [6]

было событие.

В формуле (3) случайная величина ζ_i принимает только два значения

$$\zeta_i = \begin{cases} 0 & \text{– испытание системы в } i\text{-м эксперименте было неуспешным;} \\ 1 & \text{– испытание системы в } i\text{-м эксперименте было успешным.} \end{cases} \quad (4)$$

$$D[P_N^*(\Theta)] = D\left[\frac{\Psi_N}{N}\right] = \frac{1}{N^2} [D(\zeta_1) + D(\zeta_2) + \dots + D(\zeta_N)] = \frac{P(\Theta_1)[1 - P(\Theta_1)]}{N}, \quad (5)$$

так как $D(\zeta_i) = P(\Theta_1)[1 - P(\Theta_1)]^2 + [1 - P(\Theta_1)][0 - P(\Theta_1)]^2 = P(\Theta_1)[1 - P(\Theta_1)]$.

Соответственно для текущей оценки вероятности успешного эксперимента можно $M[P_i^*(\Theta_1)] = P(\Theta_1); D[P_i^*(\Theta_1)] = \frac{P(\Theta_1)[1 - P(\Theta_1)]}{i}$.

Из формулы (5) следует, что наилучшей оценкой для $P(\Theta_1)$ является величина (2), так как она обладает наименьшей дисперсией. Если

в N независимых испытаниях получено Ψ_N успешных экспериментов, то с доверительной вероятностью $P_{\text{дов}}$ двусторонние симметричные интервалы изменения параметра P в функции распределения (1) определяются из уравнения Пирсона – Клоппера [6, 7].

$$\sum_{i=\Psi_N}^N C_N^i P_H^i (1-P_H)^{N-i} = \frac{1-P_{\text{ДОВ}}}{2}; \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^{\Psi_N} C_N^i P_B^i (1-P_B)^{N-i} = \frac{1-P_{\text{ДОВ}}}{2},$$

где $P(P_H \langle P \langle P_{\text{ДОВ}})$.

Обычно в техническом задании указывается верхний односторонний интервал изменения параметра P [1]. $P(P_H \langle P(1) = P_{\text{ДОВ}}$, нижняя граница которого P_H сравнивается со значением P_{T3} , определенным техническим заданием. В этом случае в зависимости от доверительного уровня $P_{\text{ДОВ}}$ значение P_H определяется из первого уравнения (6).

Тогда

$$\sum_{i=\Psi_N}^N C_N^i P_H^i (1-P_H)^{N-i} = 1 - P_{\text{ДОВ}}; \quad (7)$$

$$P(P) \langle P_H) = P_{\text{ДОВ}}.$$

Очевидно, требования технического задания будут выполнены с заданной доверительной вероятностью $P_{\text{ДОВ}}$ при таком числе экспериментов и числе успешных экспериментов Ψ_N , когда будет выполнено соотношение $P_N = P_{T3}$.

Следовательно, необходимое число экс-

риментов N для выполнения требований технического задания зависит от числа успешных экспериментов Ψ_N и доверительной вероятности $P_{\text{ДОВ}}$ [5]:

$$\sum_{i=\Psi_i}^N C_N^i P_{T3}^i (1-P_{T3})^{N-i} = 1 - P_{\text{ДОВ}}. \quad (8)$$

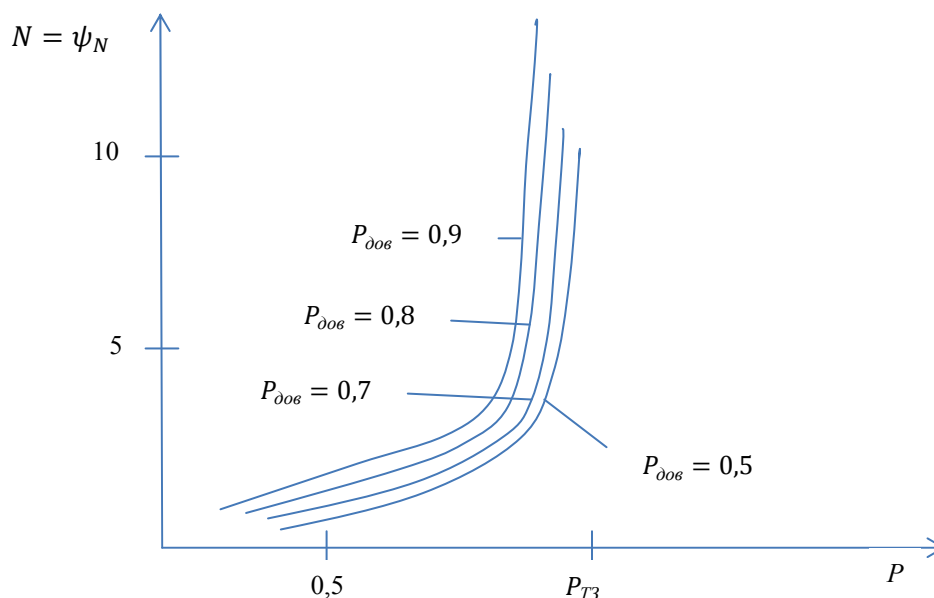
Поскольку заранее невозможно предсказать число успешных экспериментов Ψ_N при N экспериментах с испытываемой системой, требуется определить минимальное число N_{min} экспериментов, необходимое для подтверждения значения P_{T3} при заданной доверительной вероятности $P_{\text{ДОВ}}$.

Очевидно, что минимальное число экспериментов будет в случае, когда все они будут успешными, то есть при $N = \Psi_N$.

Тогда из (7) определим

$$N_{\text{min}} = \frac{\text{Lg}(1 - P_{\text{ДОВ}})}{\text{Lg}P_{T3}}. \quad (9)$$

На приведенном рисунке представлено минимальное число успешных экспериментов для получения заданного значения вероятности в техническом задании при доверительной вероятности равной 0,5; 0,7; 0,8; 0,9.



Минимальное число успешных экспериментов для получения заданного значения вероятности P_{T3} при $P_{\text{ДОВ}} = 0,5; 0,7; 0,8; 0,9$.

Из рисунка видно, что данный метод, в отличие от других методов [1, 3, 8, 9], позволяет прогнозировать необходимое минимальное ко-

личество экспериментов для выполнения требований технического задания с заданной доверительной вероятностью.

Заключение

Предложенный метод позволяет решать задачу планирования испытаний СТС и прогнозирования необходимого количества экспериментов для выполнения требования технического задания с заданной доверительной вероятностью.

Метод является универсальным, поскольку данные в нем рекомендации приемлемы для оценки числа экспериментов при испытании СТС, разнообразных по составу и задачам.

Определение необходимого минимального числа экспериментов для проведения планирования испытаний СТС является актуальным, так как необоснованное увеличение числа экспериментов ведет к повышению временных и экономических затрат.

Изложенный метод рекомендуется использовать на этапе планирования и проведения испытаний СТС для выполнения требования технического задания с заданной доверительной вероятностью. Метод позволяет получить, за счет минимального числа экспериментов, выигрыш в экономических и временных затратах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старусев, А. В. Метод повышения эффективности использования ресурсов ЭВМ / А. В. Старусев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань, – 2013. – № 1 (21). – С. 12–16.
2. Налимов, В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
3. Лобейко, В. И. Метод оценки критериев эффективности АСУ при заданном техническом требовании на систему / В. И. Лобейко, С. В. Поляков, А. В. Старусев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах: межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. Т. 4. № 13. – С. 138–142.
4. Буш, Р. Стохастические модели обучаемости: пер. с англ. / Р. Буш, Ф. Мостеллер. – М.: ФИЗМАТГИЗ, 1962. – 483 с.
5. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
6. Ван-Дер-Варден, Б. Л. Математическая статистика / Б. Л. Ван-Дер-Варден. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 434 с.
7. Фор, Р. Современная математика / Р. Фор, А. Кофман, М. Дени-Папен. – М.: Мир, 1966. – 272 с.
8. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2 т. Т. 2: пер. с англ. / В. Феллер. – М.: Мир, 1984. – 738 с.
9. Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 958 с.

УДК 623.618

А. В. Старусев, В. И. Лобейко, С. В. Поляков

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Астраханский государственный университет
starusev-av@yandex.ru

В статье предлагается метод статистического моделирования, позволяющий оценивать качество функционирования любой испытываемой автоматизированной системы управления (АСУ), а при достаточно большом числе экспериментов он может обеспечить любую точность.

Предложенный метод применим при испытаниях АСУ для оценки их технических характеристик. Метод позволяет сократить сроки испытаний и экономические затраты. При этом учитывается факт проведения проверки на достоверность полученных результатов оценок характеристик с результатами экспериментов. Метод статистического моделирования заключается в том, что показатели качества функционирования АСУ, зависящие от большого числа случайных факторов, вычисляются не по формулам, а с помощью так называемого розыгрыша. При этом исходим из того, что показатели эффективности АСУ являются математическими ожиданиями некоторых функций, характеризующих качество решения АСУ возложенных на них задач для различных обобщенных векторов состояния.

Ключевые слова: автоматическая система управления, статистическое моделирование, математическое моделирование, моделирование, оценка характеристик.

A. V. Starusev, V. I. Lobeyko, S. V. Polyakov

METHOD OF THE DECISION OF THE TASK OF TEST OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEMS WITH USE OF STATISTICAL MODELLING

The Astrakhan State University

In this article there is the method of the statistical modelling, which allows to estimate quality of functioning of any tested automated control system is offered, and at big enough number of experiments it can provide any accuracy.

We shall apply this offered method at tests of the management information system for the estimation of their technical characteristics. The method allows to reduce terms of tests and economic expenses. The fact of carrying out of check on reliability of the received results of estimations of characteristics is thus taken into account with results of experiments. A method of statistical modelling consists in parameters of quality of functioning the management information systems depending on the big number of random factors, are not calculated on formulas, and by means of, so-called drawing. Thus we recognize that indexes of efficiency of the management information system are expected values of some functions describing the quality of the decision to the expert of problems assigned to them for various generalized vectors of the state.

Keywords: an automatic control system, statistical modelling, mathematical modelling, modelling, an estimation of characteristics.

Введение

Существенное место при внедрениях АСУ на предприятиях занимают испытания для оценки их технических характеристик. При этом возникают такие проблемы, как полнота испытаний, повышение их экономичности и достоверности получаемых результатов, выбор путей совершенствования АСУ с целью повышения эффективности использования управляемых ими средств.

Практика испытаний [1, 2, 3] показывает, что оценить характеристики качества АСУ одними испытаниями реальной АСУ не представляется возможным из-за объективно существующей ограниченности условий их проведения.

Постановка задачи

Относительная длительность, необходимость расходования ресурса работы реальных средств и значительные экономические затраты на проведение натурных испытаний заставляют искать пути более рациональной организации работы при оценке характеристик систем управления. Ряд совершенно очевидных достоинств моделирования позволяет считать его в качестве одного из главных методов оценки характеристик систем управления. Однако при этом следует иметь в виду и основную трудность применения этого метода – полученные результаты требуют специальной проверки на достоверность сравнением с результатами натурных экспериментов. Метод статистического моделирования заключается в том, что показатели качества функционирования АСУ, сложным образом зависящие от большого числа случайных факторов, вычисляются не по формулам (часто эти формулы получить невозможно), а с помощью так называемого розыгрыша [4].

Метод решения

При решении этой задачи исходим из того, что показатели эффективности АСУ являются математическими ожиданиями некоторых функций $y(x)$, характеризующих качество решения АСУ возложенных на них задач для различных обобщенных векторов состояния $x \in X$, где X – множество обобщенных состояний АСУ. Если на множестве X определить вероятностную меру $\mu(dx)$, то показатели эффективности

$$R = \int y(x) \mu(dx). \quad (1)$$

При этом строится вероятностная модель исследуемого процесса функционирования АСУ и реализуется с помощью электронной вычислительной машины. Реализация модели на электронной вычислительной машине (решение задачи) представляет собой последовательное поэлементное теоретическое воспроизведение процесса, моделирующее реальную физическую АСУ.

При вычислении интеграла подобного (1) порядок расчета следующий:

1) формирование независимых друг от друга обобщенных векторов состояния: $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$;

2) запуск модели для различных x_j с целью получения выборки значений: $y(x_j) = E_j$, $j = 1, 2, 3, \dots, n$;

3) определение оценок:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_j. \quad (2)$$

Основанием для использования соотношения (2) служит тот факт, что среди линейных несмещенных оценок среднее арифметическое имеет наименьшую дисперсию. Для достаточно больших объемов выборок при контроле текущей точности оценок R используем дисперсию

$$D[\bar{R}] = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n [y(x_j) - \bar{R}]^2. \quad (3)$$

Возможности применения формулы (3) основаны на том, что среднее арифметическое $\bar{R}$ при достаточно большом n распределено нормально согласно центральной предельной теореме [5].

Основные преимущества изложенного метода состоят в простоте процедур постановки и обработки экспериментов на модели, высокой помехозащищенности к случайным ошибкам, возможным при проведении отдельных экспериментов на модели, а также в независимости скорости убывания погрешности от размерности вектора x . При этом необходимо учитывать, что закон распределения оценки (2) зависит и от распределения самого показателя эффективности АСУ, и от числа опытов. При реализации изложенного метода моделирования на электронной вычислительной машине число испытаний обычно бывает достаточно боль-

шим. Это позволяет сделать вывод, как отмечено ранее, о нормальном законе распределения оценок математического ожидания, дисперсии, вероятности события [5], что существенно упрощает анализ точности результатов моделирования.

На практике задача сводится к определению точности результатов по известному числу экспериментов n , или, наоборот – к выбору такого значения n , которое обеспечивает получение результатов с заданной точностью ψ . По существу это одна задача, решение которой основывается на взаимосвязи трех величин: числа экспериментов n , точности ψ и достоверности α результатов. Под достоверностью понимается доверительная вероятность

$$\alpha = p\{\alpha - \psi < \alpha < \alpha + \psi\}, \quad (4)$$

то есть вероятность того, что интервал $(\alpha - \psi, \alpha + \psi)$ со случайными границами (доверительный интервал) накрывает определяемый показатель качества АСУ α . В предлагаемом методе применяется метод автоматического контроля точности результатов моделирования с помощью электронной вычислительной машины. Сущность этого метода состоит в следующем: задаем первоначальное число экспериментов n (заведомо заниженное), а затем после каждого последующего эксперимента с помощью электронной вычислительной машины проверяем условие

$$\alpha \leq \alpha_{mp}, \quad (5)$$

где α, α_{mp} – соответственно текущее и требуемое значение относительной погрешности результатов.

При выполнении условия (5) расчет прекращается, и электронная вычислительная машина выдает результаты моделирования на печать.

Для оценки относительной погрешности α математического ожидания оцениваемого показателя качества АСУ и вероятности P оцениваемого события (4) используются формулы [3]:

$$\psi = t_{\alpha} \sqrt{\left[\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^{-2} - \frac{1}{n} \right] \frac{n}{n-1}}; \quad (6)$$

$$\psi = t_{\alpha} \sqrt{\frac{1-P}{Pn}}, \quad (7)$$

где $t_{\alpha} = \sqrt{2}\Phi^{-1}(\alpha)$; $\Phi^{-1}(\alpha)$ – функция, обратная функции Лапласа, то есть такое значение аргу-

мента, при котором функция Лапласа равна доверительной вероятности α (значения t_{α} табулированы и приведены в работе [6]). Для оценки относительной погрешности при вычислении дисперсии случайной величины x используется выражение

$$\psi = \frac{\sqrt{2}t_{\alpha}}{\sqrt{n-1}}, \quad (8)$$

из которого при заданном t_{α} нетрудно определить число экспериментов n , обеспечивающее требуемую относительную погрешность ψ .

Заключение

Метод статистического моделирования применим для оценки показателей качества любых испытываемых АСУ. При достаточно большом числе экспериментов данный метод обеспечивает любую точность и достоверность оценки показателей качества АСУ. Предложенный метод имеет достаточно простую вычислительную схему и малую чувствительность к случайным сбоям электронной вычислительной машины в процессе решения.

Основное преимущество изложенного метода состоит в простоте процедур постановки и обработки экспериментов на модели, высокой помехозащищенности к случайным ошибкам, возможным при проведении отдельных экспериментов на модели, а также в независимости скорости убывания погрешности от размерности вектора состояния системы.

Предложенный метод является универсальным, так как применим для оценки показателей качества любых испытываемых АСУ.

Изложенный метод рекомендуется использовать на этапе испытаний АСУ для оценки их технических характеристик, что позволит сократить сроки испытаний и экономические затраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старусев, А. В. Технология оценки показателей качества испытываемой сложной технической системы на основе использования данных о законах распределения информации, полученной в процессе испытаний / А. В. Старусев, С. В. Поляков, В. И. Лобейко // Инновационные информационные технологии в науке : Материалы I Международной научно-практической конференции. – Прага, 2012. – С. 295–298.
2. Лобейко, В. И. Метод оценки критериев эффективности АСУ при заданном техническом требовании на систему / В. И. Лобейко, С. В. Поляков, А. В. Старусев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия : Актуальные проблемы управления,

вычислительной техники и информатики в технических системах : межвуз. сб. науч. тр. / ВолГТУ. – Волгоград, 2012. № 4. Выпуск 13. С. 138–142.

3. Камаев, В. А. Расчет траектории движения мобильного робота с гусеничным движителем для применения в алгоритме RRT / В. А. Камаев, А. И. Крыжановский, И. Ю. Никлаев, П. С. Пыхтин // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия : Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах : межвуз.

сб. науч. тр. / ВолГТУ. – Волгоград, 2013. № 24. Вып. 19. С. 38–43.

4. Поляк, Ю. Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах / Ю. Г. Поляк. – М. : Сов. радио, 1971. – 400 с.

5. Ван-Дер-Варден, Б. Л. Математическая статистика / Б. Л. Ван-Дер-Варден. – М : Изд-во иностранной литературы, 1960. – 434 с.

6. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.

УДК 519.713.1

О. А. Сычев, Е. К. Лепилкина

ПРОБЛЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОГО КОНЕЧНОГО АВТОМАТА РЕГУЛЯРНОГО ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ К НЕМУ АЛГОРИТМА ПЕРЕСЕЧЕНИЯ АВТОМАТОВ

Волгоградский государственный технический университет

oasychev@gmail.com, eklepilkina@gmail.com

В статье рассмотрена проблема поддержки простых и сложных утверждений в типе вопроса Preg СДО Moodle. Описаны требования к недетерминированному конечному автомату для реализации сложных утверждений посредством метода пересечения автоматов. Описаны возможные методы слияния незахватывающих переходов в автомате. Обоснован выбор наиболее эффективного метода слияния на основе результатов эксперимента по сравнению их производительности на большом количестве тестовых примеров.

Ключевые слова: регулярные выражения, утверждения, конечный автомат.

О. А. Sychev, E. K. Lepilkina

THE PROBLEM OF TRANSFORMATION OF NONDETERMINISTIC FINITE AUTOMATON OF REGULAR EXPRESSION AS PREPARATION FOR AUTOMATA INTERSECTION ALGORITHM

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the opportunity of realization of simple and complex assertions in Preg question type for the Moodle LMS. Authors formulate requirements to the nondeterministic finite automaton for implementing complex assertions using automata intersection algorithm method. The paper describes possible methods of merging non-capturing transitions of automaton. The best method was picked after experiment, comparing performance of both methods on vast number of regular expressions.

Keywords: regular expressions, assertions, finite automaton.

Введение

С каждым годом все больше учебных заведений используют системы дистанционного образования для обучения и проверки знаний студентов [1]. Во многих случаях, для большей эффективности тестов удобно использовать тестовые вопросы в открытой форме, с ответом в виде строки текста. Такие вопросы способствуют более активным размышлениям обучаемого над ответом вместо попыток угадать его, характерных для вопросов в закрытой форме [2]. Ответы могут формироваться как на естественном (фрагменты медицинских диагнозов, простые предложения), так и на формальном (языки программирования, математические формулы) языке. Однако в большинстве случаев вопросы в открытой форме с текстовым от-

ветом сложны для составления из-за значительной вариативности правильных ответов, которая создает трудности для перечисления их всех автором вопроса.

Одним из наиболее эффективных способов устранения этого недостатка является использованием шаблонов строк в виде регулярных выражений [3]. На кафедре ПОАС ВолгГТУ был разработан специальный тип вопроса Preg в виде модуля для широко распространенной системы дистанционного образования Moodle [4]. Модуль Preg предоставляет не только возможность определения совпадения ответа студента с перл-совместимым регулярным выражением [5], описывающим правильный ответ, но и показывает правильную часть ответа до первой ошибки, а также позволяет генериро-

вать подсказки следующего символа и следующей лексемы, что позволяет студентам разобраться в сложном вопросе самостоятельно при использовании тренировочных тестов. Поэтому подсистема, занимающаяся в нем обработкой регулярных выражений, должна не только определять совпадение ответа студента с регулярным выражением, но и генерировать продолжение частичного совпадения.

Одной из важных особенностей перл-совместимых регулярных выражений является возможность использования утверждений [6]. Утверждения позволяют проверить истинность или ложность условий в определенный момент совпадения, они отличаются от других элементов регулярных выражений тем, что не продвигают позицию совпадения в строке. Утверждения делятся на простые и сложные.

Простые утверждения – это заранее предопределенные условия, являющимися операндами регулярных выражений. Некоторые из них позволяют проверить условия, не сводимые к совпадению с символами в строке: это условия начала строки или всего текста, в котором ищется совпадение (^, \A) и конца строки или текста(\$, \z, \Z). Поскольку обычно поиск совпадения по регулярному выражению ведется внутри заданного текста (в нашем случае – ответа студента), и правильным будет считаться любой ответ, содержащий его внутри, использование утверждений начала (конца) строки необходимо, чтобы задать регулярное выражение, которое должно совпасть со всем ответом студента, либо же находиться в его начале (или конце). К простым утверждениям относятся также условия наличия/отсутствия границы слова (b, \B), которые популярны при составлении регулярных выражений для отдельных слов или словосочетаний в ответе – например, регулярное выражение «\bбеда\b» не найдет совпадения внутри слова «победа», так как оно требует наличия границы слова до и после последовательности символов «беда».

Сложные утверждения являются операциями: проверяемые условия задаются автором регулярных выражений в виде их операнда, которым может быть произвольное регулярное выражение (подшаблон). Сложные утверждения делятся на смотрящие вперед и смотрящие назад, в зависимости от того, в какую сторону от текущей позиции они проверяются: смотрящие вперед пытаются сопоставить подшаблон с последующими символами, а смотрящие назад –

с предыдущими. При этом сложные утверждения могут быть также положительными (совпадение со всем регулярным выражением успешно продолжается, если с точки проверки было найдено совпадение с подшаблоном) и отрицательными или негативными (совпадение продолжается, если с точки проверки не было найдено совпадения с подшаблоном).

Сложные утверждения, как правило, могут быть заменены эквивалентным регулярным выражением без использования утверждений, однако регулярное выражение при этом может стать значительно сложнее, что создает проблемы при создании и редактировании вопроса. Чаще всего используют отрицательные назад смотрящие утверждения, например, проверяя отсутствие специальных символов экранирования (обычно обозначаемых обратной дробной чертой в нечетном количестве) перед служебными символами в различных языках программирования (а также в случае, если проверяется знание самих регулярных выражений). При ответах на естественном языке отрицательные назад смотрящие утверждения могут быть полезны, например, в случае если вы определяете правильность ответа по наличию ключевого слова или фразы, но хотите удостовериться что перед ними не стоит «не» или «нет», что резко меняет смысл ответа.

Поддержка утверждений при использовании метода конечных автоматов

В качестве метода поиска совпадений с регулярными выражениями и генерации продолжения частичных совпадений в модуле Preg используется метод недетерминированных конечных автоматов (НКА) [7]. При этом используются теговые НКА, предложенные Вилли Лаурикари [8], которые позволяют сократить количество используемой в процессе поиска совпадения памяти.

Единственная библиотека поиска совпадения с регулярными выражениями, которая в настоящий момент поддерживает утверждения в полном объеме – это PCRE [9]; при этом используется метод перебора с возвратом для определения совпадения. Этот метод позволяет легко проверять утверждения (в том числе сложные) в любой точке регулярного выражения вызовом соответствующей процедуры. Однако он практически неприменим при необходимости генерации продолжения регулярного выражения с утверждениями, поскольку в этом

случае на генерацию каждого символа влияет множество факторов, которые могут быть расположены в различных местах регулярного выражения и отсутствовать в данной точке перебора с возвратом. Даже используя простые утверждения границ слова, можно построить цепочки вида $[a!]\backslash b[b?]\backslash b[c.]\backslash bx$, в которых последний символ влияет на то, какие из символов допустимы на каждой позиции регулярного выражения (сравните допустимые варианты совпадения для этого регулярного выражения с теми, которые получаются при замене в нем буквы «х» на знак препинания). При использовании же сложных утверждений на некоторое место, для которого необходимо сгенерировать символ, может влиять произвольное количество утверждений, расположенных в различных частях регулярного выражения, учесть которые на данном шаге перебора с возвратом практически невозможно. Поэтому в качестве перспективного был выбран способ модификации конечного автомата регулярного выражения для поддержки утверждений.

Простые утверждения в автомате можно представлять в виде перехода, который не изменяет позицию сравнения в строке (не «съедает» символ). Однако такой подход хорошо работает только в процессе определения совпадения. Важнейшим условием генерации продолжения совпадения с использованием конечных автоматов является возможность инкапсулировать процедуру генерации очередного символа в классе перехода автомата, т. е. каждый переход должен иметь возможность генерировать очередной символ автомата (либо признак невозможности его сгенерировать, либо пустоту, если символа при этом переходе не требуется), не обращаясь к дополнительным данным. Нарушение этого принципа приводит к значительному усложнению алгоритма генерации в общем случае. Однако даже простые утверждения начала строки $\wedge$ и конца строки $\$$ могут в многострочном режиме влиять на предыдущий (начало строки) или следующий (конец строки) переход, так как в некоторых ситуациях они требуют наличия символа перевода строки до или после условия соответственно. Такую ситуацию могут иллюстрировать регулярные выражения (в многострочном режиме!) $xyz[ab!\backslash n]^\wedge xyz$ и $xyz\$[ab!\backslash n]xyz$ – в обоих случаях реально допустимым символом из символьного класса будет только перевод строки, генерация любого другого приведет к невозможности

совпадения сгенерированной строки с регулярным выражением.

Значительно серьезнее эта ситуация проявляется для простых утверждений границ слова – $\backslash b$ и $\backslash B$. Эти утверждения проверяют условия, как для предшествующего, так и для последующего символа в совпадении, причем каждый из них имеет четыре варианта реализации, так, например, граница слова – это:

- 1) символ слова (буква, цифра или подчеркивание), за которым следует символ, не принадлежащий слову;
- 2) символ, не принадлежащий слову, за которым следует символ слова;
- 3) символ слова в начале строки;
- 4) символ слова в конце строки.

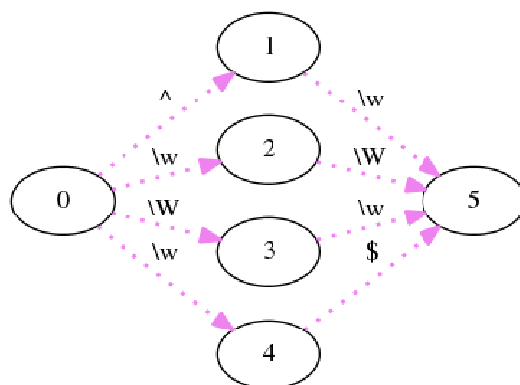


Рис. 1. Эквивалентный автомат для утверждения границы слова $\backslash b$

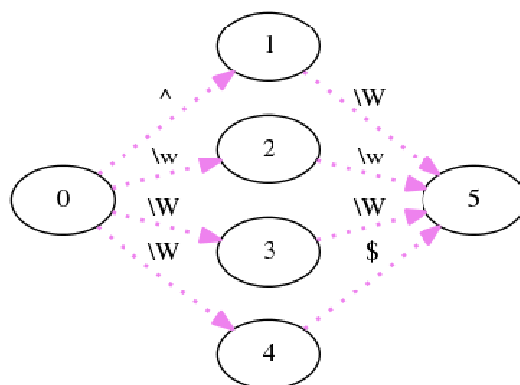


Рис. 2. Эквивалентный автомат для утверждения отсутствия границы слова $\backslash B$

Эти варианты могут быть представлены в виде альтернатив (см. рис. 1 и 2), причем пунктирный характер линий, что все переходы не захватывающие, т. е. не вызывающие смещения позиции совпадения. При этом позиция проверки условия (положения оригинального утверждения в регулярном выражении и соответствующего перехода в автомате) будет соответ-

ствовать линии узлов 1-2-3-4, т. е. переходы, начинающиеся в узле 0, будут влиять на символ (переход) левее точки проверки, а заканчивающиеся в узле 5 – на символ (переход) правее.

Для построения конечного автомата, способного генерировать продолжение совпадения при использовании сложных утверждений, необходимо использовать алгоритм пересечения автоматов, так как одновременная проверка и истинности утверждения, и совпадения с основным регулярным выражением эквивалентна поиску совпадения с пересечением этих автоматов. Однако для выполнения классического алгоритма пересечения автоматов должно выполняться условие, что все переходы в автоматах, которые будут пересекаться, должны захватывать ровно по одному символу, либо оба должны быть пустыми (ϵ -переходами) без тегов, которые можно игнорировать [10]. Поэтому перед проведением пересечения необходимо провести преобразование, которое бы устраняло самостоятельные незахватывающие переходы, образованные простыми утверждениями или пустыми переходами с тегами.

Требования к конечному автомату регулярного выражения для корректной работы алгоритма пересечения автоматов

Учитывая изложенные выше свойства используемых в работе алгоритмов, авторы выдвинули следующие требования к конечному автомату регулярного выражения для корректной работы алгоритма пересечения автоматов:

1) в автомате не должно быть переходов, не захватывающих символы, кроме пустых переходов. Это необходимо для корректной работы алгоритма пересечения автоматов. Достигается это применением алгоритма слияния нескольких переходов в один так, чтобы они выполнялись до или после него. При этом допускаются незахватывающие переходы в самом начале и конце автомата, поскольку для них могут отсутствовать захватывающие переходы, с которыми они сливаются; при этом проблему пересечения можно решить переносом точки начала пересечения к началу первого захватывающего перехода.

2) простые утверждения начала строки (текста) должны сливаться с предыдущими захватывающими переходами ввиду того, что при генерации продолжения совпадения они могут повлиять на генерацию предыдущего символа. Пример такого преобразования показан на рис. 3 и 4;

3) простые утверждения конца строки (текста) должны сливаться со следующими захватывающими переходами, так как при генерации продолжения совпадения они могут повлиять на генерацию следующего символа;

4) пустые ϵ -переходы могут быть слиты как с предыдущими, так и со следующими переходами;

5) слияние должно производиться со всеми входящими/выходящими из заданного состояния переходами (рис. 5 и 6).

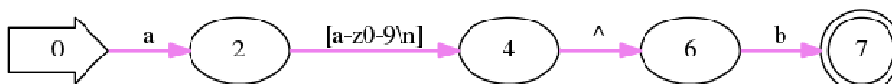


Рис. 3. Автомат для регулярного выражения $a[a-z0-9\n]^b$ до преобразования

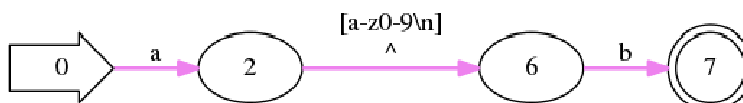


Рис. 4. Автомат для регулярного выражения $a[a-z0-9\n]^b$ после преобразования

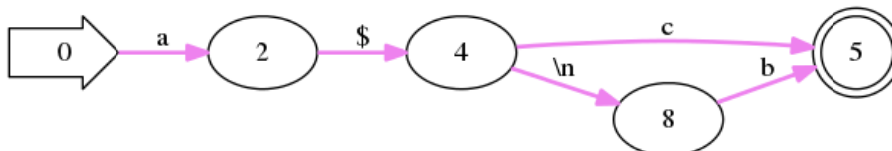


Рис. 5. Автомат для регулярного выражения a(c|\nb)$ до преобразования

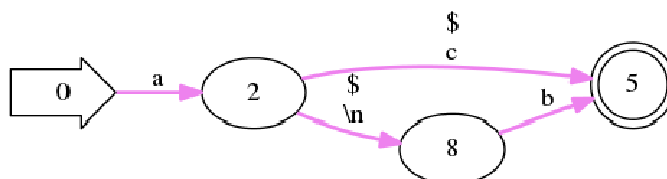


Рис. 6. Автомат для регулярного выражения a(c|\nb)$ после преобразования

6) слияние должно выполняться с сохранением тегов для выявления совпадений подвыражений;

7) простые утверждения наличия/отсутствия границы слова должны представляться в виде конечных автоматов, представленных на рис. 1 и 2; при этом переходы, начинающиеся в узле 0, сливаются с предыдущими переходами, а переходы, заканчивающиеся в узле 5 – с последующими;

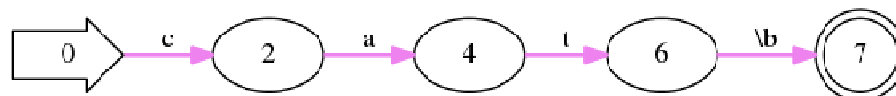


Рис. 7. Автомат для регулярного выражения cat\b до преобразования

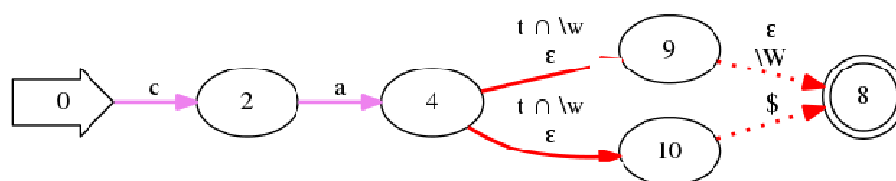


Рис. 8. Автомат для регулярного выражения cat\b после преобразования

9) пустой переход может остаться только, если он связывает начальную и конечную вершину автомата (т. е. все регулярное выражение совпадает только с пустотой);

10) при выполнении слияния переходы, с которыми невозможно совпадение, должны быть удалены. После слияния из автомата должны быть удалены все тупиковые состояния, т. е. состояния из которых нельзя попасть в конечную и начальную вершины.

Обсуждение

Как видно из приведенных выше критериев, автомат необходимо преобразовать к определенному виду до того, как будет возможно использование алгоритма пересечения конечных автоматов, который позволяет поддерживать сложные утверждения при генерации совпадения с регулярным выражением методом конечных автоматов. Также без данных преобразований нельзя полностью поддерживать корректную генерацию продолжения при наличии простых утверждений.

Существует два возможных варианта реализации алгоритма слияния, удовлетворяющего поставленным выше требованиям: после построения автомата или во время его построения. Оба способа имеют как достоинства, так и недостатки. Рассмотрим их подробнее.

При использовании метода слияния после построения автомата:

8) в случае, если левую или правую часть альтернативы, оставшейся от \b нельзя пересечь из-за того, что \b(\B) находится в начале/конце автомата, то оставшиеся переходы должны остаться в автомате и быть отмечены как не входящие в длину совпадения (они будут оказывать влияние на наличие или отсутствие совпадения, однако в длину совпавшей части включаться не должны – см. рис 7 и 8);

1) проще работать с тегами, так как на момент слияния все теги уже расставлены;

2) проще представлять простые утверждения границы слова в виде альтернативы, так как уже все переходы построены и известно, какие из них следует пересекать с ветвями альтернативы.

При использовании метода слияния во время построения автомата:

1) не требуется дополнительный обход по автомату, особенно, если автомат большой, это существенно сказывается на производительности;

2) есть сведения о том, какая операция строится на данный момент в автомате, что в сложных случаях также является необходимым, чтобы провести правильное слияние.

Так как система дистанционного обучения Moodle является веб-приложением с клиент-серверной архитектурой, то при работе по сети с одновременным оцениванием ответов на вопросы большого количества пользователей (например, тестирование группы студентов) очень важным критерием остается производительность.

Для проверки производительности были реализованы в виде прототипов оба метода слияния: как во время, так и после построения автомата. Был проведен эксперимент на основе модульных тестов определения совпадения регулярными выражениями и генерации продолжения в случае неполных совпадений. Использовались как тесты известные тесты с от-

крытым исходным кодом (PCRE, testregex), так и самостоятельно составленные тесты (также подразделявшиеся на общие и специально составленные для проверки методов реализации слияния переходов автомата). Прохождение 3976 тестов при применении метода слияния после построения автомата заняло 2 минуты 34 секунды, а при слиянии во время построения – 1 минуту 32 секунды. Таким образом, гипотеза о том, что дополнительная обработка после непосредственного построения автомата будет занимать больше времени, подтвердилась. Поэтому для реализации подготовки конечного автомата к применению алгоритма пересечения при реализации сложных утверждений был выбран метод слияния, применяемый во время построения автомата.

Применение описанных методов преобразований недетерминированных конечных автоматов позволит достичь следующих результатов:

1) использовать простые утверждения в регулярных выражениях, описывающих правильные ответы на тестовые вопросы типа Preg в СДО Moodle с полностью корректной генерацией продолжения частичного совпадения (подсказки) в любых случаях;

2) подготовить автоматы для корректной работы алгоритмов пересечения, что позволит поддерживать регулярные выражения, содержащие сложные утверждения, в том числе с возможностью генерации совпадения с регулярным выражением.

Добавление возможности поддержки простых и сложных утверждений в регулярных выражениях в плагин Preg для СДО «Moodle» позволит расширить спектр возможностей авторов курсов при составлении ответов на от-

крытые вопросы в виде регулярных выражений, обеспечив более удобную поддержку многострочного режима, удобное определение границ слов, а также использование сложных утверждений для понятного человеку описания сложных требований к ответу студента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шалапина, М. А. Роль дистанционных образовательных технологий в современной системе высшего образования в России / М. А. Шалапина // Глобализация науки: проблемы и перспективы. – Уфа, 2014. – С. 154–156.
2. Дворянкин, А. М. Применение автоматизированного тестирования на лабораторных работах / А. М. Дворянкин, И. Г. Жукова, О. А. Сычев // Известия ВолгГТУ: междуз. сб. науч. ст. № 4 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 166–168.
3. Butcher P. G., Jordan S. E. A comparison of human and computer marking of short free-text student responses // Computers & Education 55. – 2010. – С. 489–499.
4. Сычев, О. А. Архитектура программного обеспечения тестового вопроса PREG с оценкой ответа по регулярным выражениям, поддерживающего возможность подсказок продолжения совпадения / О. А. Сычев, В. О. Стрельцов, Д. В. Колесов // Известия ВолгГТУ : междуз. сб. науч. ст. № 15 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – С. 99–104.
5. Cezar, C. Regex and extended regex / Campeanu Cezar, Salomaa Kai, Yu Sheng // Lecture notes in computer science / Springer-Verlag GmbH. – Heidelberg, 2003. – С. 77–84.
6. Friedl, J. Mastering Regular Expressions – O'Reilly Media, 2006. – С. 544.
7. Thompson, K. Programming Techniques: Regular expression search algorithm // Communications of the ACM. – New York, 1968. – С. 419–422.
8. Laurikari, V. NFAs with tagged transitions, their conversion to deterministic automata and application to regular expressions. // Proceedings of the 7th International Symposium on String Processing and Information Retrieval. – IEEE, 2000 – С. 181–187.
9. Goyvaerts, J. Regular Expressions Cookbook / Jan Goyvaerts, Steven Levithan – O'Reilly Media, 2012. – С. 612.
10. Allauzen, C. General algorithms for testing the ambiguity of finite automata / Cyril Allauzen, Mehryar Mohri, Ashish Rastogi // International Journal of Foundations of Computer Science. – New York, NY, 2011. – С. 883–904.

УДК 004.89

С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, С. Г. Колесников, А. Н. Копасов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКА ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ*

Волгоградский государственный технический университет

saf@vstu.ru, dkorobkin80@mail.ru, sk375@bk.ru, kopasov.an@banknp.ru

Представлены автоматизированные методы поиска физических эффектов. Подробно рассматриваются основные виды автоматизированного поиска в базах данных по физическим эффектам.

Ключевые слова: физический эффект, автоматизированные методы поиска, модель описания, база данных.

S. A. Fomenkov, D. M. Korobkin, S. G. Kolesnikov, A. N. Kopasov

THE AUTOMATED SEARCH METHODS PHYSICAL EFFECTS

Volgograd State Technical University

The automated methods of search of physical effects are presented. Main types of the automated search in databases on physical effects are in detail considered.

Keywords: physical effect, the automated search methods, description model, database.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № № 13-01-00302 –а, 15-07-09142-а).

Любой вид научной и производственной деятельности, а также обучения имеет информационную составляющую. В силу этого информационный поиск, понимаемый как совокупность действий, методов и процедур, позволяющих осуществить отбор определенной информации из массива данных, является составной частью решения любой научной, технической или учебной задачи.

Как известно, физические эффекты (ФЭ) полезны при конструировании принципиально новых высокоэффективных технических систем, разработке новых технологий, научно-техническом прогнозировании, обучении методам технического творчества. На кафедре САПР и ПК Волгоградского государственного технического университета разработаны модели входной и выходной информации физического эффекта (так называемые входные и выходные карты ФЭ) [1–4], а также фонд физических эффектов.

Предложенные модели описания ФЭ позволяют осуществлять поиск ФЭ различными способами, что увеличивает каналы доступа к массиву ФЭ и дает возможность удовлетворять широкий спектр информационных потреб-

ностей различных категорий пользователей.

Теперь рассмотрим более детально различные виды информационного поиска в базах данных по ФЭ.

1. Поиск по атрибутам компонент входа, выхода, объекта физического эффекта

В основе поиска лежит координатное индексирование описания каждого ФЭ по названию (номеру), атрибутам входа (А), выхода (С), объекта (В). Индексирование осуществляется средствами дескрипторного информационно-поискового языка (ИПЯ 1), содержащего следующие информационно-поисковые тезаурусы: словарь входов и выходов ФЭ, справочник объектов ФЭ. Поиск может производиться по названию (номеру) или по любой комбинации признаков входа, выхода, объекта. Первый случай далее не рассматривается в силу своей тривиальности (выбор из списка).

Вначале рассмотрим базу данных по ФЭ, сформированную на основе базовой модели описания ФЭ [3–5]. Классификация возможных информационных запросов к БД для этого случая представлена в табл. 1.

Таблица 1

Информационные запросы к базе данных по ФЭ

Тип запроса	Формулировка задачи (научной или технической), решаемой с помощью данного запроса	Примеры формулировки запросов
Найти ФЭ, имеющие заданный выход	Поиск способов генерации полей (электрического, магнитного, гравитационного), силового воздействия, потоков (вещества, тепла, микрочастиц), упругих (звуковых) волн, электромагнитного излучения, электрического тока; поиск способов (направленного) изменения физических параметров произвольного объекта	Каким образом можно создать электромагнитное излучение определенного диапазона (видимое, рентгеновское, радиоволны и т. д.)? С помощью каких эффектов можно добиться выделения в макроскопическом теле потока тепла? Какими средствами можно вызвать эмиссию электронов (ионов) из вещества? Как можно сгенерировать высоко частотные колебания электрического тока? Каким образом можно увеличить (уменьшить) температуру (объем) макроскопического тела?
Найти ФЭ, имеющие заданный вход	Поиск способов индикации, регистрации, нейтрализации заданных входных воздействий: полей, силового воздействия, потоков, волн, электромагнитного излучения, тока; поиск способов регистрации определенных физических величин	Какие эффекты можно положить в основу принципа действия датчика температуры (давления, активности кислорода)? Как можно контролировать звуковую мощность ультразвуковых волн? Какие эффекты наблюдаются в веществе при одновременном действии магнитного поля и градиента температуры?
Найти ФЭ, имеющие заданный объект	Изучение произвольных свойств объектов определенного физического класса	Что известно о свойствах тонких монокристаллов в виде нити или иглы? Какие физические явления наблюдаются на границе газ – жидкость (жидкость – твердое тело)? Какими свойствами обладают суперионные проводники (сегнетополупроводники, высокотемпературные сверхпроводники, квантовые жидкости)?

Окончание табл. 1

Тип запроса	Формулировка задачи (научной или технической), решаемой с помощью данного запроса	Примеры формулировки запросов
Найти ФЭ, имеющие заданный объект и выход	Поиск способов изменения свойств (физических параметров) определенных объектов; поиск способов генерации определенных выходных воздействий в заданном объекте; изучение определенных свойств объектов определенного класса	Как можно увеличить (уменьшить) коэффициент диффузии кристаллического твердого тела? Как можно влиять на модуль упругости (предел прочности, предел текучести) металлов? Как можно изменить точку Кюри ферромагнетика (сегнетоэлектрика)? Какими способами можно наэлектризовать диэлектрик? Какими способами можно деформировать твердое тело? Как создать высокое механическое давление в жидкости? Как создать постоянное электрическое поле в полупроводнике? Какие эффекты характерны для электрических (оптических) свойств жидких кристаллов?
Найти ФЭ, имеющие заданный вход и объект	Изучение влияния внешних и внутренних воздействий на произвольные свойства определенных объектов; поиск способов регистрации, индикации физических параметров определенных объектов	Какие эффекты наблюдаются в твердых телах при одновременном действии градиента температуры и электрического поля? Как влияет лазерное импульсное воздействие на свойства поверхности твердого тела? Какое действие оказывает ультразвук на гетерофазную систему газ – жидкость (жидкость – твердое тело)? Что происходит с пьезоэлектриком при нагревании? Что происходит при протекании через сверхпроводник переменного электрического тока? Каким образом можно контролировать степень отклонения от стехиометрии в нестехиометрических твердых телах?
Найти ФЭ, имеющие заданный вход и выход	Поиск способов качественного преобразования входных воздействий; количественного изменения (изменение направления или значения параметров) входных воздействий	Как преобразовать электромагнитное излучение видимого диапазона в звук? Как визуализировать слабые акустические колебания? Как преобразовать электрическую энергию (постоянного электрического поля) в механическую энергию (деформацию объекта)? На основе каких эффектов происходит уменьшение интенсивности электромагнитного излучения при его распространении в веществе? Как можно преобразовать частоту электромагнитного излучения?
Найти ФЭ, имеющие заданные вход, выход и объект	Изучение влияния внешних и внутренних воздействий на определенные свойства (физические параметры) определенных объектов; изучение взаимной зависимости свойств (физических параметров) определенных объектов	Можно ли с помощью электрического тока управлять пластичностью твердых тел? Как влияет высокое механическое давление на электрические (термодинамические, оптические) свойства жидкости (твердого тела)? Какие эффекты описывают влияние магнитного поля на механические свойства ферромагнетиков? Можно ли изменить температуру твердого тела с помощью магнитного поля? Какие эффекты описывают связь механических и электрических свойств в твердых телах? Какой характер имеют температурные зависимости магнитной восприимчивости (электрической проводимости) жидких металлов (суперионных проводников)?

В соответствии со схемой поиска помимо индексирования описаний ФЭ требуется умение формировать поисковые образы запросов (ПОЗ), т. е. выражать (индексировать) информационный запрос пользователя средствами ИПЯ 1.

Отметим следующее обстоятельство. Чем большее количество компонент А, В, С участ-

вует в ПОЗ и чем они детальнее описаны, тем более целенаправленно и узко происходит поиск в массиве ФЭ. Следовательно, если требуется осуществить узкий поиск (конкретный ответ на конкретный вопрос) или сузить пространство поиска (в случае, когда в ответ на какой-либо запрос находится слишком много

ФЭ), то необходимо увеличивать в ПОЗ число поисковых компонент (в предельном варианте до трех) и степень детализации их описания, например, добавлять качественные признаки и физические величины при характеристике входных и выходных воздействий, увеличивать количество признаков при описании объекта или пользоваться признаками на более низких уровнях иерархии (вместо «твердого тела» – «кристаллическое твердое тело», вместо «полупроводника» – «полупроводник с собственной проводимостью» и т. д.). Если требуется расширить пространство поиска (в случае, когда в ответ на какой-либо запрос находится слишком мало ФЭ или ни одного), то поступать следует противоположным образом: уменьшать количество признаков входного и выходного воздействия, уменьшать количество признаков объекта или пользоваться признаками более высокого уровня иерархии [3], в предельном случае – полностью исключить из поискового запроса один или два компонента (при поиске по объекту и выходу сформировать новый ПОЗ на поиск только по выходу или на поиск только по объекту).

Для базы данных по ФЭ, сформированной на основе обобщенной модели описания ФЭ [3, 4, 6], в рамках рассматриваемого метода поиска возможны дополнительные типы запросов.

Во-первых, при индексировании описаний ФЭ используется четырехкомпонентная структура $A \rightarrow B1 \rightarrow B2 \rightarrow C$, где $B1, B2$ – начальное и конечное состояние объекта B . Данная структура позволяет описывать ФЭ с изменяющимся объектом и ввести новые типы запросов, относящиеся к преобразованию $B1 \rightarrow B2$:

- поиск по $B1$ – в какие состояния $B2$ может перейти состояние $B1$, какие внешние или внутренние воздействия (причины) вызывают эти переходы, к каким внешним или внутренним воздействиям (следствиям) приводят эти переходы;
- поиск по $B2$ – из каких состояний $B1$ может быть получено состояние $B2$, какие внешние или внутренние воздействия вызывают эти переходы, к каким внешним или внутренним воздействиям приводят эти переходы;
- поиск по $B1$ и $B2$ – какие внешние или внутренние воздействия вызывают или оказывают влияние на преобразование $B1 \rightarrow B2$, к каким внешним или внутренним воздействиям приводит преобразование $B1 \rightarrow B2$;

- поиск по A – какие преобразования $B1 \rightarrow B2$ могут вызывать определенные внешние или внутренние входные воздействия;

- поиск по C – в результате каких преобразований могут возникать определенные внешние или внутренние выходные воздействия;

- поиск по $A, B1, B2$ – каким образом определенные внешние или внутренние входные воздействия влияют на преобразование $B1 \rightarrow B2$;

- поиск по $B1, B2, C$ – какие причины вызывают определенные внешние или внутренние выходные воздействия при переходе $B1 \rightarrow B2$;

- поиск по $A, B1, B2, C$ – как определенные внешние или внутренние воздействия влияют на определенные свойства (физические параметры), характеризующие преобразование $B1 \rightarrow B2$.

Во-вторых, при индексировании описаний ФЭ используется формализованное представление функциональной связи между физическими величинами выхода и входа ФЭ $y = f(x)$, что также дает дополнительные возможности для поиска ФЭ по характеру изменения функции f [3, 7, 8]. При формировании ПОЗ в этом случае используются признаки, иерархическая структура которых приведена в [3, 7]. Комбинация признаков в определенной последовательности позволяет сформулировать запрос на поиск сложной зависимости $y = f(x)$, например: найти ФЭ, у которых сначала наблюдается линейное увеличение y , затем постоянство, а далее – вогнутое увеличение.

2. Поиск по атрибутам компонент поискового признака «практическое применение физического эффекта»

Поиск по атрибутам компонент входа, выхода, объекта ФЭ (A, B, C), подробно рассмотренный в 1, позволяет реализовать широкий круг запросов пользователя, основные типы которых представлены в табл. 1. Однако при таком методе поиска необходимо индексировать запрос, т. е. переводить его с естественного языка пользователя на язык подлежащих поиску компонент A, B, C (ИПЯ 1). Данная процедура во многих случаях является нетривиальной, требует достаточно хорошего знакомства со структурой представления ФЭ и умения мыслить в физических категориях (знания физики).

Существуют также запросы, которые невозможно индексировать средствами ИПЯ 1. Для преодоления указанных недостатков в мо-

дель входной информации ФЭ добавлено формализованное описание поискового признака «практическое применение ФЭ» [3, 4]. В основе поиска лежит координатное индексирование описания каждого ФЭ по атрибутам компонент D (действие), G (объект), H (ограничения) признака «практическое применение ФЭ». Индексирование осуществляется средствами дескрипторного информационно- поиско-

вого языка (ИПЯ 2), содержащего три информационно-поисковых тезауруса: справочник действий функций ФЭ, справочник объектов действий функций ФЭ, справочник условий и ограничений функций ФЭ. Поиск может производиться по любой совокупности компонент D, G, H .

Примеры формирования ПОЗ средствами ИПЯ 2 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Индексирование информационных запросов к БД ФЭ средствами ИПЯ 2

Формулировка запроса на естественном языке	Поисковый образ запроса		
	D	G	H
Какие существуют методы исследования зонной структуры (поверхности Ферми) полупроводников?	Исследование (изучение)	Свойства материи. Свойства макроскопического вещества. Электрические. Качественные. Электрическая структура. Поверхность Ферми	(Не определен)
Каким образом можно обнаруживать радиационные дефекты в твердых диэлектриках?	Измерение. Прямое. Качественное (индикация)	Свойства материи. Свойства макроскопической материи. Термодинамические. Дефекты. Точечные. Гомогенное (однофазное) тело. Твердое тело. Диэлектрик	(Не определен)
Как повысить пластичность металлических сплавов при обработке давлением?	Изменение. Увеличение	Свойства материи. Свойства макроскопического вещества. Механические. Деформируемость. Пластическая. Гомогенное (однофазное) тело. Твердое тело. Многокомпонентное. Металлический проводник	Наличие воздействия. Силовое (механическое) воздействие. Давление
Какие существуют методы управления интенсивностью (цветом) электромагнитного излучения?	Управление	Свойства материи. Свойства поля. Электромагнитное излучение. Количественные. Интенсивность излучения (длина волны)	(Не определен)
Какие существуют способы записи информации?	Обработка	ИНФОРМАЦИЯ	(Не определен)
Какие существуют способы создания сверхпроводящих сплавов, способных выдерживать большие токи и магнитные поля?	Создание	Материя. Макроскопическое вещество. Гомогенное (однофазное) тело. Твердое тело. Многокомпонентное. Сверхпроводник	Наличие воздействия. Магнитное поле. Электрический ток

Отметим, что аналогично поиску с использованием ИПЯ 1, чем большее число компонент D, G, H указано в ПОЗ и чем более детальнее они описаны, тем более целенаправленным и узким является поиск в БД ФЭ. Поэтому и для этого метода поиска ФЭ можно повторить рекомендации, изложенные в 1. Для сужения про-

странства поиска необходимо увеличивать число компонент D, G, H в ПОЗ, количество признаков при описании компонент или пользоваться признаками на более низких уровнях иерархии. Для расширения пространства поиска следует поступать прямо противоположным образом.

Для индексирования большого количества запросов могут одновременно использоваться оба метода поиска ФЭ (по компонентам A , B , C и по компонентам D , G , H), т. е. в этом случае они являются альтернативными друг другу. Применение одного из двух методов определяется соображениями удобства конкретного пользователя, решающего конкретную задачу. В то же время существуют запросы, которые могут быть индексированы только с помощью одного из методов. Примеры запросов, индексирование которых возможно только с использованием ИПЯ 2, представлены в табл. 2. Примерами запросов, индексирование которых возможно только с использованием ИПЯ 1, являются запросы последнего типа в табл. 1. Таким образом, в общем случае оба метода поиска ФЭ взаимно дополняют друг друга.

Отметим, что поиск ФЭ через функции, которые реализуют или потенциально могут реализовать данные ФЭ, широко используется в различных методиках поискового конструирования и изобретательства. Так, в ТРИЗ созданы таблицы применения эффектов, в которых ФЭ сгруппированы в соответствии с выполняемыми ими функциями. Индексирование описаний ФЭ средствами ИПЯ 2 позволяет автоматизировать процедуры создания и расширения такого рода таблиц применения ФЭ.

Поиск ФЭ посредством выполняемых ими функций используется и в методике углубленного изучения конструкции и структуры технической системы (ТС), которую требуется усовершенствовать (функционально-физический анализ ТС [3, 4]). Данная методика предусматривает разделение ТС на функциональные элементы, а затем определение ФЭ, реализующих функции элементов. При этом процедура перехода от функции к ФЭ практически не рассматривается, высказывается только пожелание о формировании тезауруса соответствий между наименованиями функций, с одной стороны, и физических воздействий A и результатов воздействий C , с другой. Если в функционально-физический анализ ТС ввести описание функций средствами ИПЯ 2, то это позволит формализовать (и соответственно, автоматизировать) переход от функции к ФЭ.

Методы поиска ФЭ, рассмотренные выше, используются в различных программных комплексах, реализованных нами [9–14]. Кроме того, ведутся работы по совершенствованию и созданию новых методов поиска в БД ФЭ,

например, использование традиционного полнотекстового поиска [11], поиск по характеру и диапазону изменения физической величины [6], интеллектуальный поиск и другие [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фоменков, С. А.* Представление физических знаний в автоматизированном банке физических эффектов / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Известия вузов. Машиностроение, 1998, № 1–3, с. 55–61.
2. *Фоменков, С. А.* Формирование и структура баз данных по физическим эффектам / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, Д. М. Коробкин // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2013, т. 18, № 22 (125), с. 153–157.
3. *Фоменков, С. А.* Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний : моногр. / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 278 с.
4. *Камаев, В. А.* Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов. Коллективная монография / В. А. Камаев, Л. Н. Бутенко, А. М. Дворянkin, С. А. Фоменков, Д. В. Бутенко, Д. А. Давыдов, А. В. Заболеева-Зотова, И. Г. Жукова, А. В. Кизим, С. Г. Колесников, В. В. Костерин, А. В. Петрухин, М. В. Набока ; под ред. В. А. Камаева. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 356 с.
5. *Герасимов, А. М.* Автоматизированная система поиска физических эффектов «Полезный эффект» / А. М. Герасимов, П. А. Колчин, С. А. Фоменков // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4. – С. 7.
6. *Фоменков, С. А.* Автоматизированная система синтеза физического принципа действия технических систем / С. А. Фоменков, Е. А. Голта // Программные продукты и системы. – 2014. – № 1. – С. 24.
7. *Яровенко, В. А.* Компьютерное представление функциональной зависимости физических величин входа и выхода физического эффекта / В. А. Яровенко, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2013, т. 17, № 14(117), с. 135–139.
8. *Фоменков, С. А.* Интегрированная система обработки структурированных физических знаний / С. А. Фоменков, В. А. Яровенко // Программные продукты и системы. – 2014. – № 2. – С. 15.
9. *Коробкин, Д. М.* Автоматизация процесса формирования информационного обеспечения базы данных физических эффектов / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 3. – С. 22–25.
10. *Коробкин, Д. М.* Программный комплекс поддержки процесса формирования информационного обеспечения фонда физических эффектов / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 306–310.
11. *Фоменков, С. А.* Программный комплекс представления и использования структурированных физических знаний / С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, А. М. Дворянkin // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 11. – С. 24–28.
12. *Fomenkov, S.A., Korobkin, D.M., Kolesnikov, S.G., Dvoryankin A.M., Kamaev V.A.* Procedure of Integration of the Systems of Representation and Application of the Structured Physical Knowledge // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9, Is. 10. – P. 700–703.

13. Korobkin, D.M., Fomenkov, S.A., Kolesnikov, S.G., Kamaev, V.A. Synthesis of the Physical Principle of Operation of Engineering Systems in the Software Environment CPN Tools // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9, Is. 11. – P. 749–752.

14. Fomenkov, S.A., Korobkin, D.M., Kolesnikov, S.G. Method of Ontology-Based Extraction of Physical Effect Description from Russian Text // Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE

2014 (Volgograd, Russia, September 17-20, 2014) : Springer International Publishing, 2014. – P. 321–330. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).

15. Сальникова, Н. А. Структурирование физических знаний в поисковом конструировании технических систем / Н. А. Сальникова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т.17, № 14 (117). С. 118–122.

УДК: 004.896

В. Ф. Чан, А. А. Алимов, О. А. Шабалина

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ*

Волгоградский государственный технический университет

vanphu01011989@gmail.com, velorth.avelies@gmail.com, o.a.shabalina@gmail.com

В данной работе рассматривается программная система управления группой интеллектуальных агентов в динамической среде. Рассмотрена разработка системы, решающей три основных задачи управления агентами: планирование перемещений с избеганием препятствий, планирование действий и принятие решений на основе нечеткого вывода.

Ключевые слова: интеллектуальный агент, управление группой агентов, алгоритмы планирования.

V. P. Tran, A. A. Alimov, O. A. Shabalina

A SOFTWARE SYSTEM TO MANAGE A GROUP OF INTELLIGENT AGENTS IN A DYNAMIC ENVIRONMENT

Volgograd State Technical University

This paper describes a software system to manage a group of intelligent agents in a dynamic environment. Consider developing a system which solves the three main tasks of the management agents: planning movements to avoid obstacles, action planning and decision making based on fuzzy inference.

Keywords: intelligent agent, agents' group management, scheduling algorithms.

Введение

На сегодняшний день большинство компьютерных игр могут быть рассмотрены как мультиагентные системы, в которых агентами являются игроки, управляемые человеком или компьютером (боты или роботы). Задача интеллектуального агента (ИА) – максимально близко соответствовать рациональному поведению игрока-человека [1].

В многих случаях оппонентом человека может быть не только один ИА, но и группа одинаковых агентов. Как правило, группа ИА имеет общие цели, которые она стремится достигнуть. В некоторый момент времени каждый агент в группе должен решать свою индивидуальную задачу для наиболее эффективного достижения цели, поставленной перед группой. С другой стороны каждый агент должен точно выбирать цель с наиболее высокой стоимостью и автономно выполнять ее в минимальное время.

В [2] показано, что существующие решения в области управления группой ИА не обеспечивают требуемой производительности при увеличении количества агентов в группе. Поэтому актуальна разработка эффективной системы управления группой ИА, количество которых достаточно велико (порядка $10^4 - 10^5$).

В данной работе были решены три основные задачи управления большой группой агентов:

- задача навигации: перемещение с избеганием препятствий, поиск оптимального пути двумя точками в пространстве;

- задача планирования действий ИА: вывод последовательности доступных действий ИА для достижения к индивидуальным целям;

- задача принятия решения: выбор индивидуальной цели, оценка стоимостью всех целей группы, распределения целей агентами группы.

Анализ существующих систем искусственного интеллекта, содержащих систему управления группой ИА

В данной работе было проведено исследование программных систем, содержащих под-

* Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части (проект 2586 задания № 2014/16).

системы управления ИА и/или группой ИА. В таких системах включаются различные алгоритмы и методы поддержки искусственного интеллекта (ИИ). В рамках данной работы были изучены такие программные системы, как CryEngine 2, Radiant AI, Unreal Engine, A-Life, ORTS.

Модель агента в таких системах чаще всего построена на основе конечного автомата со статически заданными переходами между состояниями внешней среды. Эти модели не очень хорошо работают в случаях, когда количество состояний внешней среды достаточно велико. В таких случаях требуется более сложная организация поведения группы агентов.

В рассмотренных системах реализованы задачи навигации ИА по виртуальному миру, управления поведением ИА. Важная задача управления группой ИА – распределение действий – частично решена в системах A-Life и ORTS. В системе Radiant AI задача распределения действий не решена, задача целевого планирования на основе GOAP решена с низкой производительностью, при тестировании системы возможны случаи неожиданного поведения агентов [7]. Большинство существующих систем ориентировано на решение задачи навигации и управления поведением ИА в реальном времени. Они реализуют поведенческую модель ИА с помощью конечного автомата или деревьев решений. Эти механизмы, как показано в работе [4], дают низкую эффективность работы ИА, особенно в том случае, если ИА выполняет одновременно несколько действий. Еще один недостаток при использовании конечного автомата и деревьев решений – решение, принятое ИА, не всегда дает хороший результат в одном и том же случае в сравнении с другими механизмами (например, нечеткой логикой).

Практически все перечисленные системы разработаны на основе децентрализованного мультиагентного подхода. Такой выбор обу-

словлен тем, что агент в мультиагентной системе хорошо адаптируется к новой среде [2]. Каждый агент автономно решает задачу принятия решения на основе сообщения с другими агентами. Но такой подход имеет ряд недостатков. Прежде всего требуются значительные затраты времени для передачи информации между агентами группы, что приводит к снижению производительности системы в целом. Особенно это критично для систем игрового ИИ, в которых требуется высокая скорость обработки. Кроме того, проектирование системы управления группой ИА в таких системах достаточно сложно и требует высокой квалификации разработчика.

Поэтому актуальна разработка системы управления группой ИА, в которой решаются все представленные проблемы. Для проектирования системы управления группой интеллектуальных агентов в динамической среде необходима разработка обобщенной модели ИА, позволяющей решать задачу организации поведения группы агентов, алгоритмов управления группой агентов и концепции архитектуры системы, способной повысить производительность работы системы при большом количестве агентов.

Обобщенная модель ИА

В виртуальных компьютерных мирах, представляемых как мультиагентные системы, принято выделять активные и пассивные объекты. Активные объекты виртуального мира являются автономными агентами.

Все реакции ИА на события реализуются в поведенческой модели. Пассивные объекты (например, различные препятствия) не имеют поведенческой модели, а имеют только физическую и графическую модели. Их реакция определяется их физическими свойствами по законам физики.

Структура поведенческой модели ИА представляется следующим образом:

$$B = \langle KnowlBase, DescWorld, ManageAI, AIPackage, Msg, Debug \rangle, \quad (1)$$

где *KnowlBase* – база знаний ИА; *DescWorld* – описание виртуального мира; *ManageAI* – набор алгоритмов управления навигацией ИА; *AIPackage* – пакеты ИИ для принятия решений; *Msg* – множество сообщений ИА, отправляемых остальным ИА группы; *Debug* – отладочная информация, которая используется при отладке пакетов ИИ.

Описание виртуального мира имеет вид:

$$DescWorld = \langle SetArea, SetPassObjs \rangle, \quad (2)$$

где *SetArea* – множество областей виртуального мира; *SetPassObjs* – множество пассивных объектов виртуального мира.

При управлении агентом используются следующие алгоритмы:

- централизованный алгоритм HRVO для перемещения с избеганием препятствий;
- алгоритм поиска оптимального пути;

- алгоритмы принятия решения (оценка стоимости цели, поставленной перед группой агентов).

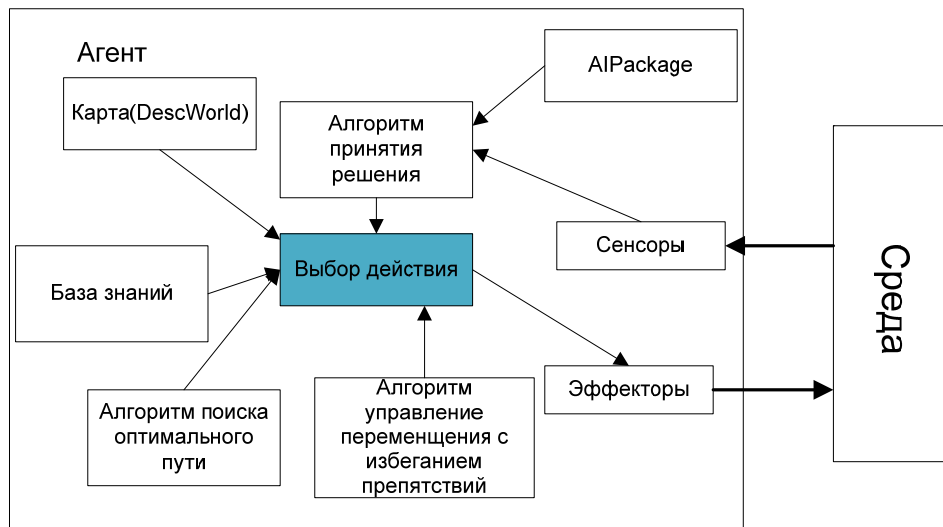


Рис. 1. Схема взаимодействия между компонентами модели агента

На рис. 1 представлена схема, описывающая взаимодействия между компонентами модели агента.

Архитектура программной системы

Разработана архитектура системы управления группой агентов, в которой реализованы

алгоритмы перемещения с избеганием препятствий, поиска оптимального пути и принятия решения. Система включает следующие подсистемы: подсистема принятия решений, подсистема работы с памятью, подсистема «Рабочая область» и подсистема «Планировщик» (рис. 2).

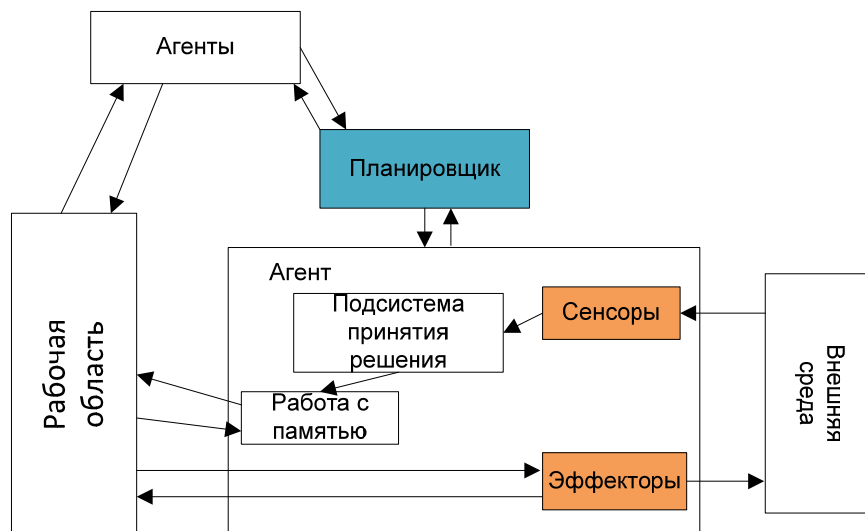


Рис. 2. Архитектура программной системы

Подсистема принятия решения предназначена для оценки стоимости всех целей группы на основе нечеткого вывода. Цели, а также информация внешней среды получают через сенсоры агента.

Подсистема «Работа с памятью» содержит внутреннюю память агентов для хранения информации, полученной из подсистемы принятия решения. Эта информация передается подсистеме «Рабочая область». Внутренняя память

используется в первую очередь, когда новые действия должны быть выполнены. Этот компонент является уникальным для каждого агента.

Подсистема «Рабочая область» – это место для хранения всех фактов внешней среды.

Планировщик – представляет собой ядро системы. Этот компонент позволяет агенту планировать доступные действия для достижения своих целей. Планировщик использует алгоритм на основе Goal Oriented Action Planning (GOAP) и алгоритм распределения целей агентами группы [5]. Входными данными плани-

ровщика являются текущее и конечное (целевое) состояние среды. Результат – последовательность действий для соединения этих двух состояний между собой.

Предложенная архитектура системы позволяет увеличивать производительность системы за счет использования общей рабочей области для обмена информации между агентами и общего планировщика для планирования действий агентов и распределения целей агентам.

Процедура работы агента в системе представлена на рис. 3.

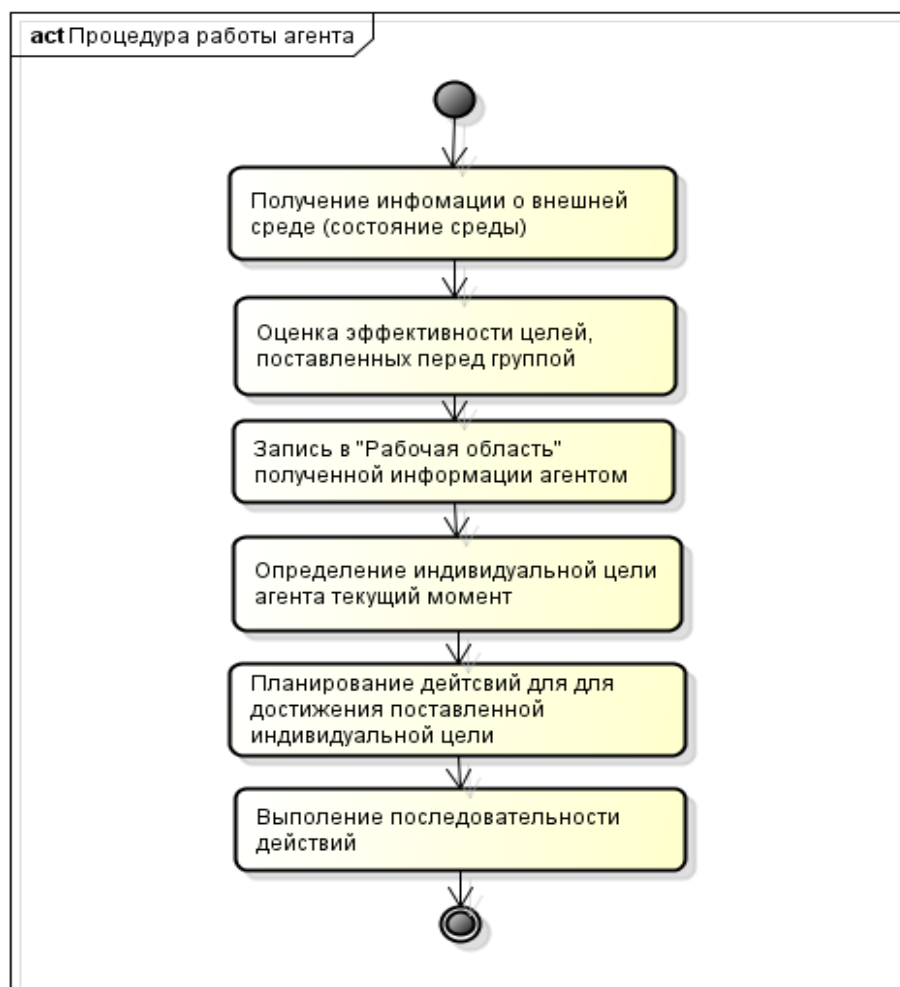


Рис. 3. Процедура работы агента

Алгоритмы перемещения ИА избеганием препятствий

При управлении группой ИА возникает ряд весьма сложных задач, одной из которых является задача навигации группы ИА. При перемещении по виртуальной карте ИА должны достигать своих целей по кратчайшему пути и с наименьшим временем, при этом ИА не должны сталкиваться друг с другом. Существуют два

типа алгоритмов для решения задачи перемещения ИА с избеганием препятствий: централизованные и децентрализованные алгоритмы.

Среди децентрализованных алгоритмов широко известен алгоритм Steering Behavior [2]. Этот алгоритм имеет ряд преимуществ, например, возможность модификации более сложного поведения в сложной среде, и также не требует больших затрат ресурсов при вычислении.

Но при этом алгоритм Steering Behavior не очень хорошо работает в случаях сложных препятствий.

Среди централизованных алгоритмов избегания препятствий существует набор алгоритмов Velocity Obstacles (VO), Reciprocal Velocity Obstacle (RVO) [5], Hybrid Reciprocal Velocity Obstacles (HRVO) [6].

Алгоритм HRVO позволяет получать наиболее хорошие результаты моделирования с точки зрения количества столкновений ИА. Однако применение алгоритма HRVO для большого количества ИА в группе приводит к снижению производительности системы. Для решения этой проблемы необходима модификация оригинального алгоритма.

При применении алгоритма HRVO для вычисления новой скорости ИА нужны только физические параметры ближайших данному ИА. Разработан алгоритм поиска ближайших ИА с помощью построения К-мерного дерева. Для виртуального мира, представляемого двухмерным пространством, К-мерное дерево модифицировано на двумерное дерево. Все ИА в группе построены в виде двумерного дерева. Аналогично, построено двумерное дерево для препятствий. На основе скоростей ближайших агентов каждый ИА считает свою новую скорость, которая не попадает в область скоростей этих агентов (скорости препятствия, velocity obstacles).

Средняя сложность при поиске с использованием модифицированного алгоритма – $O(\log(n))$, в худшем случае – $O(n)$, а средняя сложность оригинального алгоритма поиска –

$O(n)$. Это позволяет увеличить производительность системы управления навигацией группы ИА в сравнении с существующими.

Для планирования перемещения агентов в компьютерных играх большое распространение получил алгоритм поиска оптимального маршрута A^* . Этот алгоритм позволяет агенту достигать цели за счет построения пути из начального положения в конечное. Однако у этого алгоритма имеется определенный недостаток. Например, в некоем лабиринте может потребоваться сначала идти по направлению от выхода, и только потом повернуть назад. В этом случае обследование вначале тех вершин, которые расположены ближе к выходу (по прямой дистанции), будет потерей времени. Для повышения эффективности (скорости) работы алгоритма A^* имеются два варианта: либо модификация алгоритма [6], либо многопоточная реализация алгоритма [7].

При разработке системы применен алгоритм A^* с модификацией многопоточной реализации. Результаты сравнения скорости работы исходного алгоритма и скорости при многопоточной реализации алгоритма с помощью технологии OpenMP показали, что распределение данных на процессоры обеспечивает более высокую производительность при поиске с большим количеством узлов виртуальной карты.

На рис. 4 представлено сравнение скорости выполнения алгоритма A^* без использования и с использованием технологии OpenMP. Ось Ox показывает количество узлов карты, а ось Oy – время выполнения поиска с помощью алгоритма A^* .

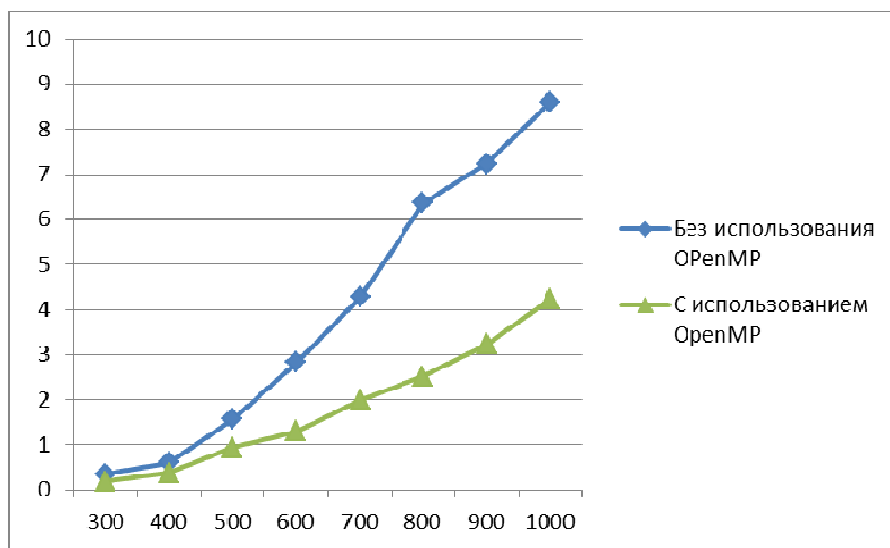


Рис. 4. Время выполнения алгоритма A^* в зависимости количества узлов в карте (в с)

Алгоритмы планирования действий ИА

Большинство игровых искусственных игр использует конечные автоматы для планирования действия и принятия решений. Но этот механизм имеет существенный недостаток: при большом количестве поведений агентов нужно строить большие конечные автоматы. Это приводит к сложности разработки и трудности построения решений. В данной работе построен механизм планирования действий агента на основе комбинации алгоритмов A^* и GOAP. Алгоритм A^* обычно используется при поиске оптимального пути в игровых компьютерных системах. В разработанной системе он применяется для поиска последовательности доступных действий агента, которая имеет наименьшую стоимость выполнения.

Структура действия агента имеет вид:

$$Action = \langle N, P, E, C, F \rangle, \quad (3)$$

где N – название данного действия; P – предпосылка данного действия; E – эффект данного действия (изменения состояния среды после выполнения действия); C – стоимость, которую агент должен затратить для выполнения данного действия; F – флаг (показывает, доступно ли действие временно или нет).

Структура предпосылки и эффекта действия агента представлена таким образом:

$$PAE = \langle Key, Value \rangle, \quad (4)$$

где Key – название состояния среды; $Value$ – значение состояния среды (true/false).

Состояние среды представляет собой набор $\langle Key, Value \rangle$.

При применении алгоритма A^* для поиска последовательности действий каждое состояние среды представляется как одна вершина ориентированного графа, а каждое действие агента – как ребро графа.

Использование A^* и GOAP позволяет повысить скорость планирования действий агента при большом количестве вариантов поведения агента в сравнении с конечными автоматами.

Алгоритм оценки стоимости целей агента

Допустим, что группа агентов имеет набор целей. Каждый агент должен определить стоимость достижения каждой цели для будущего действия. Определение стоимости достижения каждой цели проводится на основе нечеткого вывода. В данной работе используется алгоритм Мамдани. Выбраны три лингвистические переменные:

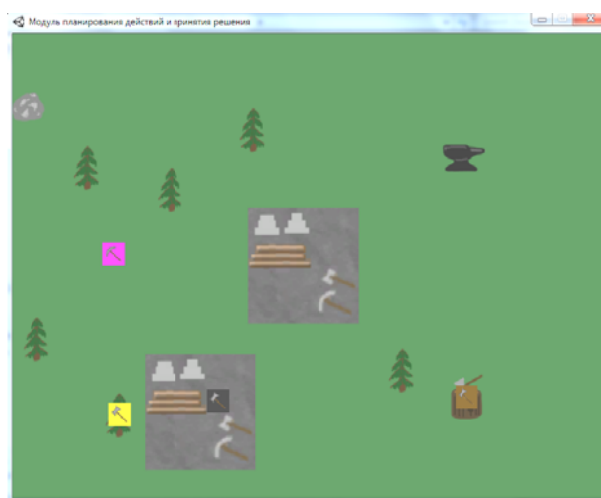
- расстояние от агента до цели Dis_target ;
- возможность нарушения цели $Possibility$;
- стоимость цели (стоимость, которую агент получил после нарушения данной цели) $Price_Target$.

На основе списка стоимости целей агентами группы распределяются цели с помощью алгоритма, описанного в [3].

Для проверки работоспособности предложенных алгоритмов реализованы программные модули управления перемещением, планированием и принятием решений на основе нечеткой логики (рис. 5, а, б).



а



б

Рис. 5. Моделирование перемещения группы агентов с избеганием препятствий (а); моделирование алгоритма планирования действий и принятия решения на основе нечеткой логики (б)

Вывод

Таким образом, в данной работе рассмотрены существующие системы ИИ, содержащие систему управления группой ИА. В результате анализа разработаны модель агента и концепция программной системы.

В ходе работы были решены следующие проблемы:

- разработан метод для повышения эффективности работы системы за счет модификации алгоритма HRVO и многопоточной реализации алгоритма поиска оптимального пути;

- решена задача планирования действий агента в текущем времени с помощью A^* и GOAP;

- решена задача оценки эффективности целей для каждого агента на основе нечеткого вывода.

В настоящее время проводится работа по интеграции программных модулей перемещения, планирования и принятия решения в систему. Система будет реализована как библиотека классов и предназначена для разработки систем игрового искусственного интеллекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чан, В. Ф. Разработка системы управления навигацией группой интеллектуальных агентов в динамической

среде / В. Ф. Чан, А. А. Алимов, О. А. Шабалина // Современные технологии и управление : Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции 20–21 ноября 2014 года. – Светлый Яр: филиал ФГБОУ ВО МГУТУ имени К. Г. Разумовского (ПКУ) в р. п. Светлый Яр Волгоградской области, 2014. – С. 65–68.

2. Чан, В. Ф. Анализ алгоритмов и методов управления группой интеллектуальных агентов в динамической среде / В. Ф. Чан, А. А. Алимов, О. А. Шабалина // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. №25 (125) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 22). – С. 108–112.

3. Каляев, И. А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.

4. Алимов, А. А. Система игрового искусственного интеллекта / А. А. Алимов, О. А. Шабалина // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2012. – Т. 4. – № 13. – С. 166–169.

5. Jur van den Berg. Reciprocal Velocity Obstacles for Real-Time Multi-Agent Navigation / Jur van den Berg, Ming Lin, Dinesh Manocha // Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2008. – Article number 4543489. – P. 1928–1935.

6. The Hybrid Reciprocal Velocity Obstacle / Jamie Snape. Jur van den Berg, Stephen J. Guy, and Dinesh Manocha // IEEE Transactions on Robotics. – Volume 27. – Issue 4. – 2011. – P. 696–706.

7. Andy Korth. Modeling and Simulation with Agents [Электронный ресурс]. – <http://kortham.net/publications/AgentBasedModeling.pdf>

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004:681.3

Ю. М. Брумштейн¹, Н. К. Юрков², В. А. Камаев³

ЦЕЛЕСООБРАЗНЫЙ СОСТАВ И ИНФОРМАТИВНОСТЬ НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВУЗОВСКИХ ЖУРНАЛОВ: ВЗГЛЯД С ПОЗИЦИЙ ИХ НАУЧНЫХ РЕДАКТОРОВ*

¹Астраханский государственный университет

²Пензенский государственный университет

³Волгоградский государственный технический университет

brum2003@mail.ru, yurkov_nk@mail.ru, vkamaev40@mail.ru

Рассмотрена роль научных журналов вузов (НЖВ) в формировании интеллектуальных ресурсов общества. Показано место НЖВ среди других научных изданий. С позиций научных редакторов (НР) НЖВ выполнен анализ информативности и недостатков существующих наукометрических показателей (НП); систем их автоматизированной оценки. Проанализированы возможные подходы к «свертке» информации по НП путем использования метода главных компонент/главных факторов; перехода к одному или нескольким «интегральным» показателям и др. Предложены некоторые дополнительные НП, важные с позиций принятия решений НР.

Ключевые слова: интеллектуальные ресурсы, научные журналы, наукометрические показатели, подходы к оценкам, многомерные методы, интегральные показатели, информационные технологии, научные редакторы, принятие решений.

Ju. M. Brumshteyn¹, N. K. Yurkov², V. A. Kamayev³

EXPEDIENT STRUCTURE AND INFORMATIONAL CONTENT OF UNIVERSITIES JOURNALS SCIENTOMETRIC INDICATORS: THE LOOK FROM POSITIONS OF THEIR SCIENTIFIC EDITORS

¹Astrakhan State University

²Penza State Technical University

³Volgograd State Technical University

In article is considered the role of the universities scientific journals (USJ) in formation of society intellectual resources. Authors show the place of USJ among other scientific publications. From positions of scientific editors (SE) of USJ is made the analysis of informational content and shortcomings of the existing scientometric indicators (SI); systems of their automated definition. In article are analyzed possible approaches to SP information «convolution» by usage of main component /main factors methods; transition to one or several «integrated» indicators, etc. Authors also offered some additional SP, important for SE decision making.

Keywords: intellectual resources, scientific journals, scientometric indicators, approaches to estimates, multidimensional methods; integrated indicators, information technologies, scientific editors, decision-making.

Результаты научной деятельности вузов во многом определяют их конкурентоспособность, в том числе по таким направлениям, как научный имидж [3]; подготовка научно-педагогических кадров; открытие Советов по защите диссертаций; получение грантов на проведение научных исследований – в том числе от фондов-грантодателей, по федеральным целевым

программам; обеспечение качества набора студентов, аспирантов и пр. Научные журналы (НЖ) вузов играют ключевую роль в поддержке их научного авторитета, обеспечении оперативности публикаций аспирантов и сотрудников. Объективная оценка качества (результативности) работы НЖ вузов и их НР должна опираться на совокупность НП журналов и их динамику, учитывать специфику работы вузов как образовательно-научных организаций. Однако эти вопросы в существующей литературе проанализированы неполно. Поэтому *цель дан-*

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 14-06-00279 «Разработка методов исследования и моделирования объемов/структуры интеллектуальных ресурсов в регионах России».

ной статьи – комплексный анализ вопросов, связанных с составом и информативностью оценок НП НЖВ.

**Общая характеристика
особенностей НЖВ России,
их места среди других научных изданий**

В общем случае НП научной деятельности могут оцениваться для стран, регионов, совокупности организаций [8], отдельных организаций [8] – в том числе НИИ и вузов, направлений научной деятельности [4], групп НЖ, в том числе совокупности НЖ одного издательства или вуза, отдельных НЖ [12], авторов статей [5]. В большинстве публикаций НП оцениваются для организаций [8] и отдельных авторов. В немногих работах, посвященных НП изданий (например [12]), предлагаемые подходы к их оценкам не дифференцированы по типам журналов и издающих их организаций.

Для публикуемых в России НЖ выделим такие категории: академические НЖ, издаваемые структурами Российской Академии наук; журналы, выпускаемые научными или научно-техническими обществами; отраслевые научно-производственные журналы, выпускаемые профильными НИИ и аналогичными им организациями; НЖ, выпускаемые издательствами, не связанными непосредственно с вузами (в том числе и чисто коммерческие издания); журналы, издаваемые вузами – в основном подведомственными Минобрнауки. В общей массе издаваемых в России НЖ доля НЖВ составляет несколько десятков процентов. Это намного больше, чем доля книжных изданий вузов (учебников, учебных пособий, научных монографий и т. п.) среди всех изданий аналогичного характера в России.

Как правило, даже если НЖВ разбиты по отдельным сериям, они не узкоспециализированные, а политематические. Преобладающим языком публикаций в НЖВ пока остается русский. Типично опубликование 4 номеров НЖВ в год, намного реже – 6 и даже 12 выпусков. Для оценки «научной весомости» российских НЖВ выделим следующие группы:

(1) – журналы, включенные в международные реферативные базы данных и системы цитирования (МРБ и СЦ), которые «признаются» Высшей аттестационной комиссией (ВАК) России [10]. Эти МРБ и СЦ условно разобьем на две группы: (г1) универсальные – Web of Science, Scopus, Springer [7]; (г2) специализированные – Astrophysics Data System, PubMed

(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), Agris rural, GeoRef, MathSciNet (<http://www.ams.org/mathscinet/>), zbMATH, Chemical Abstracts (<http://www.cas.org/>) [7]. При этом по правилам ВАК такие журналы «считаются включенными в Перечень по отраслям науки, соответствующим их профилю» [10]. В этом перечне в преобладают МРБ и СЦ по естественным наукам и отсутствуют «чисто» инженерные и гуманитарные. Среди НЖВ наиболее известны две МРБ и СЦ – Web of Science и Scopus. Под термином НР в данной статье мы понимаем главных редакторов и ответственных секретарей НЖВ, а также активно работающих членов редколлегий. Для обеспечения включения НЖВ в МРБ и СЦ (прежде всего в Scopus) сейчас предпринимаются серьезные усилия – как со стороны самих вузов, так и на Федеральном уровне. В частности, функционирует российский экспертный совет по отбору и продвижению журналов в Scopus [9]. Отметим, что часть Российских НЖ полностью переводится на английский язык и распространяется за рубежом на платной основе, однако для НЖВ это нехарактерно;

(2) – журналы, включенные в список изданий ВАК (<http://vak.ed.gov.ru/87.jsessionid=ajx0AKxJ91R-vTgh85CGPycX>). Наличие публикаций соискателей в них является обязательным при защите кандидатских и докторских диссертаций. На 01.01.2015 г. этот перечень на сайте ВАК насчитывал 2269 российских изданий – включая и те, выпуск которых уже прекращен. Значительная часть из выходящих журналов уже входит в группу «1», однако для НЖВ это пока нехарактерно. В последнее время список ВАК практически перестал дополняться, а случаи исключения НЖ из этого списка – единичны. ВАКовский статус журналов, не включенных в группу «1», носит исключительно внутривосский характер – в большинстве зарубежных стран (кроме, пожалуй, стран СНГ) он не дает авторам публикаций в таких изданиях каких-то преимуществ. Такая ситуация затрудняет для НР НЖВ привлечение авторов из-за рубежа – даже из развивающихся стран. В то же время для иностранных аспирантов российских вузов ВАКовский статус НЖВ имеет принципиальное значение;

(3) – российские издания, отраженные на сайте www.elibrary.ru в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), но не относящиеся к группам «1» и «2». Всего на 01.01.2015

РИНЦ учитывал 10 302 российских периодических издания, но индексировал только 4818 из них. При этом из указанных 10 302 журналов к 01.01.2015 продолжали выходить 8847 журналов. Входили в перечень ВАК (соответствует группе «2» по нашей классификации) 2228 – это меньше чем 2269, указанные выше;

(4) – другие российские периодические издания, которые еще не получили статуса, соответствующего группе «3»;

(5) – отражение в РИНЦе части неперiodических изданий вузов – в том числе и таких, на которые есть ссылки в статьях, публикуемых в НЖВ.

Существуют и иные системы учета, реферирования, накопления публикаций, не упомянутые в [10]:

(с1) – российские (например, ВИНТИ, который выпускает многочисленные реферативные журналы). Реферирование в ВИНТИ публикаций из НЖВ обычно отражается на их титульных листах, но не влияет на научный статус журналов;

(с2) – зарубежные, универсального характера (например, Ulrich Directory);

(с3) – зарубежные национальные системы. Например, в Китайской Народной Республике – это Chinese Science Citation Index; в Японии – Citation Database for Japanese Papers (адрес сайта http://support.nii.ac.jp/en/cia/cinii_db); в республике Корея – Korean Citation Index [13]; SCIELO (в основном ориентирован на журналы из Бразилии и Южной Америки); Taiwan Humanities Citation Index (республика Тайвань). Согласно [13] разработки, направленные на создание национальных индексов цитирования, осуществляются и в ряде европейских стран (Испания, Португалия, Польша). Отметим, что в МРБ и СЦ присутствует лишь часть НЖ, отражаемых в национальных системах учета цитирований (включая и РИНЦ);

(с4) – узкотематические системы учета цитирований и электронные библиотеки (например, в отношении компьютерных наук укажем DBLP (<http://dblp.uni-trier.de/>));

(с5) – континентальные МРБ и СЦ (например, для «Африки южнее Сахары» – это сайт <http://web.stanford.edu/dept/SUL/library/prod/depts/ssrg/africa/jourindex.html>, который поддерживает Стэнфордский университет в США).

На титульных листах НЖВ указывается следующая информация об их «включенности»: в список ВАК – обычно с указанием года

включения; обязательно – в МРБ и СЦ; как правило – и в другие системы научного реферирования, индексирования (и пр.), перечисленные выше.

Направленность работы НЖВ обычно отражается уже в его названии (научный; научно-производственный; научно-технический и пр.), причем на его научный статус она не влияет. Абсолютное большинство изданий, составляющих группы «2» и «3», издается в печатном виде. При этом НЖВ, особенно по группам «1» и «2», размещаются также в электронной форме – на вузовских сайтах и/или сайте РИНЦ. Как правило, в Интернете доступен полный архив опубликованных номеров НЖВ – с момента начала их выпуска. По группам «2» и «3» имеются немногие чисто электронные издания, т. е. такие, у которых нет тиражируемых печатных аналогов.

В России растет внимание к усилению интеграции вузовской науки с зарубежным научно-информационным пространством – в том числе за счет использования информационных технологий для доступа к иностранным изданиям; публикаций сотрудников вузов в авторитетных зарубежных НЖ; приобретению изданиями из группы «2» статуса, соответствующего группе «1». В частности, в отчетах за работу по грантам основных российских фондов-грантодателей уже отдельным пунктом требуется указывать публикации в зарубежных изданиях и их импакт-факторы (ИФ).

Рост внимания к публикациям вне России активизировал проведение в России «Скоповских конференций», материалы которых публикуются в зарубежных НЖ; появление в Интернете многочисленных предложений о публикациях в неперiodических изданиях с зарубежными ISSN (в список ВАК и МРБ и СЦ они, как правило, не включены, но обычно отражаются в РИНЦ); распространение по электронной почте предложений о приеме материалов для публикации в иностранных НЖ, которые не включены в МРБ и СЦ – с использованием неполной или даже фальсифицированной информации [9]; предложений от посреднических фирм об обеспечении публикаций в зарубежных НЖ. Эти предложения могут приходиться с электронных адресов, включающих фрагменты названий известных издательств (например, с alena@elsevierpublishing.com). Сайт www.elsevier.com действительно принадлежит одноименному издательству.

Для российских авторов публикации в зарубежных НЖ с высоким ИФ затрудняются высокой стоимостью публикаций (некоторые вузы пытаются ее компенсировать последующими денежными выплатами авторам); неприспособленностью большинства вузовских авторов к требованиям зарубежных НЖ – кроме лиц, которые с ними систематически работают; часто – слабым знанием авторами английского языка (это может приводить к возврату работ из зарубежных НЖ по стилистическим причинам); значительной конкуренцией в престижных зарубежных НЖ за возможность публикации; нередко – большой длительностью ожидания момента опубликования работ (это может быть неприемлемо для аспирантов). Поэтому большинство результатов научных исследований сотрудники и аспиранты вузов (особенно региональных) пока публикуют в Российских журналах, в том числе в НЖВ своего или иных вузов.

Такие публикации играют важную роль в формировании интеллектуальных ресурсов вузов и регионов [1, 2], иногда – страны в целом. Большая часть публикаций в НЖВ – русскоязычные. Поэтому они потенциально доступны зарубежным ученым в основном на уровне аннотаций. Как следствие участие НЖВ России в формировании глобального научно-информационного и интеллектуального пространства пока недостаточно; снижены возможности получения сотрудниками вузов (особенно региональных) международных грантов; грантов, выделяемых российскими фондами-грантодателями на совместные проекты с зарубежными научными организациями и вузами; шансы получения сотрудниками вузов зарубежных стажировок за счет средств принимающей стороны и др.

Публикации статей в НЖВ обеспечивают формирование научного имиджа вузов в целом [3]; групп исследователей, научных школ, кафедр в вузах; отдельных ученых, аспирантов. Для обеспечения комплексности охвата научной и инновационной деятельности вузов в НЖВ помимо научных статей могут публиковаться и иные материалы: информация о прошедших на базе вузов научных, научно-методических и научно-практических мероприятиях, выставках научно-технического творчества; рецензии на монографии, реже – на циклы статей (но не отдельные статьи); информация о юбилеях ведущих ученых, возглавляющих научные школы; сведения о присвоениях со-

трудникам вузов ученых степеней и званий; получении ими и аспирантами научных наград, дипломов и пр.; информация о получении вузами патентов на изобретения и полезные модели, свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, баз данных (по профилям НЖВ) и пр. Опубликование такой информации может способствовать продвижению разработок сотрудников в конкурентных условиях и др.

Формально НЖВ не связаны прямо с деятельностью конкретных советов по защите диссертаций, которые работают при вузах. Однако в ряде НЖВ прямо указываются номера ВАКовских специальностей, для которых статьи «засчитываются» в перечень опубликованных ВАКовских работ. Альтернативный подход – рубрикация журнала определяется кодами ГРНТИ и научными специальностями ВАК (см. например <http://nikas.pnzgu.ru/>). Однако сейчас в списке журналов ВАК на ее сайте не указано, по каким именно отраслям наук публикации в каждом из журналов засчитываются в качестве ВАКовских. Также не отражены вопросы дифференцированного зачета публикаций в журналах из этого списка при защите кандидатских и докторских диссертаций.

Существующие наукометрические показатели журналов и их возможные альтернативы

Объективность и полнота НП НЖ (включая и НЖВ) важны не только НР, но и руководству вузов и их научно-исследовательских подразделений; авторам статей в таких журналах; советам по защите диссертаций и др. Общепризнано, что существующие НП для журналов и авторов имеют ряд недостатков [11]. Поэтому актуально обсуждение вопросов не только использования существующих НП, но и разработки альтернативных вариантов – в том числе для повышения эффективности государственного финансирования научно-исследовательской деятельности [14], использования мер господдержки продвижения российских журналов в МРБ и СЦ [9].

Поскольку большинство российских НЖВ пока не входят в группу «1» (см. выше), вопросы их НП в зарубежных МРБ и СЦ для главных редакторов и ответсекретарей журналов пока не являются особо актуальными. В тоже время НР тех изданий, которые подают заявки на включение в МРБ и СЦ, обычно изучают опыт деятельности и динамику НП аналогичных Российских изданий, которые уже попали в группу «1».

Основное внимание НР НЖВ сейчас уделяют НП, отражаемым в РИНЦ. Анализ динамики этих НП и их сравнение с другими НЖ позволяют обеспечить определенную информационно-аналитическую поддержку принятия решений при определении и реализации редакционной политики; отборе статей, поступающих в НЖВ, для опубликования. К сожалению РИНЦ не приводит усредненных показателей для тематических или иных групп журналов. Поэтому НР чаще всего выбирают эталоны для сравнения самостоятельно или ориентируются на показатели НЖВ в своем регионе.

Большое количество НП журналов, отражаемых РИНЦ на своем сайте, в определенной степени осложняет деятельность НР НЖВ, принятие ими решений. Для НР возможны три основных подхода:

(А) – применение методов главных компонент (МГК) или главных факторов (ГФ) для формальной свертки информации по первичным НП в небольшое количество «синтетических» показателей;

(Б) – использование интегральных показателей, «сконструированных» на основе некоторых первичных НП;

(В) – ориентация на ключевые первичные НП и/или их ограниченные совокупности.

Для корректного использования варианта (А) важен набор НЖ, по которым берутся первичные НП; выбор совокупности этих НП. В силу значительной коррелированности многих первичных НП априорно можно считать, что МГК и ГФ дадут результаты с высокими факторными нагрузками на первые главные компоненты/факторы. Однако содержательная интерпретация полученных компонент/факторов будет затруднительной.

Для варианта (Б) может решаться обратная задача экспертного оценивания. Ее основные этапы:

(б1) – отбираются тематически близкие НЖ;

(б2) – эксперты дают балльные оценки для каждого из НЖ – исходя из содержания статей, актуальности их тематики и пр. Примем, что оценки экспертов представлены матрицей $[B_{i,j}]_{i=1...I; j=1...J}$, где I – количество экспертов; J – количество НЖ;

(б3) – определяется (например, экспертно) совокупность « n » НП (например, из числа показателей, отраженных на сайте РИНЦ);

(б4) – выбирается вид интегральной функции для оценки НЖВ, например, в виде линей-

ной комбинации значений первичных НП, т. е. $P_1...P_n$:

$$F = a_0 + a_1 P_1 + ... a_n P_n; \quad (1)$$

(б5) – на основе метода наименьших квадратов для (1) определяются коэффициенты $a_0...a_n$ исходя из минимума критерия

$$\psi_\Sigma = \left(\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (F_j - B_{i,j})^2 \right), \quad (2)$$

где F_j – оценка качества j -го НЖ по (1).

Формула (2) дает формализованные оценки интегрального качества (ψ_Σ) НЖ; может применяться и для НЖ, не входящих в выбранную совокупность журналов, но тематически аналогичных им; допускает обобщение за счет учета экспертных (весовых) коэффициентов для экспертов – например, полученных методом взаимного перекрестного оценивания.

Для варианта (В) основной показатель для оценки уровня российских НЖ – пятилетний ИФ РИНЦ без учета самоцитирований, т. е. ссылок из статей, публикуемых в том же журнале [6]. Кроме того, РИНЦ рассчитывает и двухлетние ИФ – с учетом самоцитирований и без них [6].

Укажем недостатки традиционных ИФ с позиций НР НЖВ:

(в1) – эти индексы рассчитываются лишь ежегодно, причем с запаздыванием порядка 11 месяцев;

(в2) – автоматизировать разделение ссылок в публикациях на позитивные, нейтральные и негативные достаточно сложно. Поэтому учет только фактов упоминаний опубликованных работ (ссылок) снижает объективность использования ИФ как НП, оценивающих качество НЖ;

(в3) – оценивается только общее количество ссылок, без учета включенности НЖ в список ВАК и/или МРБ и СЦ; ИФ этих изданий и пр. Наиболее простое решение для исправления данной ситуации – использование усредненных значений ИФ (I_F^*) по всем ссылкам на « K » статей, опубликованных в НЖ за рассматриваемый период (для изданий без ИФ РИНЦ значения ИФ примем нулевыми). В формализованном виде это соответствует

$$I_F^* = \left(\sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^{\theta_k} I_f^{(g)} \right) / K, \quad (3)$$

где θ_k – количество ссылок на « k »-ю статью, опубликованную в НЖ; $I_f^{(g)}$ – ИФ журнала для статьи, из которой была сделана g -я ссылка.

Отметим, что ИФ большинства НЖ, из статей в которых были сделаны ссылки на публикации в НЖВ, обычно меньше «1». Поэтому значение I_F^* чаще всего будет меньше «традиционных» ИФ;

(в4) – в вариантах оценок ИФ НЖВ, реализованных на сайте РИНЦ, не дифференцируются ссылки из российских и зарубежных журналов, хотя для оценки целесообразности включения НЖВ в списки МРБ и СЦ такая дифференциация может быть достаточно важна;

(в5) – значение ИФ не отражает в явной форме доли «востребованных» публикаций в НЖВ, т. е. тех, на которые есть хотя бы одна ссылка.

Применение РИНЦ для расчета ИФ НЖ только двух «вариантов» (без «самоцитирования» и с их учетом) дает недостаточно детальную информацию. Представляется, что была бы целесообразна дифференциация таких «категорий» ссылок: автор публикации ссылается на статью, опубликованную в том же НЖ ранее, причем в ней он является автором или соавтором; ссылка дается на статью, опубликованную другим автором (авторами) в том же НЖ; делается ссылка на публикацию в НЖВ из статьи того же автора, опубликованной в другом НЖ того же вуза; ссылка дается автором из внешнего по отношению к вузу издания на статью, где он является автором или соавтором; ссылки на статьи в НЖВ из изданий других организаций, причем авторы работ разные. В последнем случае важно также наличие и количество совместных работ у авторов публикации, из которой делается ссылка, и той, на которую она делается. С позиций НР нежелательны и систематические (в том числе и в разных НЖ) ссылки одних авторов статей на других авторов – даже если у них нет совместных публикаций.

Помимо ИФ востребованность научных статей в НЖВ может оцениваться и через их «читаемость» – на основе ряда показателей, определяемых в автоматическом режиме: количество просмотров на сайте вуза и/или РИНЦ аннотаций и/или самих статей из НЖВ (при этом очень кратковременные просмотры из учета целесообразно исключать – исходя из того, что статья не заинтересовала посетителя или просмотр был начат по ошибке); суммарная длительность таких просмотров; количества скачиваний статей – как правило, они бесплатны. Помимо настольных ПЭВМ и ноутбуков просмотры/скачивания статей из НЖВ возможны с компьютерных планшетов, смартфонов и «электронных книг».

В конце 2014 г. на сайте РИНЦ для НЖВ начал отражаться индекс Херфиндаля – Хиршмана (ИХХ), оценивающий степени диверсифицированности публикаций в журналах в отношении организаций, представляемых авторами. Разумной альтернативой ИХХ мог бы быть индекс эквитабельности НЖ для организаций (E_o), вычисляемый по

$$E_o = \left(-\sum_{j=1}^S p_j \ln(p_j) \right) / \ln(S), \quad (4)$$

где p_j – доля публикаций, относящихся к j -й организации, от общего числа публикаций за рассматриваемый период времени; S – общее число организаций. Подобные индексы применяются в экологии – обычно для оценки разнообразия видов в сообществе. При этом $0 \leq E_o \leq 1$, а большее значение E_o соответствует большей эквитабельности (выровненности). Показатель эквитабельности воспринимается интуитивнее по сравнению с ИХХ (уменьшение последнего по сравнению с максимумом в 10 000 отражает степень диверсификации организаций, представляемых авторами).

Если считать, что в одной публикации каждый из авторов представляет одну и только одну организацию, то для p_j имеем

$$p_j = (\sum_{k=1}^K \lambda_k) / K, \quad (5)$$

где K – общее количество опубликованных в НЖВ работ за рассматриваемый период; $\lambda_k = 1$, если в k -й публикации участвует автор (авторы) из j -й организации; $\lambda_k = 0$ – если не участвуют. Более объективный аналог (5)

$$p_j = (\sum_{k=1}^K \beta_{k,j}) / K, \quad (6)$$

где

$$\beta_{k,j} = C_{k,j} / C_k^*. \quad (7)$$

В (6), (7) $\beta_{k,j}$ – отношение в k -й статье количества авторов из j -й организации ($C_{k,j}$) к общему количеству соавторов в этой статье (C_k^*) – при этом по умолчанию вклады авторов в работу считаются равными.

Использование (5), также как и ИХХ, дефакто опирается на ряд упрощений:

(u1) – автор в рамках одной статьи представляет лишь одну организацию, хотя по совместительству может работать в нескольких (учет сразу нескольких организаций автора будет требовать изменения правил описания при-

надлежности авторов; введения дополнительной гипертекстовой разметки в статьи для автоматизации расчетов; усложнения вычислений НП и пр.);

(u2) – публикуемые статьи по размеру (объему) равны или примерно равны. Однако на практике размеры статей в НЖВ могут значительно отличаться. Тогда вместо (6) целесообразно

$$p_j = (\sum_{k=1}^K V_k \beta_{k,j}) / \sum_{k=1}^K V_k, \quad (8)$$

где V_k – объем (размер) k -й статьи. Аналогичным образом может быть построен и индекс эквивалентности для НЖВ по авторам (E_a).

Недостаток E_o – количество организаций в нем прямо не отражается. Поэтому целесообразно применение пар показателей « E_o – количество организаций»; « E_a – количество авторов».

Еще один подход к оценке научного уровня НЖВ – учет научно-квалификационных категорий (НKK) авторов – вручную или автоматизированно (последнее, очевидно, потребует дополнительной гипертекстовой разметки для «сведений об авторах» в статьях). Для получения НKK отдельных авторов возможны такие варианты:

- 1) – формальные оценки, соответствующие научному «статусу» авторов;
 - 2) – информация об их личных НП;
 - 3) – экспертное оценивание НKK авторов.
- Для «1» можно, например, условно принять такие балльные оценки для НKK: студенты-бакалавры – 1; магистранты – 2; аспиранты – 4; кандидаты наук – 8; доктора наук – 12; заслуженные деятели науки – 18; члены-корреспонденты АН России – 25; действительные члены АН России – 40.

Для k -й статьи, в которой участвуют M_k авторов с личными НКУ $\{q_{m,k}\}_{m=1...M_k}$, научно-квалификационный уровень (НКУ) работы (Q_k)

$$Q_k = (\sum_{m=1}^{M_k} q_{m,k}) / M_k. \quad (9)$$

Средняя оценка НКУ ($\bar{Q}$) на основе (9) для отдельных номеров НЖВ или их совокупности за период с учетом объемов работ ($\{V_k\}_{k=1...K}$)

$$\bar{Q} = (\sum_{k=1}^K Q_k V_k) / \sum_{k=1}^K V_k. \quad (10)$$

Возможные альтернативы предложенной выше «шкалы» для оценок НKK отдельных авторов могут основываться на следующих личных НП: общее количество публикаций автора, учтенных в РИНЦ (или в определенной МБР и СЦ – хотя для вузовских авторов это пока не очень характерно); количество учтенных в РИНЦ ссылок на эти публикации; линейная комбинация этих показателей с экспертным определением весовых коэффициентов; личные индексы Хирша авторов [11]; линейные комбинации количеств публикаций, ссылок на них и индексов Хирша; средний ИФ изданий, в которых публиковался автор и др. Все эти альтернативы допускают автоматизацию расчетов в пределах сайта РИНЦ. При этом для «неиндексированных» авторов можно принять нулевое значение НKK.

С позиций НР более простой для расчета показатель НКУ НЖВ – доля авторов статей за определенный период, которые имели ученые степени на момент публикации. Однако для НР НЖВ важно еще и распределение долей «степененных авторов» по категориям степеней и отраслям наук – такая информация может быть представлена как двумерная матрица.

С учетом необходимости усиления интеграции НЖВ в международное информационное пространство для НР важен еще ряд НП, пока не отражаемых РИНЦ в виде долей:

- (п1) – количества статей (или объема материалов), опубликованных в НЖВ на иностранных языках от общего количества статей;
- (п2) – зарубежных авторов по отношению к общему количеству авторов;
- (п3) – ссылок на иноязычные источники в библиографических списках статей, опубликованных в НЖВ;

(п4) – ссылок из зарубежных журналов на статьи в НЖВ по отношению к общему числу ссылок учтенных РИНЦ. При этом для расчетов по «п1» целесообразно учитывать и иноязычные аннотации, а для «п2» различать такие подгруппы лиц: обучающиеся в России иностранные аспиранты и студенты; лица, работающие за рубежом и пожелавшие принять участие в работе российского НЖВ. Значения НП по «п3» важны для оценки знакомства авторов с зарубежной периодикой, а по «п4» – в отношении «включенности» НЖВ в международное информационное пространство.

Выводы

1. Научные журналы вузов играют важную роль в их деятельности, включая формирование интеллектуальных ресурсов, подготовку научно-педагогических кадров и др.

2. Совокупность наиболее распространенных НП не в полной мере обеспечивает для НР НЖВ информационно-аналитическую поддержку их деятельности.

3. На сайте РИНЦ количество рассчитываемых НП постепенно увеличивается. Однако с позиций НР НЖВ имеющиеся возможности автоматизированной обработки информации пока используются неполностью.

4. Предложенные в данной статье альтернативные (дополнительные) НП для НЖВ обеспечивают полезные возможности информационно-аналитической поддержки деятельности НР. Однако они нуждаются в апробации на реальных НЖВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брумштейн, Ю. М. Анализ моделей динамики интеллектуальных ресурсов и связанных с ними информационных процессов / Ю. М. Брумштейн // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании. – Тюмень : Библиотечно-издательский комплекс Тюменского государственного нефтегазового университета, 2010. – С. 159–165.
2. Брумштейн, Ю. М. Интеллектуальные ресурсы региона: системный анализ компонентной структуры, подходов к оценкам, моделей динамики / Ю. М. Брумштейн // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (139) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»). – С. 52–57.
3. Брумштейн, Ю. М. Публикационная политика регионального вуза в контексте управления его научным имиджем / Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина, Л. В. Яковлева // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань. – 2013. – № 2. – С. 99–109.
4. Гулько, А. Ю. Комплексное применение наукометрических показателей для анализа научно-технических направлений / А. Ю. Гулько, Н. В. Максимов // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. – 2014. – № 12. – С. 12–23.
5. Ефимова, Г. З. Анализ эффективности наукометрических показателей при оценке научной деятельности / Г. З. Ефимова // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – № 8. – С. 101–108.
6. Еременко, О. Г. Особенности национальной оценки научных журналов (Science Index 2014 аналитические инструменты и сервисы для оценки научной деятельности 15–16 декабря 2014 г РАНХиГС, г. Москва) [Электронный ресурс] / О. Г. Еременко. http://elibrary.ru/projects/science_index/conf/2014/presentations/Eremenko_2014-12-16-1.pps. Дата доступа 15.01.2015.
7. Зацман, Г. Индексы научного цитирования [Электронный ресурс] / Г. Зацман. – <http://polit.ru/article/2012/10/26/quotation/>. Дата и время размещения 26.10.2012; 14:38. Дата обращения – 03.01.2014
8. Кабакова, Е. А. Использование наукометрических показателей при оценке научной деятельности [Электронный ресурс] / Е. А. Кабакова // Вопросы территориального развития. 2014. – № 8 (18). – С. 1–12 (по <http://elibrary.ru/download/39947030.pdf>). Дата доступа 11.01.2015.
9. Кириллова, О. В. И снова о критериях отбора, форматах и качестве журналов в индексах цитирования (Science Index 2014 аналитические инструменты и сервисы для оценки научной деятельности 15–16 декабря 2014г РАНХиГС, г. Москва) [Электронный ресурс] / О. В. Кириллова. http://elibrary.ru/projects/science_index/conf/2014/presentations/SciIndex_16122014.pdf. Дата доступа 15.01.2015.
10. Приказ Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. № 793 Об утверждении правил формирования в уведомительном порядке перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук и требований к рецензируемым научным изданиям для включения в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (зарегистрирован Минюстом России 25 августа 2014 г., регистрационный № 33863). Вступил в силу 19 октября 2014 г.
11. Полянин, А. Д. Недостатки индексов цитируемости и Хишса и использование других наукометрических показателей / А. Д. Полянин // Математическое моделирование и численные методы. – 2014. – Т. 1. – № 1–1. – С. 131–144.
12. Третьякова, О. В. К вопросу об импакт-факторе научного журнала и методиках его формирования / О. В. Третьякова // Вопросы территориального развития. – 2014. – № 5 (15). – С. 4.
13. Хорошевский, В. Ф. Наукометрия в процессах поддержки принятия решений (Science Index 2014 аналитические инструменты и сервисы для оценки научной деятельности 15–16. 12.2014 г РАНХиГС, г. Москва) [Электронный ресурс] / В. Ф. Хорошевский. – http://elibrary.ru/projects/science_index/conf/2014/presentations/Horoshevsky_Nauko-metria.pdf. Дата доступа 15.01.2015.
14. Шаршов, И. А. Развитие наукометрических показателей в современной системе государственного финансирования научно-исследовательской деятельности / И. А. Шаршов, Д. С. Жуков, С. К. Лямин // Социально-экономические явления и процессы. – 2013. – № 2 (048). – С. 171–176.

УДК 519.816:510.22

*М. А. Кузнецов, Е. А. Исаев***ОЦЕНКА ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ
В ГОРОДСКОМ МАССИВЕ****Волгоградский государственный технический университет**

Jack8in@gmail.com, mara122@mail.ru

В статье описано применение алгоритма принятия решения на основе нечетких множеств при определении привлекательности жилья в городском массиве. Задача формализуется на основе наиболее распространенных критериев оценки привлекательности жилого фонда. Рассматриваются способы извлечения информации из распространенных геоинформационных систем.

Ключевые слова: принятие решений, нечеткие множества, выбор жилья.

*М. А. Kuznetsov, E. A. Isaev***EVALUATION ATTRACTIVE LOCATION RESIDENTIAL BUILDING IN THE CITY ARRAY****Volgograd State Technical University**

The article describes the use of decision-making algorithms based on fuzzy sets in determining the attractiveness of housing in the city array. The problem is formalized on the basis of the most common criteria for evaluating the attractiveness of housing. The methods of extracting information from common geographic information systems.

Keywords: decision algorithm, fuzzy sets, choice of housing.

Вопрос о выборе жилья являлся и является весьма актуальным. С древнейших времен человек выбирал места поселения. Отбор велся по различным критериям, которые значительно изменялись с течением времени. Для того времени наиболее важными факторами оценки привлекательности жилья являлась возможность укрытия от множества опасностей: непогоды и хищников, а также наличие поблизости средств для пропитания и приготовления пищи. С развитием цивилизации учет некоторых факторов потребовал появления стандартов проживания. Любое современное жилое здание соответствует критериям защиты от наиболее вероятных опасностей и обеспечивает возможность минимального комфорта приготовления пищи. Однако актуальность задачи выбора не снизилась, а скорее даже усложнилась, так как появились новые факторы, требующие учета при принятии решения.

Для современной семьи становятся важными такие критерии, как наличие поблизости поликлиник, школ, детских садов, общественного транспорта и коммуникаций, а также учреждений, обеспечивающих работу и досуг. В некотором смысле данные факторы более тонко реализуют защиту и обеспечивают комфорт проживания. По сравнению с простейшим минимаксным подходом и анализом небольшого числа альтернатив, та же задача выбора жилья в настоящее время требует более сложного математического аппарата для учета новых множе-

ственных «тонких» критериев. Кроме того, искусственная среда обитания человека порождает и новые опасности: шум, электромагнитные излучения, технологические вибрации, опасности утечек вредных веществ от близлежащих производств.

Для современного человека отсутствие прямых угроз заменяется косвенными нагрузками на психику от отсутствия вблизи желаемых объектов и наличием потенциально опасных производств рядом с местом проживания.

Задача выбора жилья характерна не только для рядовой семьи. Строительные организации также принимают подобные решения при выборе места для возведения жилого здания. При этом необходимо учитывать пожелания среднестатистического горожанина, так как соблюдение нормативных стандартов по строительству жилых помещений недостаточно для создания более привлекательного жилого фонда по сравнению с застройщиками-конкурентами.

На сегодняшний день существует множество различных алгоритмов для анализа данных [7]. Попробуем формализовать критерии оценки для такого усредненного жителя. Исходя из опроса приобретающих жилье людей, для них важным являются следующие показатели:

- количество производств с выбросами в воздух и воду, в зоне которых находится потенциальное место проживания;
- наличие источников шума поблизости и их количество;

• наличие рядом парковых зон, продуктовых магазинов, банков, развлекательных учреждений;

• близость остановок общественного транспорта;

• присутствие медицинских учреждений.

Все показатели характеризуются понятием «близость». И хотя в ряде случаев, используя геоинформационные системы, можно точно определить расстояние, прямого влияния на принятие решения данный численный критерий не имеет. Нельзя утверждать, что привлекательность здания, удаленного в два раза дальше от источника шума, в два раза выше.

Однако привлечение математического аппарата нечетких множеств к оценке альтернатив позволит автоматизировать процесс извлечения знаний из геоинформационных систем, что в конечном итоге ускорит процесс принятия решения. В то же время перевод четких значений показателей на язык нечетких множеств вносит ограничения на выбор методов решения.

Насколько же приемлемо в данном вопросе применение алгоритма нечеткого логического вывода? Для решения задачи выделим базовые характеристики, на основе которых будет приниматься решение. Такими показателями явля-

ются: X – мощность шума в потенциальном месте проживания (0...100 дБ) [4]; Y – близость парковых зон, с учетом проезда на общественном транспорте (0...40 минут); Z – количество продуктовых магазинов в зоне проживания (0...10 шт.).

Множества X , Y и Z описываются входными лингвистическими переменными – термами (нечеткими подмножествами), также описывается и выходная лингвистическая переменная T . Для фаззификации нечеткого вывода должны быть определены еще функции принадлежности четких значений лингвистических переменных нечетким множествам – термам этих лингвистических переменных. Поэтому для каждой лингвистической переменной необходимо определить качественные зависимости функций принадлежности значений переменной каждому из ее термов [1]. Для построения функций принадлежности значений четких значений $x \in X$, $y \in Y$, $z \in Z$ и $t \in T$ переменных X , Y , Z и T нечетким множествам – термам – целесообразно провести экспертный опрос. Однако на данном этапе разработки достаточно иметь приближенные кусочно-линейные директивно-заданные функции принадлежности [2]. Для удобства сведем вышесказанное в табл. 1.

Таблица 1

Описание лингвистических множеств

Лингвистическое множество				Функция
X	Мощность шума	X_1	Тихо	$\mu_{X_1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \leq 0 \\ 0, & \text{при } x \geq 40 \\ \frac{40-x}{100}, & \text{при } 0 \leq x \leq 40 \end{cases}$
		X_2	Нормально	$\mu_{X_2}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0 \\ 0, & \text{при } x \geq 60 \\ \frac{x}{100}, & \text{при } 0 \leq x \leq 40 \\ \frac{60-x}{100}, & \text{при } 40 \leq x \leq 60 \end{cases}$
		X_3	Шумно	$\mu_{X_3}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 40 \\ 0, & \text{при } x \geq 80 \\ \frac{x-40}{100}, & \text{при } 40 \leq x \leq 60 \\ \frac{80-x}{100}, & \text{при } 60 \leq x \leq 80 \end{cases}$
		X_4	Очень шумно	$\mu_{X_4}(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \geq 60 \\ 0, & \text{при } x \leq 100 \\ \frac{x-60}{100}, & \text{при } 60 \leq x \leq 100 \end{cases}$

Окончание табл. 1

Лингвистическое множество				Функция
Y	Близость парковых зон	Y_1	Близко	$\mu_{Y_1}(y) = \begin{cases} 1, \text{ при } y \leq 5 \\ 0, \text{ при } y \geq 10 \\ \frac{10-y}{5}, \text{ при } 5 \leq y \leq 10 \end{cases}$
		Y_2	Нормально	$\mu_{Y_2}(y) = \begin{cases} 0, \text{ при } y \leq 5 \\ 0, \text{ при } y \geq 20 \\ \frac{y-5}{5}, \text{ при } 5 \leq y \leq 10 \\ \frac{20-y}{5}, \text{ при } 15 \leq y \leq 20 \\ 1, \text{ при } 10 \leq y \leq 15 \end{cases}$
		Y_3	Далеко	$\mu_{Y_3}(y) = \begin{cases} 1, \text{ при } y \geq 20 \\ 0, \text{ при } y \leq 15 \\ \frac{y-15}{5}, \text{ при } 15 \leq x \leq 20 \end{cases}$
Z	Количество продуктовых магазинов	Z_1	Мало	$\mu_{Z_1}(z) = \begin{cases} 1, \text{ при } z \leq 2 \\ 0, \text{ при } z \geq 5 \\ \frac{5-z}{2}, \text{ при } 2 \leq z \leq 5 \end{cases}$
		Z_2	Нормально	$\mu_{Z_2}(z) = \begin{cases} 0, \text{ при } z \leq 2 \\ 0, \text{ при } z \geq 7 \\ \frac{z-2}{2}, \text{ при } 2 \leq z \leq 5 \\ \frac{7-z}{2}, \text{ при } 5 \leq z \leq 7 \end{cases}$
		Z_3	Много	$\mu_{Z_3}(z) = \begin{cases} 0, \text{ при } z \leq 4 \\ 0, \text{ при } z \geq 8 \\ \frac{z-4}{2}, \text{ при } 4 \leq z \leq 6 \\ \frac{8-z}{2}, \text{ при } 6 \leq z \leq 8 \end{cases}$
		Z_4	Очень много	$\mu_{Z_4}(z) = \begin{cases} 1, \text{ при } z \geq 9 \\ 0, \text{ при } z \leq 7 \\ \frac{z-7}{2}, \text{ при } 7 \leq x \leq 9 \end{cases}$
T	Решение о благоприятности жилья	T_1	Привлекательно	$\mu_{T_1}(t) = \begin{cases} 0, \text{ при } t \geq 0.3 \\ \frac{0.3-t}{0.3}, \text{ при } 0 \leq t \leq 0.3 \end{cases}$
		T_2	Скорее да, чем нет	$\mu_{T_2}(t) = \begin{cases} 0, \text{ при } t \geq 0.6 \\ \frac{t-0.3}{0.3}, \text{ при } 0 \leq t \leq 0.3 \\ \frac{0.6-t}{0.3}, \text{ при } 0.3 \leq t \leq 0.6 \end{cases}$
		T_3	Скорее нет, чем да	$\mu_{T_3}(t) = \begin{cases} 0, \text{ при } t \leq 0.4 \\ \frac{t-0.4}{0.3}, \text{ при } 0.4 \leq t \leq 0.7 \\ \frac{0.7-t}{0.3}, \text{ при } 0.7 \leq t \leq 1 \end{cases}$
		T_4	Нет	$\mu_{T_4}(t) = \begin{cases} 0, \text{ при } t \leq 0.7 \\ \frac{1-t}{0.3}, \text{ при } 0.7 \leq x \leq 1 \end{cases}$

По полученным функциям принадлежности строятся следующие графики (см. рис. 1–4).

В дальнейших расчетах нам понадобится база знаний. Она определяет правила выбора среди альтернатив. Для формирования базы знаний W необходимо сформулиро-

вать набор правил «если U_i то $t \in T_j$ », где $U_i = ((x \in X_i) \cap (y \in Y_j) \cap (z \in Z_k))$ – посылка правила; $T_j \in T$ – заключение правила; $x \in X_i$ – логическое выражение «шум принадлежит нечеткому множеству X_i »; $y \in Y_i$ – логическое вы-

ражение «близость парков принадлежит нечеткому множеству Y_i »; $z \in Z_i$ – логическое выражение «количество магазинов принадлежит нечеткому множеству Z_i »; $t \in T_i$ – логическое выражение «величина t принадлежит нечеткому множеству T_i ».

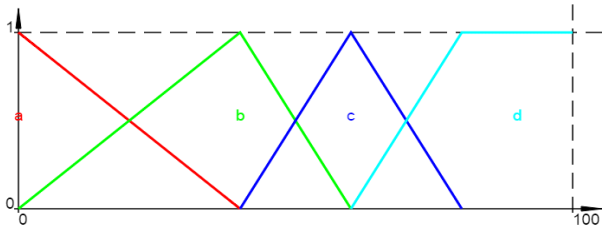


Рис. 1. Шум вблизи потенциального места (в дБ [0...100 дБ]):
a – тихо (0, 40); b – нормально (0, 60); c – шумно (40, 80);
d – очень шумно (60, 100)

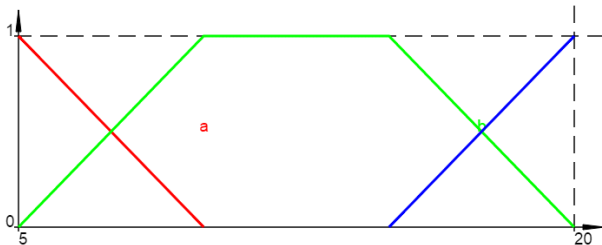


Рис. 2. Близость парковых зон от потенциального места (в минутах [0...20 минут]):
a – близко (5, 10); b – нормально (5, 20); c – далеко (15, 20)

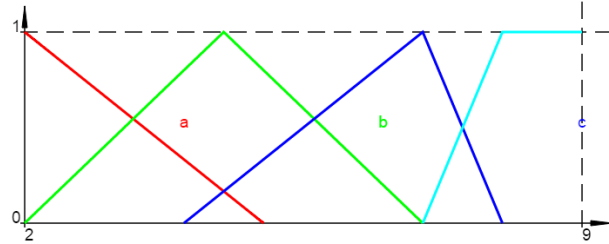


Рис. 3. Количество продуктовых магазинов (в штуках [0...10 шт.]):
a – мало (2, 5); b – нормально (2, 7); c – много (4, 8);
d – очень много (7, 9)

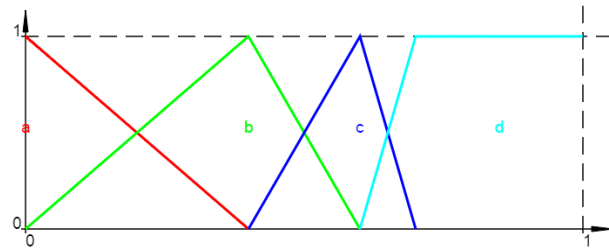


Рис. 4. Выходное лингвистическое множество:
a – да (0, 0.4); b – скорее да, чем нет (0, 0.6); c – скорее нет, чем да (0.4, 0.7); d – нет (0.6, 1)

В связи с тем, что на данном этапе не определены условия необходимости и достаточности объема базы знаний, формируем базу знаний из всех возможных комбинаций значений входных лингвистических переменных ($4 * 3 * 4 = 48$ правил).

№	Если			То
	1*	2*	3*	
1	тихо	близко	мало	скорее да, чем нет
2	тихо	близко	нормально	скорее да, чем нет
3	тихо	близко	много	да
4	тихо	близко	очень много	скорее да, чем нет
5	тихо	нормально	мало	скорее да, чем нет
6	тихо	нормально	нормально	скорее да, чем нет
7	тихо	нормально	много	скорее да, чем нет
8	тихо	нормально	очень много	скорее да, чем нет
9	тихо	далеко	мало	скорее нет, чем да
10	тихо	далеко	нормально	скорее нет, чем да
11	тихо	далеко	много	скорее нет, чем да

Рис. 5. База знаний

База знаний, в которой для каждого терма входной переменной существует хотя бы одно правило, называется базой знаний со слабой полнотой. Частичная выборка правил приведена на рис. 5.

В связи с тем, что в базе знаний W существует несколько правил, имеющих разные посылки и одинаковое заключение ($W_i \in W$ раз-

мера M_i , где заключение во всех правилах W_i сформулировано как « $t \in T_i$ »), рассматривая конкретную альтернативу для каждого терма выходной лингвистической переменной, целесообразно определить правило, наиболее соответствующее рассматриваемой альтернативе (имеющее наибольшее значение меры выполнения посылки):

$$\left(\bigwedge_{1 \leq l \leq 4} W_l \right) \left[\{W_i\} \sim \left(\bigcup_{1 \leq m \leq M_i} U_m \rightarrow t \in T_i \right) \right].$$

Нечеткий вывод формулируется для правила modusponens – для известной посылки (предпосылки, антицедента) U и заданной импликации R необходимо найти заключение (следствие, консеквент) T :

$$\frac{U', U \rightarrow T}{T'}$$

Получение результата прямого нечеткого вывода T' можно представить в виде:

$$T' = U' \circ R = U' \circ (U \rightarrow T),$$

где $(\circ)$ – операция свертки (композиционное

правило нечеткого логического вывода).

В настоящее время существует не так уж и много проверенных практикой способов нечеткой импликации. Например, при описании системы принятия решения, А. С. Мясников достаточно подробно охарактеризовал один из методов импликации [5], его мы и будем рассматривать. В данной работе для правил вида

$$(x \in X_i \cap y \in Y_j \cap z \in Z_k) \rightarrow T_l$$

будет использоваться нечеткая T -импликация Мамдани (Mamdani):

$$\mu_R(x \in X_i, y \in Y_j, z \in Z_k, t \in T_l) = \min(\mu_U(x \in X_i, y \in Y_j, z \in Z_k), \mu_{T_l}(t)),$$

$$\mu_U(x \in X_i, y \in Y_j, z \in Z_k) = \min(\mu_{X_i}(x), \mu_{Y_j}(y), \mu_{Z_k}(z)).$$

Здесь μ_U – мера выполненности посылки $x \in X_i \cap y \in Y_j \cap z \in Z_k$.

Для построения нечеткой композиции множества правил W в работе использовалось максиминное композиционное правило:

$$\mu_{T'}(t) = \sup_{t \in T, W} \left\{ \min \left(\mu_U(x \in X_i, y \in Y_j, z \in Z_k), \mu_R(x \in X_i, y \in Y_j, z \in Z_k, t \in T_l) \right) \right\},$$

где $\sup_{t \in T \{...\}}$ – оператор вычисления верхней границы множества элементов $\{...\}$, где t «пробега-ет» все значения из T .

При использовании дискретного представления величины t справедлива формула

$$\mu_{T'}(t) = \max_{t \in T, W} \left\{ \min \left(\mu_U(x \in X_i, y \in Y_j, z \in Z_k), \mu_R(x \in X_i, y \in Y_j, z \in Z_k, t \in T_l) \right) \right\}.$$

При этом для дефаззификации нечеткой композиции использовался центроидный метод:

$$Q = \frac{\int_0^1 t \cdot \mu_G(t) \cdot dt}{\int_0^1 \mu_G(t) \cdot dt} = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{n}{N} \cdot \mu_{T_l}(\frac{n}{N})}{\sum_{n=0}^N \mu_{T_l}(\frac{n}{N})}$$

где Q – центр тяжести нечеткой композиции; N – размер дискретно заданного равномерно «разбитого» множества T .

Разрабатываемый механизм нечеткого логического вывода будет корректно функционировать только в условиях доступности оценок альтернатив по соответствующим критериям. Для получения этих характеристик нужно провести отдельное исследование. Однако предварительные оценки можно получить из открытых источников. В данной работе в качестве источника информации используется свободно распространяемая геоинформационная система 2ГИС. Так, оценка шума производится по наличию вблизи места жительства характерных источников шума, таких, как трамвайные пути,

дороги с оживленным движением и т. д. Исходя из средней громкости шумов, от расположенных поблизости источников рассчитывается параметр «шум». Учет расстояния до парковых зон и количество близлежащих магазинов производится средствами API 2ГИС [6]. В качестве примера анализировались жилые комплексы в городе Волгоград.

Для вычисления центра тяжести нечеткого множества «решение о покупке» были получены следующие графики нечеткой композиции для каждой альтернативы.

На рис. 6 показано, насколько характеристики конкретной альтернативы определяют решение о ее покупке. Так, из рис. 6 видно, что принятие решения о приоритетности соответствующей альтернативы «скорее да, чем нет» с мерой принадлежности 0,4 и решение «скорее нет, чем да» с мерой принадлежности 0,63. Очевидно, что нечеткая композиция определяется, в основном, правилом 28 сформированной ранее базы знаний.

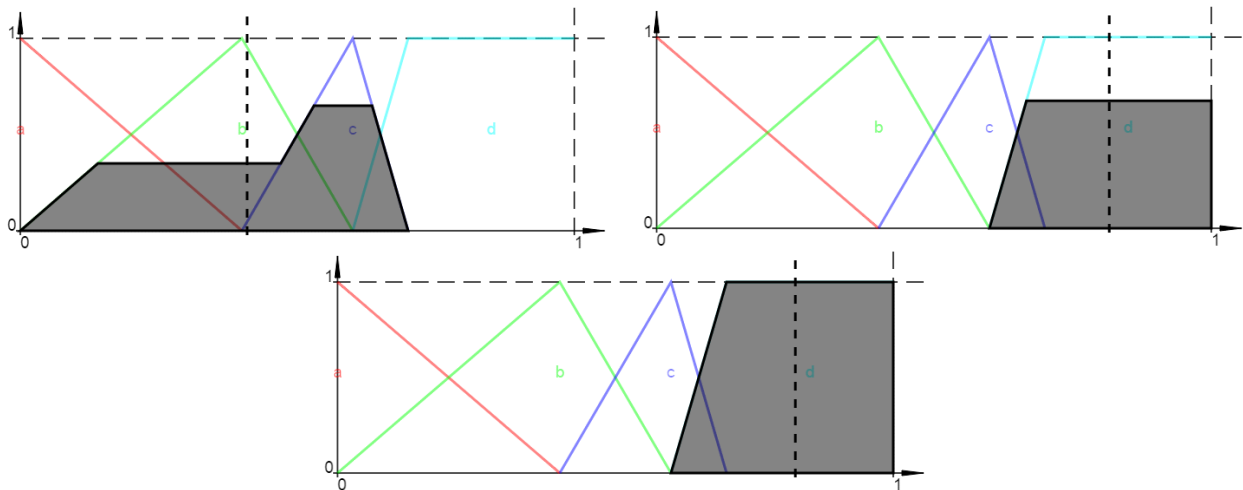


Рис. 6. Нечеткие композиции:

верхняя левая диаграмма – для пересечения ул. Рабоче-Крестьянской и ул. Бобруйской; верхняя правая диаграмма – для пересечения ул. Аджарской и ул. Льва Толстого; нижняя диаграмма – для пересечения ул. Шурухина и просп. Ленина

В связи с тем, что на рисунках термы выходной лингвистической переменной расположены на условной шкале нечеткого вывода от «да» до «нет», то альтернатива будет обладать

большим приоритетом, если значение центра тяжести ее нечеткой композиции меньше [3]. В табл. 2 представлены значения центра тяжести нечеткой композиции каждой альтернативы.

Таблица 2

Характеристики альтернатив и значение центра тяжести нечеткой композиции, соответствующее заданным характеристикам

Альтернативы \ Характеристики	Шум	Близость	Магазины	Центр тяжести н.к.
Пересечение ул. Рабоче-Крестьянской и ул. Бобруйской	53	15	2	0.409568674699 скорее да, чем нет
Пересечение ул. Аджарской и ул. Льва Толстого	64	20	3	0.816186692955 нет
Пересечение ул. Шурухина и просп. Ленина	83	5	1	0.823834695044 нет

Данный пример демонстрирует преимущества математического аппарата нечеткой логики при принятии решений в условиях неопределенности. Процесс сбора информации об альтернативах также достаточно легко автоматизируется при использовании существующих геоинформационных систем. Полученные в процессе выбора графики позволяют не только адекватно оценить возможные альтернативы, но и предоставляют вывод, наглядный для человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976. – 283 с.

2. Мелихов, А. Нечеткие, ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Мелихов, Л. Бернштейн, С. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 354 с.

3. Ягер, Р. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения : пер. с англ. / Р. Ягер. – М. : Радио и связь, 1986. – 375 с.

4. Вялышев, А. Шум вокруг нас / А. Вялышев // Наука и жизнь. – 2006. – № 4. – 144 с.

5. Мясников, А. С. Система поддержки принятия решения о покупке автомобиля / А. С. Мясников // Наука и образование. – 2009. – № 1.

6. Документация по API 2ГИС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://api.2gis.ru/doc/>

7. Соколов, А. А. Разработка новых алгоритмов интеллектуальной поддержки и программного обеспечения для решения задач системного анализа / А. А. Соколов // Известия ВолгГТУ. № 14(117). 2013.

УДК 519.876.2:004.942:352.075.2

*Д. С. Парыгин***МЕТОД ОЦЕНКИ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ ГОРОДА*****Волгоградский государственный технический университет**

dparygin@gmail.com

В статье рассматриваются основные задачи стратегического планирования и принципы построения сценарных прогнозов. Описывается разработанный метод оценки стратегий развития города, базирующийся на когнитивной структуризации предметной области и построении когнитивных моделей исследуемого объекта, а также сценарном прогнозировании развития ситуации. Приводится пример расчетов по предлагаемому методу, основанный на реальных данных по городу Волгограду, для сравнительной оценки сценариев «Управление на уровне района» и «Разрешение острых проблем».

Ключевые слова: метод оценки стратегии, сценарное прогнозирование, когнитивное моделирование, управление развитием города, поддержка принятия решений.

*D. S. Parygin***METHOD OF EVALUATION URBAN DEVELOPMENT STRATEGIES****Volgograd State Technical University**

The paper considers the main tasks of strategic planning and the principles of scenario forecasts construction. Describes the developed method of evaluation urban development strategies based on the cognitive structuring of the subject area and the construction of cognitive models studied object as well as the scenario forecasting of situation development. Gives the example of calculations by the proposed method for the comparative evaluation of scenarios «Management at the district level» and «Solution acute problems» based on real data from the city of Volgograd.

Keywords: strategy evaluation method, scenario forecasting, cognitive modeling, urban development management, decision-making support.

Введение

Структуризация информации о системе и происходящих в ней процессах сегодня может быть реализована при помощи наработанного аппарата методов моделирования. Построенная комплексная модель исследуемого объекта будет учитывать качественные и количественные данные о его состоянии, степень влияния включенных компонентов друг на друга, а также на основные показатели, отражающие тенденции преобразования объекта во времени. В виду этого, актуальной является задача создания методов, которые позволят, используя созданные модели, прогнозировать ситуацию и оценивать различные сценарии ее развития до принятия управленческих решений.

1. Сценарные прогнозы городского развития

Управление развитием современных городов – сложный и многогранный процесс. Как никогда актуально научное осмысление новых условий и перспектив, определяющее принципы формирования стратегий развития. Стратегическое планирование должно ориентироваться на формирование безопасной и комфортной

городской среды, создание экономики знаний, уникального культурного пространства и условий для реализации потребностей жителей. Переход к обоснованному планированию хозяйственной деятельности способен сыграть особую роль в процессе формирования идеологии устойчивого развития. В связи с этим, для предотвращения принятия и осуществления ошибочных управленческих решений, угрожающих нормальному жизнеобеспечению города, необходимо применение научно-обоснованного подхода в реализации намечаемых планов развития городских территорий, определении технологий, позволяющих вырабатывать и анализировать различные варианты решений и оценивать их эффективность. Таким образом, процесс планирования развития города тесно связан с разработкой стратегии, реализация которой обеспечит сбалансированный учет как имеющихся ресурсов, так и потребностей всех ключевых отраслей жизнедеятельности, включая внутренний и внешний рынки, инвестиции, производство и потребление, демографические процессы и историко-культурные традиции, экологию и природопользование [1].

Стратегический план устойчивого развития является одним из основополагающих документов, необходимых для формирования эффективного процесса управления, ориентиро-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-07-00219-а).

ванного на долгосрочный результат. Сам по себе стратегический план в целом, дифференцируемые по обстоятельствам варианты итогов его реализации, а также входящие в его состав частные (отраслевые) стратегии представляют собой ни что иное, как желаемые или ожидаемые сценарии развития событий. Точное прогнозирование в таком случае становится залогом качества сценария, который и закладывается в основу создаваемой стратегии и, как следствие, будущих успехов в развитии города.

Определение наиболее вероятного варианта развития системы является классической задачей прогнозирования. Сценарное же прогнозирование исходит из парадигмы неопределенности и неоднозначности траектории возможного развития. При сценарном прогнозировании одновременно рассматриваются несколько вариантов развития ситуации, анализируются сопутствующие возможности и риски.

Сценарий синтезируется на основе совокупности разнообразных техник, приемов и механизмов, не останавливаясь на раз и навсегда определенной последовательности шагов по созданию прогноза. В числе главных задач сценарного прогнозирования – изучение текущих условий и ситуации для обнаружения факторов, воздействия на которые позволят запустить процесс трансформации состояния системы в желаемом направлении. Базой выявления возможных сценариев развития выступает сценарное моделирование [2].

В ходе проводившихся имитационных экспериментов, основанных на предварительных аналитических исследованиях урбанизированных территорий, для решения задач прогнозирования развития города был создан ряд моделей, разработанных с применением когнитивного и системно-динамического методов [1, 3], описывающих внешнюю и внутригородскую среду. В выполнении процедур когнитивного моделирования и сценарного прогнозирования использовались информационные системы, реализованные на кафедре САПР и ПК ВолгГТУ, такие, например, как «Программный комплекс для генерации когнитивных моделей на основе экспертных данных» [4]. Анализ полученных сценарных прогнозов позволил выявить систему взаимосвязей между проектируемыми и конечными результатами городского развития и сформулировать метод его оценки, применимый для информационно-аналитической поддержки стратегического планирования [5, 6].

2. Метод оценки стратегий развития города на основе когнитивного моделирования

Разработанный метод включает ряд последовательных шагов:

1. Проводится структуризация информации о городской среде («комплексная стратегия») или ее исследуемом фрагменте («частные стратегии»). В качестве информационной базы используются результаты экспертных опросов и обработки статистических данных.

2. Разрабатывается когнитивная модель города. В ее составе отражаются количественные и качественные свойства структуры рассматриваемого объекта, выявленные на предыдущем этапе при систематизации данных и представлений о городской среде.

3. Проводится исследование созданной модели с применением методов сценарного прогнозирования [7] при различных вариантах развития ситуации.

4. Проводится сравнительный анализ полученных сценарных моделей, по результатам которого выявляются стратегии, представляющие наибольший интерес с точки зрения практической реализации.

Например, для разработанной модели внутригородской территории [8] были получены следующие сравнительные итоги (табл. 1):

- без активных управленческих воздействий на различных уровнях власти тенденции значимых социально-экономических факторов остаются приближенными их начальному уровню;

- эффект решения проблем, наиболее остро отзывающихся в общественном представлении, сопоставим с результатами направленных управленческих воздействий в отношении комплекса регулярных вопросов обеспечения жизнедеятельности города за счет ресурсов местной (районной) администрации.

Согласно результатам сценария «Управление на уровне района», управленческие полномочия, доступные на внутригородском уровне власти (администрации района), позволяют достигнуть удовлетворительных разнонаправленных изменений для ряда значимых факторов: сокращение уровня регистрируемой преступности, повышение общественно-экономических показателей развития. При этом фактор «Социальная напряженность» отражает сохраняющуюся потребность воздействия на комплекс направлений, характеризующих особо проблемные точки городской среды и выраженных в показателях развития автодорожной ин-

фраструктуры, жилого фонда и дошкольных учреждений. По существующим же нормам решение этих задач относится к общегородскому

уровню власти (администрации города и/или региона), что согласуется с результатами реализации сценария «Разрешение острых проблем».

Таблица 1

Тенденции ситуации в зависимости от сценария управления [9]

Фактор	Начальная тенденция	Тенденция саморазвития	Сценарий «Разрешение острых проблем»	Сценарий «Управление на уровне района»
Развитие культуры и организация досуга	0,32	0,34	0,34	0,40
Развитие физкультуры и спорта	0,01	0,01	0,01	0,03
Количество субъектов хозяйственной деятельности	– 0,05	– 0,03	0,32	0,27
Численность населения	– 0,01	0,05	0,55	0,47
Социальное развитие	0,09	0,08	0,65	0,21
Развитие инфраструктуры туризма и рекреации	0,00	– 0,13	0,66	0,29
Промышленное производство	0,00	0,00	0,00	0,02
Экологическая опасность	– 0,10	0,16	– 0,19	0,12
Социальная напряженность	– 0,10	0,34	– 0,49	0,33
Зарегистрированные преступления	– 0,08	– 0,08	– 0,32	– 0,29

5. Определяется баланс планируемых затрат ресурсов и достигаемых результатов на основе расчета и сравнения экономической эффективности реализации рассматриваемых стратегий:

5.1. Выявляются значения финансовых показателей управляющих воздействий, примененных в рамках сопоставляемых стратегий.

Для рассматриваемого примера модели городского района [8], учитываются среднегодовые на исследуемом временном промежутке показатели [9]:

– численность населения исследуемого района, 82 500 чел.

а) бюджет районной программы целевого планирования (по сценарию «Управление на уровне района»), 73 500 000 руб.:

– расходы на одного жителя по целевому плану района, 890 руб.;

б) бюджет решения «ключевых» проблем (по сценарию «Разрешение острых проблем»), 2 380 000 000 руб.:

– «дороги», 1 500 000 000 руб.;

– «детсады», 300 000 000 руб.;

– «ремонт жилья», 550 000 000 руб.;

– «ликвидация свалок», 30 000 000 руб.;

– расходы на одного жителя для решения «ключевых» проблем, 2350 руб.

Соотношение затрат по сценарию «Управление на уровне района» к затратам по сценарию «Разрешение острых проблем» из расчета на одного жителя составляет 0,379.

5.2. Сравняются начальные условия и результаты прогнозного моделирования целевых

факторов городской среды, полученные в сценариях управляемого и свободного развития (табл. 2, столбцы 2–4):

$P_{сн}$ – разница между значениями тенденции саморазвития и начальной тенденции;

$P_{он}$ – разница между значениями тенденции, полученной по сценарию «Разрешение острых проблем», и начальной тенденцией;

$P_{вн}$ – разница между значениями тенденции, полученной по сценарию «Управление на уровне района», и начальной тенденцией.

Сопоставляются полученные значения управляемых сценариев с результатами моделирования саморазвития ситуации (табл. 2, столбцы 5–6):

$P_{ос}$ – модуль разницы между значениями приращения, полученного по сценарию «Разрешение острых проблем», и приращением саморазвития;

$P_{вс}$ – модуль разницы между значениями приращения, полученного по сценарию «Управление на уровне района», и приращением саморазвития.

Вычисляется соотношение (табл. 2, столбец 7) управлений по рассматриваемым сценариям $S_{во}$, рассчитываемое как отношение $P_{ос}$ к $P_{вс}$.

Среднее значение соотношения эффекта реализации сценариев «Управление на уровне района» и «Разрешение острых проблем» составляет 0,494.

5.3. Определяется соотношение эффекта управления (п. 5.2 предлагаемого метода) к затратам (п. 5.1).

Таблица 2

Сопоставление результатов управления по различным сценариям [9]

Фактор	$P_{сн}$	$P_{он}$	$P_{вн}$	$P_{ос}$	$P_{вс}$	$C_{во}$
1	2	3	4	5	6	7
Развитие культуры и организация досуга	0,02	0,02	0,08	0,00	0,06	–
Развитие физкультуры и спорта	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	–
Количество субъектов хозяйственной деятельности	0,02	0,37	0,32	0,35	0,30	0,857
Численность населения	0,06	0,56	0,48	0,50	0,42	0,840
Социальное развитие	– 0,01	0,56	0,12	0,57	0,13	0,228
Развитие инфраструктуры туризма и рекреации	– 0,13	0,66	0,29	0,79	0,42	0,532
Промышленное производство	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	–
Экологическая опасность	– 0,26	0,09	– 0,22	0,35	0,04	0,114
Социальная напряженность	– 0,44	0,39	– 0,43	0,83	0,01	0,012
Зарегистрированные преступления	0,00	0,24	0,21	0,24	0,21	0,875

В рассматриваемом примере оценка соотношения затрат, требуемых для исполнения своих полномочий администрациями различного уровня, и получаемых тенденций развития городской среды показала, что управляющие воздействия на внутригородском уровне власти почти на 23 % эффективнее воздействий, формируемых на общегородском уровне. В качестве вывода, к проведенному на модели внутригородской территории [8] исследованию, можно говорить о получении наибольшего эффекта при организации функционирования системы обеспечения жизнедеятельности (СОЖД) в кратчайшие сроки с меньшими затратами ресурсов за счет совместной работы всех уровней государственно-муниципальной власти, общественного самоуправления, населения и хозяйствующих субъектов.

Заключение

Созданный метод оценки стратегий развития города на основе когнитивного моделирования, как элемент системы поддержки принятия решений, позволяет исследовать эффективность формируемой стратегии, выявив в ее составе перспективные в социальном, экономическом и экологическом плане элементы, путем сравнения заложенных в нее готовых сценариев изменения ситуации. Анализ вариантов корректировки планов и программ развития города, проводимый на основе предложенного метода, дает возможность сократить время согласования частных стратегий, получив комплексную оценку стратегического плана, выявив недостатки и противоречия отдельных программ, оп-

ределив условия организации функционирования СОЖД города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Scenario forecasting of sustainable urban development based on cognitive model / N. P. Sadovnikova [et al] // ICT, Society and Human Beings 2013 : Proceedings of the IADIS International Conference, Section I, Prague, Czech Republic, 24-26 July 2013. – IADIS Press, 2013. – P. 115–119.
2. Evaluating the sustainability of Volgograd / N. P. Sadovnikova [et al] // The Sustainable City VIII : Proceedings of the Eight International Conference on Urban Regeneration and Sustainability, Section 3, Putrajaya, Malaysia, 03-05 December 2013. – WIT Press, 2013. – P. 279–290.
3. Sadovnikova, N. P. Quality management of urban environment using the system dynamics method [Electronic resource] / N. P. Sadovnikova, D. S. Parygin, E. V. Manunina // Modern scientific research and their practical application. – 2013. – Is. 4 (J113). – Vol. J11307. – P. 176–182. – Mode of access : <http://sworld.com.ua/e-journal/j11307.pdf>.
4. Программный комплекс для генерации когнитивных моделей на основе экспертных данных : Св. о гос. рег. прогн. для ЭВМ №2013614145 / Н. П. Жидкова, Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин ; правообладатель ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2013611960 ; поступ. 15.03.13 ; зарег. 24.04.13.
5. Информационно-аналитическая поддержка в вопросах построения системы управления стратегией развития муниципальных образований / Д. С. Парыгин [и др.] // Современные технологии и управление : мат-лы Всероссийской заоч. науч.-техн. конф. / Филиал МГУТУ им. К. Г. Разумовского в р. п. Светлый Яр [и др.]. – Светлый Яр, 2012. – С. 104–107.
6. Концепция информационно-аналитической системы управления развитием города / Д. С. Парыгин [и др.] // Инновационные информационные технологии : мат-лы междунар. науч.-практич. конф., Прага, Чехия, 22–26 апр. 2013 г. – М. : МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – Т. 4. – С. 205–213.
7. Парыгин, Д. С. Построение траекторий территориального развития на основе методов сценарного прогнозирования [Электронный ресурс] / Д. С. Парыгин, Н. П. Садовникова, Н. П. Жидкова // Интернет-вестник ВолгГАСУ:

серия Строительная информатика. – 2012. – Режим доступа : [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/ParyginSadovnikova-2012_8\(24\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/ParyginSadovnikova-2012_8(24).pdf).

8. Парыгин, Д. С. Оценка эффективности стратегий управления городским районом на основе сценарных моделей / Д. С. Парыгин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8(111) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия

«Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 16). – С. 98–103.

9. Парыгин, Д. С. Информационные средства обеспечения жизнедеятельности человека в условиях городской среды : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 : 05.13.10 : защищена 18.12.13 / Д. С. Парыгин. – Волгоград, 2013. – 167 с.

УДК 004.94

Т. М. Петрова, Т. К. Смыковская

УПРАВЛЕНИЕ КОНСУЛЬТИРОВАНИЕМ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ ИНФОРМАТИКЕ

Волгоградский государственный социально-педагогический университет
profptm@gmail.com, smikov_t@mail.ru

В статье представлена систематизация целей управления консультированием в дистанционном обучении. Описана этапная модель управления ситуацией консультирования, показана роль консультанта при ее реализации в дистанционном обучении информатике. Представлено авторское видение проблемы связи дистанционных учебных курсов с различными видами управления ситуацией консультирования, что позволяет усилить обучающие и развивающие функции дистанционного обучения.

Ключевые слова: управление консультированием в дистанционном обучении, цели управления консультированием, ситуацией консультирования, дистанционное обучение информатике.

Т. М. Petrova, T. K. Smykovskaya

CONSULTING MANAGEMENT IN DISTANCE LEARNING INFORMATICS

Volgograd State Socio-Pedagogical University

The article presents the systematization of goals of consulting management in distance education. It describes a stage model of managing the situation of consulting, and the role of consultant in its implementation in distance learning of computer science. It also presents the author's view of the problem how to connect distance learning courses with different kinds of managing the situation of consulting, which helps to enhance the educational and developing functions of distance learning.

Keywords: consulting management in distance learning, goals of distance learning, the situation of consulting, distance learning of computer science.

В ходе экспериментальной работы была выделена ситуация управления консультированием при дистанционном обучении информатике как особый вид консультирования. Нами построена иерархизированная система целей управления консультированием в дистанционном обучении информатике, имеющая многоуровневую структуру, упорядоченную в зависимости от типа взаимодействия участников дистанционного обучения информатике.

Первая группа целей связана с организацией диагностирования при консультировании в дистанционном обучении информатике, включающая следующие цели: 1) выявление обучаемых, наиболее подготовленных к обучению информатике в системе дистанционного обучения, с обоснованным выбором направления и типа образовательной программы; 2) выявление интересов, склонностей, мотивов выбора, уровня общей культуры, способностей обучаемых посредством диагностирования уровня сформированности различных сфер личности с ис-

пользованием бланковых и компьютеризированных методик; определения структуры данной ситуации консультирования; создания условий для организации диагностики; формулирования диагностического заключения о мотивах и обоснованности выбора учебного курса и направления обучения в дистанционном обучении, а также составления прогноза об обучаемом (темп обучения, интерес, успешность обучения и т. п.); 3) подведения обучаемого к собственному решению о типе, темпе и эффективной для него технологии дистанционного обучения информатике: поддержание решения обучаемого о целесообразности его индивидуальной образовательной траектории по изучению дистанционного учебного курса по информатике или серии учебных курсов; коррекция выбора обучаемого по вопросам, связанным с организацией дистанционного учебного процесса, выбором инструментальной, технологической основы процесса обучения информатике; при необходимости переориен-

тирования обучаемого на другую индивидуальную образовательную траекторию; 4) оказание влияния на самоопределение личности обучаемого с учетом требований конкретного дистанционного учебного курса по информатике: обеспечение преподавателя дистанционного обучения диагностической информацией об обоснованности выбора обучаемым тематики курса, инструментальной, технологической основы, образовательных траекторий и т. п.; рекомендация обучаемому направления саморазвития на адаптационном этапе и при овладении содержанием.

Вторая группа целей связана с оказанием оперативной помощи обучаемому при консультировании в дистанционном обучении информатике. К ним относятся: 1) определение того, с чем связаны проблемы успешности обучения информатике (владение технологиями, умение учиться; наличие волевых усилий, сложность в освоении материала и т. п.); кроме того, необходимо: оказать помощь в самостоятельном выявлении причин успешности обучения; выявить причины успешности обучения посредством комплекса диагностических методик; выяснить круг причин, значимых для преподавателя, организующего дистанционное обучение; 2) определение меры помощи обучаемому, а также рекомендация обучаемому адекватных его потребностям и возможностям средств освоения курса с информатическим содержанием; определение средств, адекватных средствам, используемым преподавателем при организации дистанционного обучения информатике; установление средств, не вызывающих неадекватных реакций со стороны обучаемого и известных ему по ранее изученным курсам операций действий; 3) оказание влияния на поиск обучаемым самостоятельных путей выхода из проблемы, т. е. необходимо: установить степень готовности обучаемого к поиску самостоятельных путей выхода из проблемы; представить обучаемому выбор при определении пути выхода из проблемы; познакомить обучаемого со стратегиями выхода из проблемы; скорректировать пути выхода из проблем разных типов (психологических, предметных, коммуникационных, инструментальных и др.).

Третья группа целей связана с оказанием текущей помощи обучаемому при консультировании в дистанционном обучении информатике: рекомендации обучаемому по освоению определенной литературы или содержания

с помощью различных источников информации; коррекция темпа обучения и объема осваиваемой информации за определенный промежуток времени; переориентирование обучаемого на другие способы освоения информации (например, участие в чате, работа с ресурсами виртуального музея, ознакомление с электронной хрестоматией и др.); обеспечение успеха в освоении содержания по данному разделу или теме систематических курсов «Информатика» и «Информационно-коммуникационные технологии»; ознакомление со способами обработки информации – конспектирование, составление планов, тезисов, выделение основных вопросов, поиск информации в различных каталогах, базах данных, Интернете, литературе и т. п.; поиск путей решения учебных и учебно-предметных задач; освоение субъективно новых информационных технологий или их возможностей; открытие обучаемым решения конкретной учебно-предметной задачи.

Четвертая группа целей связана с развитием сферы личности обучаемого при консультировании в дистанционном обучении информатике. К ним относятся: включение обучаемого в тренинг по оценке собственной деятельности, составлению прогнозов, организуемых как очно, так и с использованием возможностей информационно-коммуникационных технологий, потенциала ресурсов Интернета; ознакомление со способами выработки у себя волевых усилий; обеспечение поддержки волевых проявлений в учебной деятельности, организованной в удаленном от преподавателя режиме.

Мы исходим из того, что при организации дистанционного обучения информатике необходимо специально создавать ситуации консультирования. Под педагогической ситуацией в рамках исследования понимается «определенная система субъект-объектных общественных отношений людей, многомерная по своим связям, характеристикам, причинно-следственным зависимостям, факторам, которые в совокупности оцениваются субъектом в качестве обстоятельств, условий деятельности» [1]. Мы придерживаемся позиции В. М. Симонова и В. В. Серикова, что в педагогической ситуации находит отражение трансформация культурных объектов из предметной в иную форму (социально-коммуникативную, организационно-деятельностную, диалогическую), в которой они могут быть присвоены. В. В. Сериков [2] выделяет следующие уровни субъективации

участников процесса взаимодействия: 1) актуализации ситуации непосредственной природной ориентировки; 2) актуализации оценочной деятельности; 3) выработки собственной мировоззренческой концепции; 4) ориентировки в поле отношений между людьми, поиска и апробации способов самоутверждения в социуме; 5) самосознания. Таким образом, ситуация приобретает гуманитарную функцию по актуализации и удовлетворению личностных потребностей человека. Следовательно, была определена методологическая позиция для установления сущностных характеристик ситуаций консультирования в дистанционном обучении информатике. Ситуация консультирования в дистанционном обучении информатике – специально спроектированный фрагмент обучения, формирующий готовность к применению полученных знаний в реальной жизнедеятельности. Сле-

дующая система требований задает модель ситуации консультирования: знание основ наук применяется для решения прикладных задач; в ситуации отображается целостность процесса жизнедеятельности; специально организуется работа по «открытию» способа применения знаний в жизненно важных ситуациях; обеспечение типовой среды (условия, операции, отношения) для различных видов человеческой деятельности; приоритетность информационной деятельности при решении прикладной или учебной задачи; оценка «гуманитарных» последствий принимаемых решений.

Анализ характеристик ситуаций консультирования, выявленных эмпирически, позволил определить типы таких ситуаций в зависимости от группы целей дистанционного обучения и консультирования в дистанционном обучении информатике (рис. 1).

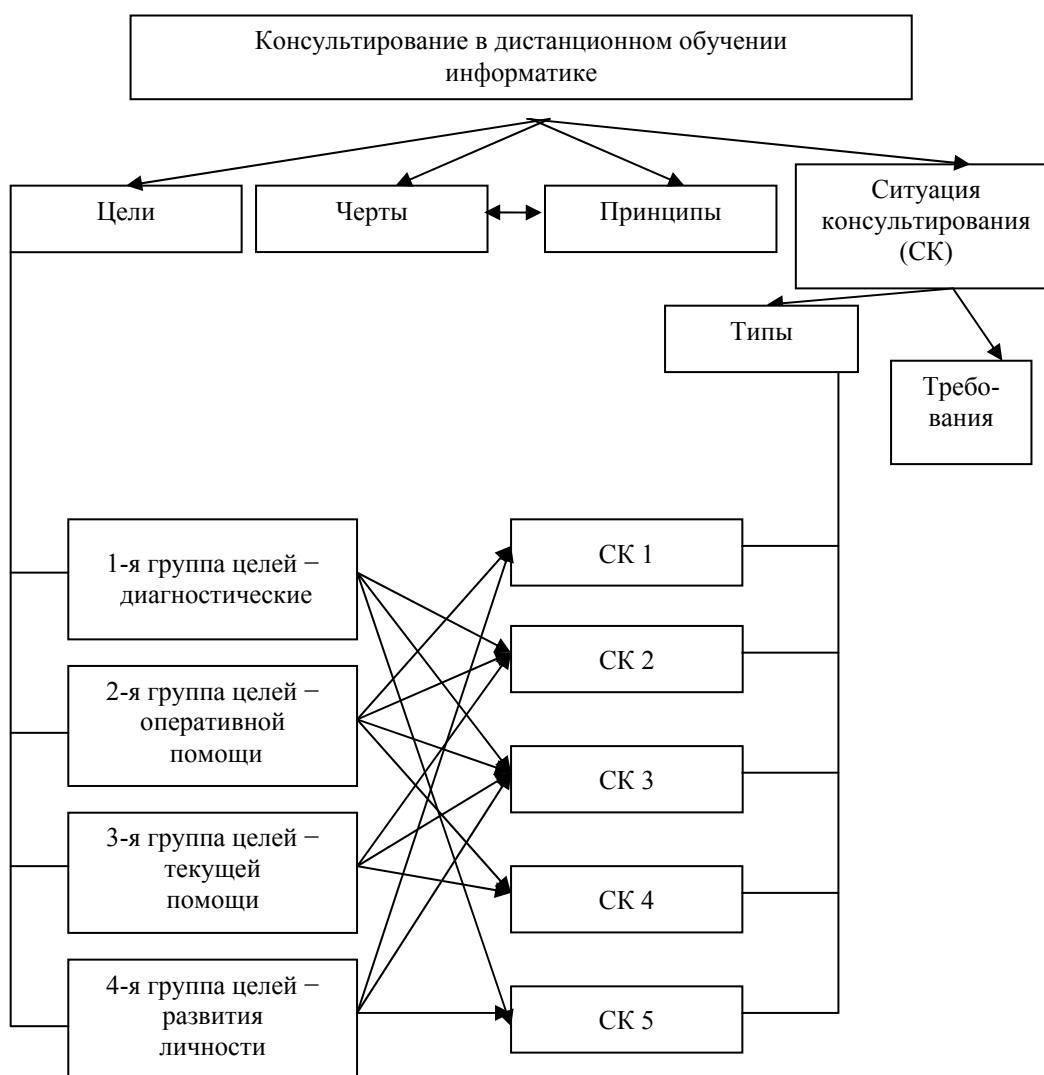


Рис. 1. Типология управления ситуаций консультирования (СК) в дистанционном обучении в зависимости от группы целей

Ситуация консультирования первого типа (СК1) ориентирована на решение целей оперативной помощи и развития личности обучаемого; второго типа (СК2) – на решение целей, связанных с диагностикой и оказанием текущей и оперативной помощи; третьего типа (СК3) – на решение целей диагностики, оперативной помощи и развития личности обучаемого; четвертого типа (СК4) – на достижение цели оперативной помощи и оказание текущей помощи; пятого типа (СК5) – на решение целей диагностики и развития личности.

В работе исследователей Е. С. Полат, М. В. Моисеевой, А. Е. Петрова, М. Ю. Бухаркиной указывается на то, что дистанционное обучение реализуется в форме дистанционных учебных курсов, которые возможно разделить на следующие виды:

1. По характеру управления учебным процессом:

1.1. Для самостоятельного персонального обучения. В таком обучении востребованы систематическое и диагностическое консультирование (для определения исходного и итогового уровня подготовки), различные средства обучения, как традиционные, так и электронные образовательные ресурсы. Возникает необходимость в ситуациях консультирования по компьютерным технологиям и технологии освоения содержания дистанционного учебного курса по информатике, вопросам работы с тестирующими программами.

1.2. Для работы под руководством преподавателя. Все этапы деятельности обучаемых на подобных курсах находятся под контролем тьютора и при постоянной методической поддержке со стороны преподавателя-разработчика. При этом для обучаемых востребованным становится регулярное консультирование по вопросам учебной программы (индивидуальное и групповое), оперативное, индивидуальное – по текущим вопросам обеспечения общения преподавателя и обучаемого, способствующим созданию благоприятного психологического микроклимата.

1.3. Смешанные, сочетающие в себе черты дистанционных учебных курсов под руководством преподавателя и самостоятельного обучения в зависимости от стоящих перед изучением той или иной части (модуля) программы цели и задач. Для таких курсов целесообразным является консультирование по вопросам диагностирования, использования технологий обу-

чения и коммуникации, по текущим вопросам (доля текущих вопросов будет зависеть от доли самостоятельности в учебном процессе в смешанном курсе). Консультирование по технологиям будет востребовано в зависимости от того, насколько преподаватель обращает внимание на процедуры, приемы освоения нового материала, обработку результатов выполнения заданий и взаимодействие с обучаемым.

С учетом типа дистанционного учебного курса по характеру управления учебным процессом и востребованности консультирования в рамках конкретных компонентов процесса дистанционного обучения информатике, была установлена связь типа дистанционного курса с типом ситуаций консультирования.

2. По дидактической цели:

2.1. Дистанционные учебные курсы базового уровня (обеспечивают базовую подготовку по предмету).

2.2. Продвинутого уровня (ориентируют на имеющийся опыт работы, повышение своей квалификации).

2.3. Углубленного уровня (предназначены для имеющих значительный опыт работы, а также ведущих самостоятельную экспериментальную и исследовательскую работу).

2.4. Профессионально-профилированного уровня (предназначены для работающих по специальности).

Анализ собственного опыта по организации дистанционных учебных курсов по информатике позволил с достаточной степенью условности определить долю разных типов ситуаций консультирования в целеориентированных курсах [3]. В основном она определяется востребованностью подготовки к тестированию и диагностированию по содержанию учебного курса.

3. По охвату темы:

3.1. Целевые тематические, содержание которых достаточно однородно и сориентировано на детальное изучение какой-либо одной темы. В данных курсах целесообразно проводить консультирование по технологиям овладения содержанием и организации взаимодействия между обучающим и обучаемым.

3.2. Интегрированные, материал которых строится на изучении интегрированных тем с учетом межпредметных связей при консультировании по методике обработки информации.

4. По структуре: модульные (имеют сложную структуру содержания, ориентированы на изучение нескольких отдельных модулей, ко-

торые по запросу обучаемых могут трансформироваться и менять логику следования).

В связи с жесткой последовательностью освоения содержания курса востребованным становится консультирование по проблемам усвоения материала. При подготовке взаимодействия с преподавателем и организации дистанционного процесса целесообразны ситуации консультирования, обеспечивающие первую, вторую и третью группы целей.

5. По уровню интерактивности:

5.1. Интерактивные, предусматривающие активное взаимодействие всех участников, реализацию обратной связи между ними посредством интернет-ресурсов и сервисов. Приоритетными являются ситуации консультирования, связанные с технологиями взаимодействия и освоения материала, а также по проблемам, возникающим в ходе обмена информацией с преподавателем и решения проблемных ситуаций.

5.2. Неинтерактивные, использующие односторонние каналы передачи информации от преподавателей к обучаемым; обучаемые получают с помощью различных средств обучения некоторый объем учебной информации, но не имеют возможности оперативно отреагировать на нее. Приоритетным становится консультирование по вопросам диагностирования, подготовки к тестированию и освоению материалов при большой доле самостоятельной работы.

Анализ собственного опыта, ранее выполненных исследований по теме, а также опыта коллег [4, 5] позволил нам выделить следующие требования к содержанию ситуаций консультирования в дистанционном обучении информатике: их системный характер (системообразующими детерминантами являются цели реализации консультирования в дистанционном обучении информатике); наличие общих характеристик и особенностей, обусловленных спецификой дистанционного обучения информатике; диалектическая взаимосвязь содержания и типа ситуации консультирования с учетом особенностей контингента консультируемых; пролонгированный характер консультационной помощи.

Одним из основных моментов при организации ситуации консультирования в дистанционном обучении информатике является определение ее содержания. Придерживаясь позиции В. В. Краевского, при определении содержания ситуации консультирования в дистанционном обучении информатике мы будем рассматри-

вать содержание на трех уровнях: общего теоретического построения содержания; учебных предметов и учебного материала. Уровень теоретического построения содержания позволяет определить в содержании ситуаций консультирования три взаимосвязанных области – научно-предметную, учебно-профессиональную и общекультурную. Уровень учебного предмета детерминирует в содержании ситуаций консультирования следующие модули: мотивационный, учебно-предметный, учебно-профессиональный, оценочно-рефлексивный, ценностный. Мотивационный модуль содержания ситуации консультирования в дистанционном обучении информатике представляется обычно через серию познавательных предметных учебных задач; учебно-предметный модуль – через соотношение задач предметной области с задачами дистанционного учебного курса; учебно-профессиональный модуль – через серию задач по использованию конкретных знаний, полученных в данном курсе, в профессиональной области; оценочно-рефлексивный – предполагает самоанализ и самопрогноз развития, освоения материала и способов оперирования с ним; ценностный модуль позволяет включить полученные знания в собственный опыт.

Проблемы научно-предметной, учебно-профессиональной и общекультурной областей содержания ситуации консультирования в дистанционном обучении информатике составляют предметно-проблемное поле конкретного дистанционного учебного курса по информатике и консультаций по его содержанию. Информационное поле ситуаций консультирования в дистанционном обучении информатике представляется нами в виде основных областей логической структуры содержания учебного курса, что дает полные сведения о нем (содержание, характер изучаемых вопросов, взаимосвязь и дополнительность элементов содержания и т. п.). В этом случае хорошо просматриваются еще и возможности расширения минимума содержания дистанционного учебного курса по информатике вариативной частью, представляемой в ситуациях консультирования. Содержание ситуаций консультирования в дистанционном обучении информатике отражает специфику конкретного дистанционного учебного курса по информатике и расширяет инвариантную часть. Представление содержания в таком виде позволяет исключить фрагментарность при реализации ситуаций консультирования

в рамках дистанционного курса по информатике, обеспечить их целостность и непрерывность. Таким образом, уровень представления содержания позволяет определить области в содержании различных типов ситуаций консультирования в дистанционном обучении информатике. Логика освоения содержания учебного курса и логика представления содержания в ситуации консультирования определяют место и функции разных типов консультаций в структуре дистанционного учебного курса. Дистанционные учебные курсы традиционно имеют либо линейную, либо модульную структуру. В линейных курсах предполагается представление основного содержания и порционное изложение и его отработка через серии заданий. Таким образом, реализации ситуаций консультирования целесообразно проводить в тех местах, где заканчивается освоение основной содержательной единицы дистанционного учебного курса, что согласуется с мнением В. В. Краевского о необходимости педагогической поддержки перехода к освоению следующей знаковой единицы [6]. При модульном построении дистанционного учебного курса ситуации консультирования необходимо реализовывать в местах перехода от одного модуля к другому, а также внутри самого модуля при переходе от объяснения нового материала к операционной части и от операционной – к контролю. Особенно при модульном построении дистанционного учебного курса по информатике необходимо консультирование в самом начале изучения курса, чтобы сориентировать обучаемого в выборе индивидуальной образовательной траектории и определении темпа и последовательности освоения модулей данного курса.

В рамках модуля мы выделяем блоки – теоретический, практический и прикладной. При переходе от одного блока к другому в рамках самого модуля становится востребованной реализация ситуаций консультирования разных типов. Необходимость в консультировании по вопросам прогнозирования и планирования деятельности появляется перед контрольно-оценочным модулем по содержанию всего дистанционного учебного курса по информатике.

Также при переходе от одного блока к другому в рамках самого модуля возникает проблема в консультациях по текущим проблемам и с консультациями, связанными с оперативной помощью.

В процессе реализации ситуаций консультирования условно можно выделить следующие этапы:

- подготовительные: 1) ориентировочный – на этом этапе задача консультанта заключается в анализе ситуации с целью определения наличия у обучаемого различного рода проблем и принятия решения о начале взаимодействия; 2) вступление в эмоциональный контакт с обучаемым – на этом этапе задача консультанта состоит в создании атмосферы сотворчества и доверия; 3) выяснение сути проблемы – на данном этапе консультант обеспечивает уточнение и детализации проблемной ситуации, проявление личностных смыслов ребенка и противоречий в его ценностно-смысловой сфере. Важно создать рефлексивное пространство, в котором бы были максимально полно воссозданы все возможные контексты ситуации:

- собственного консультирования и оказания помощи: 1) самоопределение в проблемной ситуации (главные вопросы, требующие ответа обучаемого: «Как ты к этой ситуации относишься?», «Готов ли ты что-то предпринять для ее изменения?», «Нужна ли тебе помощь?»). По сути, на этом этапе обостряется проблема принятия на себя ответственности за самого себя, свой выбор и его последствия. Важно, чтобы обучаемый мог предположить наличие вариантов действий в данной проблемной ситуации либо на уровне пережитого опыта, знаний, либо предположений; 2) открытие новых перспектив – в режиме творческого сотрудничества идет поиск вариантов выхода из проблемной ситуации в основном в режиме «мозгового штурма»: сначала фиксируются без критики все возможные идеи, когда формируется база различных идей, они обсуждаются и сравниваются между собой; 3) выбор новой стратегии – после анализа идей проводится обоснование конкретного решения, определяется план его осуществления, моделируется новое поведение; основной формой работы становятся тренировочные занятия с целью отработки какого-либо навыка, либо сюжетно-ролевые и имитационные игры, что помогает обучаемому приобрести уверенность для решения реальных жизненных ситуаций:

- обратной связи: 1) воплощение планов – на этом этапе анализируются выполненные операции, и в случае необходимости происходит корректировка планов; 2) рефлексия – здесь в ряде случаев имеет смысл обсудить вместе

с обучаемым этапы реализации ситуаций консультирования, проследив механизм освобождения от проблемы.

В ходе экспериментальной работы авторами установлено, что прохождение указанных выше восьми этапов не обязательно для реализации управления ситуацией консультирования в дистанционном обучении информатике; возможен выход на отдельных этапах обучающихся на уровень самостоятельности, а именно это обозначено как цель реализации консультирования в дистанционном обучении информатике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тохтабиев, С. А. Ситуативные предпосылки оптимальной деятельности / С. А. Тохтабиев. – Философские науки. – 1989. – № 11. – С. 109.
2. Сериков, В. В. Образование и личность (теория и практика проектирования образовательных систем / В. В. Сериков. – М. : Логос, 1999. – С. 52.
3. Петрова, Т. М. Теоретические основы формирования готовности будущего учителя к реализации дистанционного обучения информатике : Теоретическое исследование / Т. М. Петрова. – Волгоград : Перемена, 2005. – 152 с.
4. Садовникова, Н. П. Особенности проектирования инструментальных средств поддержки учебного процесса для второго высшего образования / Н. П. Садовникова // Известия Волгоградского государственного технического университета / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – Т. 7. № 4. – С. 181–182.
5. Дворянкин, А. М. Применение автоматизированного тестирования на лабораторных работах / А. М. Дворянкин, И. Г. Жукова, О. А. Сычев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. Т. 7. № 4. С. 166–168.
6. Краевский, В. В. Содержание образования: вперед к прошлому / В. В. Краевский. – М. : Пед. общество России, 2000. – 36 с.

УДК 004.942:336.761

А. В. Петрухин

АРХИТЕКТУРА БИРЖЕВОГО РОБОТА ДЛЯ РАБОТЫ В СРЕДЕ ТОРГОВОГО ТЕРМИНАЛА QUIK

Волгоградский государственный технический университет

htr753@list.ru

Статья посвящена вопросу построения архитектуры биржевого робота для автоматизации трейдинга. Предлагается структура инвариантного относительно используемой механической торговой системы комплекса программных средств, взаимодействующих с сервером компании-брокера через широко используемый для торговли на российском рынке ценных бумаг биржевой терминал Quik. Показана возможность изменения структуры робота в зависимости от набора его функций.

Ключевые слова: архитектура программной системы, математическое моделирование, трейдинг, биржевой робот, торговый терминал.

A. V. Petrukhin

THE ARCHITECTURE OF ALGORITHMIC TRADING SYSTEM FOR THE TRADING TERMINAL QUIK

Volgograd State Technical University

The article focuses on the architecture of the algorithmic trading system. The software structure invariant with respect to use of mechanical trading system interacting with the broker server through the widely used in Russia stock exchange terminal Quik is provided. The possibility of changing the structure of the robot according to its function set is shown.

Keywords: software architecture, mathematical modeling, trading, algorithmic trading system, software for trading.

Современная торговля на бирже неразрывно связана с интернет-трейдингом. Большое количество трейдеров (в том числе и индивидуальные трейдеры) используют специальные программные системы – торговые терминалы для отслеживания биржевых котировок, просмотра графиков, размещения торговых приказов о покупке или продаже ценных бумаг и т. д. Одним из самых распространенных систем для работы

на российском фондовом рынке является торговый терминал QUIK [1, 2], основная функция которого – обеспечение возможности доступа в режиме реального времени к торгам на биржевых и внебиржевых площадках.

Наряду с торговлей в ручном режиме все большее распространение получают системы автоматизации трейдинга, основанные на использовании так называемых механических

торговых систем, представляющих собой торговые системы с формализованными наборами правил принятия решений о проведении сделок с ценными бумагами, что позволяет автоматизировать данный вид деятельности.

Степень автоматизации трейдинга определяется набором функций, выполняемых трейдером, которые передаются в ведение компьютера. Традиционно выделяют системы для трейдинга с частичной автоматизацией, полуавтоматы и автоматы.

К системам с частичной автоматизацией можно отнести системы, в которых торговые сигналы генерируются, как правило, внешними программами технического анализа с помощью программных модулей, написанных на встроенных языках данных программ. В процессе генерации сигналов используются различные алгоритмы математического моделирования, построенные на основе анализа данных о динамике изменения цен. Далее такие сигналы либо используются трейдером в ручном режиме, либо автоматически передаются в торговый терминал в виде соответствующих заявок. Однако обратная связь в виде получения информации о процессе выполнения заявки в подобных системах не предусматривается. Отслеживание этого процесса производится самим трейдером. Можно добавить, что и команду на подтверждение выставления заявки на биржу в подобных системах (как и в полуавтоматах, рассмотренных ниже) дает трейдер.

Полуавтоматы могут не только генерировать торговые сигналы и формировать заявки, но и отслеживать их выполнение и на основе этого реализовывать те или иные действия – выставлять другие заявки при необходимости, управлять размещением стоп-лоссов и тейк-профитов и т. д. Однако окончательное принятие решения о входе в позицию и выходе из нее остается за трейдером, как и в системах с частичной автоматизацией.

Автоматы или, как принято их еще называть, биржевые роботы, могут реализовывать весь комплекс операций по проведению сделки – от выставления заявки на покупку ценных бумаг (сделка типа лонг) или на их продажу (сделка типа шорт) до закрытия сделки путем, соответственно, продажи ценных бумаг (в случае закрытия сделки типа лонг) или их покупки (в случае закрытия сделки типа шорт). Такие системы способны также выставлять защитные стоп-лосс приказы для фиксации убытков и,

при необходимости, приказы для фиксации прибыли – тейк-профиты. Все эти операции могут быть выполнены биржевым роботом без участия человека.

Следует отметить, что в биржевых роботах наряду с автоматическим режимом работы, как правило, реализуют и полуавтоматический режим работы, рассмотренный выше, а также режим тестирования механических торговых систем на исторических данных, описывающих динамику изменения цен на биржевые инструменты (ценные бумаги) за определенный временной период.

Подобный классификационный подход достаточно часто используется при реализации различных программ для автоматизации торговли на фондовом и других рынках [2], что позволяет позиционировать системы автоматизации трейдинга среди множества им подобных.

Представляется резонным расширить данную классификацию за счет добавления еще и группы вспомогательных средств автоматизации работы трейдера, в качестве которых можно привести, в частности, программные модули для автоматического формирования вспомогательных таблиц, не предусмотренных в составе штатного инструментария используемого торгового терминала, но удобных для пользователя в процессе его работы на рынке ценных бумаг в ручном режиме, а также специальные средства для автоматизации процесса проведения различных оперативных расчетов. В качестве примера такого расчета можно привести вычисление допустимого размера позиции по тем или иным ценным бумагам с учетом правил риск-менеджмента, определяющих допустимый процент снижения величины торгового капитала при потенциально возможном закрытии позиции путем срабатывания стоп-лосса с целью фиксации убытков при неблагоприятном для открытой сделки движении рынка. Использование вспомогательных средств автоматизации позволяет достичь значительно уменьшения затрат времени трейдера в процессе торговли на бирже (что особенно важно для скоростных видов внутрисдневной торговли), а также снижения ошибок при выполнении данных вычислительных операций.

При построении средств автоматизации биржевых процессов могут использоваться как различные подходы, входящие в арсенал информационных технологий в области инстру-

ментальных средств экономики [1, 2, 7], так и средства автоматизации формальных и неформальных процедур в науке и технике в целом, используемые в контексте междисциплинарной конвергенции [3–6].

Далее рассмотрим средства, которыми располагает торговый терминал QUIK для построения на его базе систем автоматизации трейдинга. Это встроенные в QUIK языки программирования, а также различные способы интеграции QUIK с внешними программами.

Для адекватного выбора программных средств для реализации систем автоматизации трейдинга любого уровня – от вспомогательных средств автоматизации работы трейдера до полнофункционального биржевого робота, способного торговать на бирже в автоматическом режиме, – прежде всего, следует определить возможности использования встроенных в QUIK языков программирования.

В системе QUIK в настоящее время есть два встроенных языка программирования QPILE и LUA.

Язык QPILE (QUIK Programmable Interface and Logic Environment) – это набор интерпретируемых команд, с помощью которого можно создавать новые таблицы в QUIK в режиме реального времени на основе информации из других таблиц.

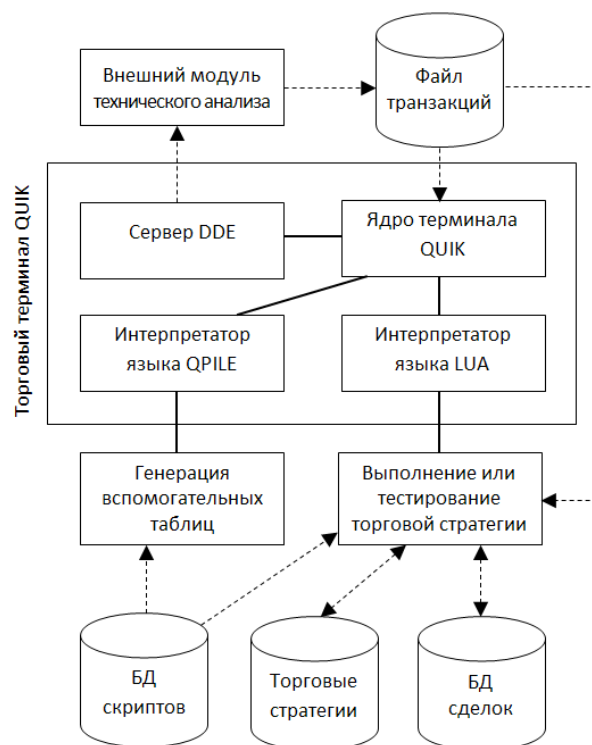
Интерпретатор языка Lua дает пользователю возможность скриптового взаимодействия с QUIK. Lua позволяет обращаться к внутренним данным QUIK и отправлять клиентские транзакции из скрипта Lua на сервер QUIK. В отличие от языка QPILE, язык LUA обеспечивает асинхронную обработку данных в скрипте по мере получения, а также предоставляет возможность непрерывно опрашивать клиентский терминал для актуализации данных.

Далее определим потенциальные возможности интеграции торгового терминала QUIK с внешними программами. Можно выделить следующие способы интеграции, использование которых возможно в QUIK:

- обмен информацией с использованием сервера DDE, в частности, для передачи биржевых котировок и информации о сделках из QUIK во внешнюю программу;
- импорт транзакций через API (с помощью библиотеки trans2quik.dll) для передачи заявок на регистрацию и/или отмену заявок на сделки в QUIK из внешней программы;

• импорт транзакций посредством текстового файла для передачи заявок на регистрацию и/или отмену заявок на сделки в QUIK из внешней программы.

На основе анализа вышеизложенных подходов и средств была разработана архитектура программной системы – биржевого робота, – построенная на основе торгового терминала QUIK и приведенная на рисунке.



Архитектура биржевого робота на базе торгового терминала QUIK

Итак, в процессе работы была сформирована архитектура автоматизированной системы для торговли на фондовых и других рынках, позволяющей эффективно решать вопросы автоматизации трейдинга, увеличивая скорость проведения торговых операций (что особенно важно при скоростной работе на внутридневных временных интервалах) и снижая количество ошибок, обусловленных влиянием человеческого фактора.

На базе предложенной архитектуры также могут быть реализованы системы с редуцированной структурой для изменения функциональной насыщенности в сторону снижения степени автоматизации с соответствующим усилением роли пользователя как лица, принимающего решение.

В результате, при необходимости, может быть построен не только биржевой робот, способный работать в автоматическом режиме, но и системы для трейдинга с частичной автоматизацией, полуавтоматические системы и вспомогательные средства автоматизации работы трейдера, описанные выше, что позволит автоматизировать процесс биржевой торговли именно в той степени и таким образом, чтобы это было адекватно решаемым трейдером задачам, правилам системы торговли, которые он использует и тому стилю работы на бирже, который ему ближе и удобнее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рычков, В. В. Теория и практика работы на российском рынке акций. – М.: Олимп-Бизнес, 2007. – 320 с.
2. Зверьков, В. Как зарабатывать на рынке российских акций / В. Зверьков, Е. Перельман. – Ростов н / Д : Феникс ; СПб.: Северо-Запад, 2006. – 392 с.
3. Петрухин, А. В. Использование физических знаний при решении задач концептуального проектирования тех-

нических объектов / А. В. Петрухин, С. А. Фоменков, В. А. Камаев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1997. № 1–3. – С. 29–33.

4. Петрухин, А. В. Архитектура автоматизированной системы концептуального проектирования технических объектов и технологий с использованием структурированного описания физической информации (СОФИ) для сетевых приложений / А. В. Петрухин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1998. № 4–6. С. 52–56.

5. Компьютерная поддержка автоматизированного подбора комплектующих деталей при сборке многоопорного подшипникового узла ДВС / А. В. Петрухин, Н. П. Москвичева, В. А. Санинский, Н. А. Сторчак, М. В. Кочкин // Автомобильная промышленность. 2011. № 3. С. 30–33.

6. Петрухин, А. В. Принятие технологических решений в литейном производстве с использованием интегрированной экспертной системы / А. В. Петрухин, В. К. Агеев, Ю. Ф. Воронин // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 1 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – № 5. – С. 64–65.

7. Van Vliet B., Hendry R. Modeling Financial Markets – New-York: McGraw-Hill – 2004. – 304p., ISBN:063-9785386025.

УДК 004.9

О. А. Шабалина¹, А. Г. Давтян², Д. А. Еркин¹

МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВА ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХ КУРСОВ*

¹Волгоградский государственный технический университет

²Московский физико-технический институт

o.a.shabalina@gmail.com, agvs@mail.ru, hate.cska@gmail.com

Необходимым условием реализации компетентностной парадигмы, определяющей в настоящее время тенденции развития образовательной системы в России, является обеспечение гибкости и модифицируемости образовательных ресурсов. В статье описан способ представления обучающих курсов как пространств знаний, обладающих свойствами системно организованной структуры. В качестве модели пространства знаний предложена алгебраическая структура (решетка). Свойство структурной упорядоченности решетки обеспечивает возможность расширения и фрагментирования пространств знаний и дополнения содержания обучающих курсов для обеспечения их контентной полноты. Описана разработка системы проектирования обучающих курсов, в которой реализована предложенная модель, и пример работы в системе.

Ключевые слова: проектирование обучающего курса, модель пространства знаний, решетка, расширяемость обучающего курса, фрагментируемость обучающего курса, дополняемость обучающего курса.

O. A. Shabalina¹, A. G. Davtian², D. A. Yerkin¹

LATTICE-BASED KNOWLEDGE SPACE MODEL AND ITS IMPLEMENTATION IN A LEARNING COURSES DESIGN SYSTEM

¹Volgograd State Technical University

²Moscow Institute of Physics and Technology

Implementation of competency-based educational paradigm requires flexibility and modifiability of educational resources. The article presents an approach to consider learning courses as knowledge spaces having the properties of systematically organized structures. A knowledge space model is described as an algebraic structure (lattice). Lattice structural ordering enables knowledge space extending and fragmenting, and adding new fragments to ensure its content completeness. A learning course design system based on suggested model is described and an example of using the system is shown.

Keywords: learning course design, knowledge space model, lattice, learning course extendability, learning course fragmentability, learning course complementability.

* «Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части (проект 2586 задания № 2014/16)».

Введение

В новых федеральных образовательных стандартах требования к результатам освоения образовательных программ сформулированы в терминах компетенций, характеризующих подготовленность специалистов к выполнению профессиональной деятельности [1]. Необходимым условием реализации компетентностной образовательной парадигмы является обеспечение гибкости и модифицируемости образовательных программ, что позволяет адаптировать их содержание к изменяющимся требованиям современного рынка труда и формировать индивидуальные стратегии обучения для разных категорий обучаемых.

Принято считать, что использование модульного подхода к разработке обучающих курсов обеспечивает возможность их модификации. При этом под модулем принято понимать логически самодостаточный фрагмент знаний, необходимый для целостного освоения образовательной программы.

Для разработки модульных обучающих курсов используются приемы как восходящего, так и нисходящего проектирования. При восходящем проектировании разрабатываются сначала отдельные модули, которые затем объединяются в обучающий курс, реализующий образовательную программу. Нисходящее проектирование подразумевает разделение обучающего курса на отдельные модули, составляющие содержание курса.

Но оба таких способа разработки обучающих курсов накладывают серьезные ограничения на возможность их модификации, так как могут не обеспечивать сохранение структурной целостности и контентной полноты курса при его дополнении или сокращении.

Проектирование обучающих курсов, обладающих свойством модифицируемости, требует разработки новых способов их представления. В работе предлагается модель представления обучающего курса, обладающая свойством структурной упорядоченности, что позволяет проектировать обучающие курсы и модифицировать их без потери структурной и контентной целостности.

1. Анализ подходов к моделированию обучающих курсов

Под обучающим курсом в общем случае принято понимать некоторую область знаний, освоение которой необходимо для осуществления профессиональной деятельности. Проекти-

рование обучающего курса начинается с определения его структуры, т. е. выделения фрагментов знаний, составляющих содержание этого курса, и задания связей между фрагментами, отражающих логику освоения курса. Каждому элементу структуры сопоставляется контент, в качестве которого могут выступать учебные дисциплины, разделы дисциплин, блоки теоретического материала (лекции, и/или их фрагменты), практические задания, тесты различного вида, упражнения и т. д.

Для описания структуры обучающего курса используются различные виды графов, узлам которых соответствуют фрагменты знаний, а дугами обозначаются связи между фрагментами. В качестве связей могут задаваться отношения логической связности фрагментов, возможные переходы между фрагментами для построения траекторий обучения, связи между различными характеристиками процесса обучения и т. д. [2, 3, 4, 5, 6]. Структура обучающих курсов, представляемых таким образом, задается жестко и используется для организации процесса обучения в автоматизированных обучающих системах. Возможности и способы модификации обучающих курсов, представляемых графом, не предусматриваются и не рассматриваются.

2. Математическая модель пространства знаний

Обучающий курс рассматривается как совокупность взаимосвязанных фрагментов знаний, обладающая системными свойствами и образующая пространство знаний. Целостность пространства знаний означает принципиальную несводимость знания в целом к сумме фрагментов знаний. Делимость пространства знаний означает наличие в нем подпространств, обладающих свойствами пространства. Обучающий курс представляет собой пространство знаний тогда и только тогда, когда структура обучающего курса отражает системные свойства пространства знаний, определяемого этим курсом.

Структуру обучающего курса можно представить конечным множеством с заданным на нем бинарным отношением:

$$LC = \langle C, \leq \rangle, \quad (1)$$

где LC – обучающий курс; $C = \{a, b, c, \dots\}$ – множество элементов, сопоставленных фрагментам знаний курса; $\leq$ – бинарные отношения между элементами, отражающие логическую связность курса (рис. 1).

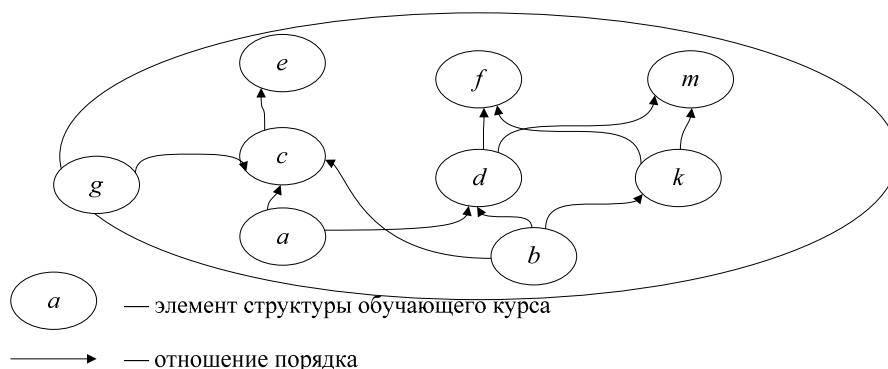


Рис. 1. Фрагмент структуры обучающего курса

Структуру обучающего курса разрабатывает проектировщик курса и, в общем случае, такая структура может не отражать свойства обучающего курса как системно организованной структуры. Для отражения системных свойств обучающего курса множество C с введенным отношением порядка (1) вкладывается в наименьшую решетку $KS \supset LC$ [7]. В решетке KS как частично упорядоченном множестве для каждой пары элементов a, b существует точная верхняя $\sup(a, b) = a \oplus b$ и точная нижняя $\inf(a, b) = a * b$ грани. Структурная упорядоченность решетки отображает системные свойства целостности и делимости пространства знаний обучающего курса. Пространство знаний фрагмента обучающего курса, показанного на рис. 1, приведено на рис. 2.

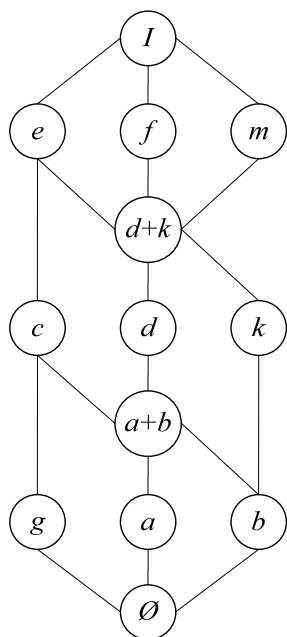


Рис. 2. Пространство знаний, сопоставленное фрагменту обучающего курса

Расширяемость модели пространства знаний

Связность и полнота модели пространства знаний позволяют разрабатывать обучающие курсы, обладающие свойством расширяемости. Расширяемость обучающего курса реализуется как поэтапная декомпозиция пространства знаний курса. Процедура декомпозиции состоит в замещении элементов пространства знаний подпространствами, определяющими эти элементы, и, в результате, расширении пространства знаний такого, что при этом не нарушаются связи между элементами этого пространства.

Алгоритм расширения пространства знаний включает в себя следующие шаги:

1) определение состава фрагментов обучающего курса:

$$C = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}, \quad (3)$$

где M_i – фрагмент обучающего курса; n – количество фрагментов;

2) задание отношений между фрагментами M_i , отражающими логику их освоения (рис. 3);

3) построение пространства знаний $KS^M \supset LC$, отвечающего структуре фрагмента;

4) разработка структуры каждого фрагмента M_i как самостоятельной области знаний:

$$M_i = \{a, b, c, \dots\}, \quad (4)$$

где $a, b, c, \dots$ – элементы фрагмента M_i ;

5) построение пространств знаний KS_i , отвечающих структуре соответствующих фрагментов M_i (рис. 4);

6) вложение пространств KS_i в пространство KS^M (рис. 5).

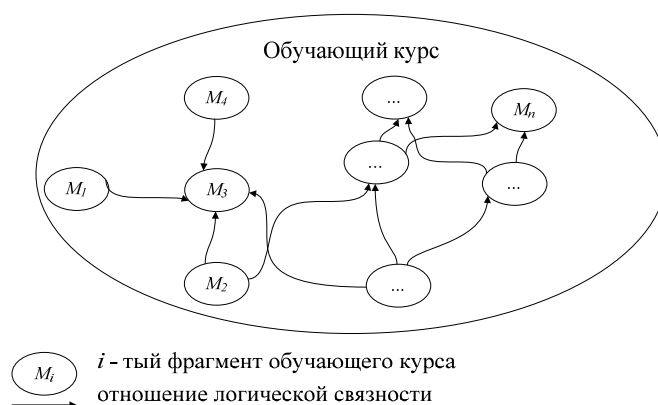


Рис. 3. Исходная структура обучающего курса

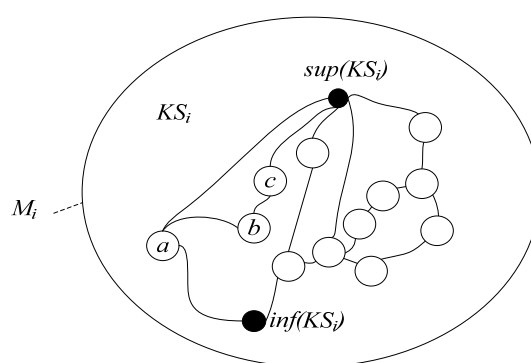
 KS_i - пространство знаний фрагмента M_i обучающего курса

Рис. 4. Пространство знаний фрагмента обучающего курса

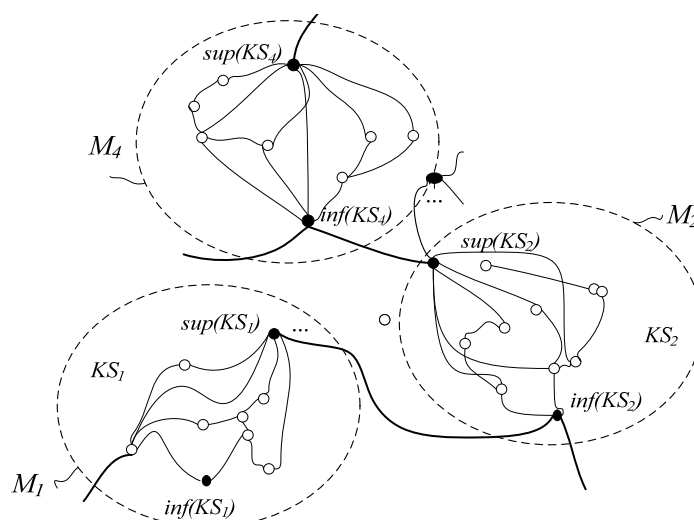
 KS_i - пространство знаний модуля M_i обучающего курса

Рис. 5. Пространство знаний обучающего курса (фрагмент)

Пространство KS по построению сохраняет свойства структуры декомпозируемого пространства KS^M . При необходимости пространство KS может быть декомпозировано, т. е. в каждый фрагмент пространства KS может быть вложено подпространство, сопоставленное этому фрагменту.

Фрагментируемость модели пространства знаний

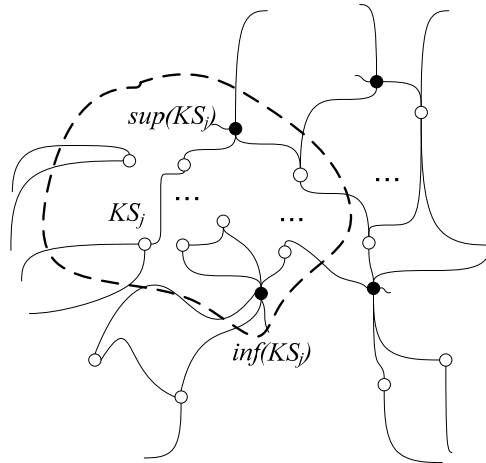
Свойство делимости, присущее модели пространства знаний, позволяет выделять в структуре обучающего курса отдельные фрагменты, обладающие свойствами пространств знаний,

и использовать их в качестве самостоятельных обучающих курсов.

Для выделения фрагмента знаний в структуре курса необходимо определить множество базовых элементов пространства знаний, определяющих этот фрагмент, и найти наименьшую решетку KS_i , содержащую элементы a , такие,

что $\forall a : \inf(KS_i) \leq a \leq \sup(KS_i) \rightarrow a \in KS$.

Фрагмент знаний, определяемый пространством знаний KS_i , по построению обладает структурной упорядоченностью и может рассматриваться как самостоятельный обучающий курс (рис. 6).



KS_j – Фрагмент знаний, обладающий свойствами пространства

Рис. 6. Фрагментирование обучающего курса

Свойства расширяемости и фрагментируемости модели, представимой решеткой, обеспечивают сохранение целостности и полноты обучающего курса при его дополнении или сокращении и, таким образом, определяют его гибкость и модифицируемость.

Представление обучающего курса как структурно упорядоченного пространства знаний может быть использовано для организации процесса обучения, обеспечивающего освоение этого пространства в его логической связности и полноте, что позволяет реализовать компетентностную образовательную парадигму [8, 9]. Разработанная модель пространства знаний также может быть использована для разработки ролевых обучающих игр с нелинейным сюжетом, обеспечивающих гарантированное достижение цели обучения при достижении игровой цели [10, 11, 12].

Контентная полнота пространства знаний

Пространство знаний, построенное на структуре обучающего курса, включает два типа элементов: элементы, которым сопоставлен контент обучающего курса, заданный разработчиком, и элементы, добавленные в результате достраивания структуры курса до решетки:

$$S = \{C, V\}, \quad (5)$$

где S – множество элементов решетки KS ; $C = \{a, b, c, \dots\}$ – множество элементов структуры обучающего курса LC , заданного разработчиком; V – множество элементов пространства знаний V , не являющихся элементами обучающего курса LC , и, которым, соответственно, не сопоставлен контент.

С точки зрения обучающего курса каждый элемент множества V представляет собой ассоциативное объединение логически не связанных фрагментов знаний, освоение которых приводит к появлению нового знания, необходимого для последующего освоения пространства. Сопоставление элементам множества V контента обеспечивает соответствие структуры и содержания пространства знаний и обеспечивает, таким образом, полноту пространства знаний обучающего курса.

Для оценки полноты обучающего курса, разработанного проектировщиком, введено понятие степени полноты контента (контентная полнота) как отношения количества элементов структуры обучающего курса LC к количеству элементов пространства знаний KS , определяемым этим курсом:

$$W = \frac{|LC|}{|KS|}, \quad (6)$$

где W – степень полноты обучающего модуля;
 $|LC|$ – мощность множества элементов LC ;
 $|KS|$ – мощность множества элементов KS .

В соответствии с введенным определением обучающий курс является контентно-полным, если $W=1$, т. е. каждому элементу пространства знаний курса KS сопоставлен фрагмент знаний.

Для обеспечения контентной полноты обучающего курса разработчик может дополнять обучающий курс новыми фрагментами знаний (контентом), сопоставленными элементам пространства знаний, добавленным в результате достраивания структуры курса до решетки.

3. Применение модели в системе проектирования обучающих курсов

Разработанная модель реализована в системе проектирования обучающих курсов. Система обладает следующим функционалом:

- ввод структуры обучающего курса в табличном виде;
- построение пространства знаний обучающего курса по введенной структуре;
- визуализация пространства знаний;
- расширение, фрагментирование и дополнение пространства знаний;
- задание контента обучающего курса.

Графический пользовательский интерфейс системы состоит из двух окон. В первом окне отображается список элементов пространства знаний проектируемого обучающего курса, во втором – визуальное представление данного пространства.

Для визуализации пространства знаний используется модифицированный алгоритм поуровневой компоновки графов, который позволяет минимизировать количество пересечений и сгибов ребер решетки [13].

Система реализована на языке программирования Visual C# с использованием технологии Windows Presentation Foundation (WPF).

4. Пример разработки обучающего курса в системе

В качестве примера рассмотрен процесс разработки модульного обучающего курса «Разработка ПО с использованием технологии WPF». Процесс разработки включает следующие этапы:

- 1) разработчик определяет состав модулей, составляющих содержание курса, и логические связи между модулями;
- 2) разработчик создает новый проект в системе, вводит название обучающего курса и заполняет таблицу «Структура курса», т. е. для каждого модуля задает его название и список идентификаторов модулей, являющихся основаниями для его изучения (рис. 7);

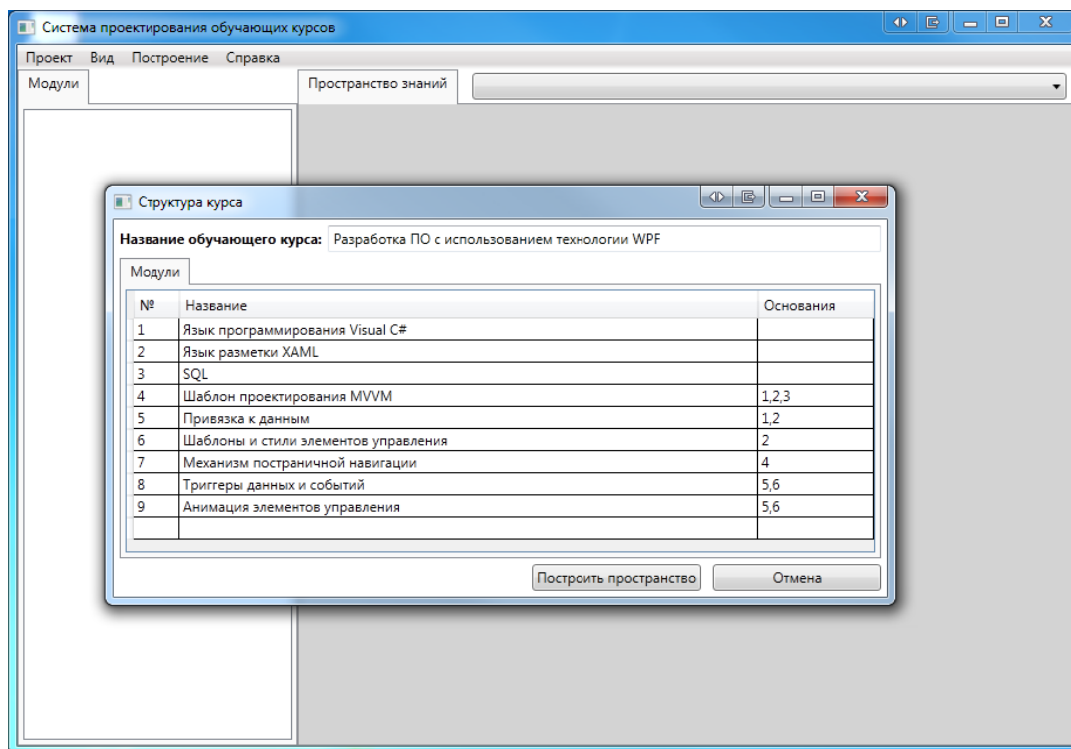


Рис. 7. Экранная форма «Ввод структуры курса»

3) после выбора разработчиком опции «Построение пространства» при отсутствии ошибок задания логики структуры (таких как нали-

чие петель и циклов) происходит построение пространства знаний, отвечающее этой структуре (рис. 8);

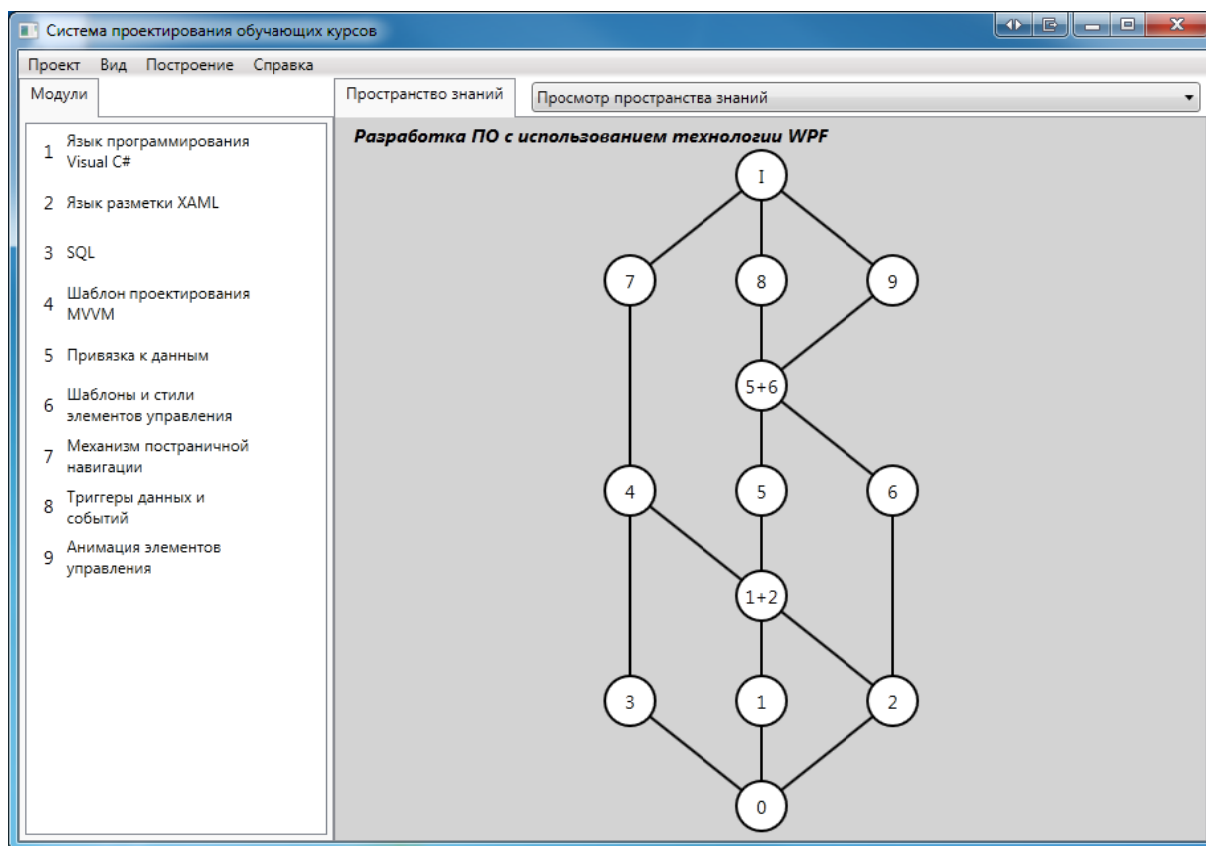


Рис. 8. Экранная форма «Пространство знаний курса»

4) для всех модулей, подлежащих расширению, разработчик определяет состав фрагментов знаний, составляющих содержание модуля, логические связи между модулями и заполняет таблицу описания структуры модуля. Для каждого модуля в системе строятся пространства знаний, отвечающие этим модулям. Пространство знаний каждого модуля вкладывается в пространство знаний обучающего курса (рис. 9).

5) каждому фрагменту знаний разработчик сопоставляет контент в виде списка ресурсов (файлы, ссылки на интернет-ресурсы и т. д.). Пример задания контента для фрагмента «Представление данных» пространства знаний модуля «Шаблон проектирования MVVM» показан на рис. 10.

6) если в пространстве знаний, построенном на основе структуры обучающего курса, появились новые элементы, не обеспеченные контентом, разработчик может дополнять обучающий

курс, задавая контент для этих элементов. Для этого он выбирает в окне графического представления пространства знаний элемент, которому он хочет сопоставить контент. В список фрагментов в окне «Модули» при этом добавляется строка, определяемая идентификатором выбранного фрагмента. Разработчик добавляет название этого фрагмента и составляющий его контент в окно свойств (рис. 11).

При необходимости разработки сокращенной версии обучающего курса «Разработка ПО с использованием технологии WPF» разработчик выбирает режим «Фрагментирование пространства знаний», задает название нового курса и выделяет в исходном курсе базовые элементы, которые он предполагает включить в сокращенную версию курса. По заданному разработчиком набору элементов в системе строится пространство знаний сокращенной версии курса (рис. 12).

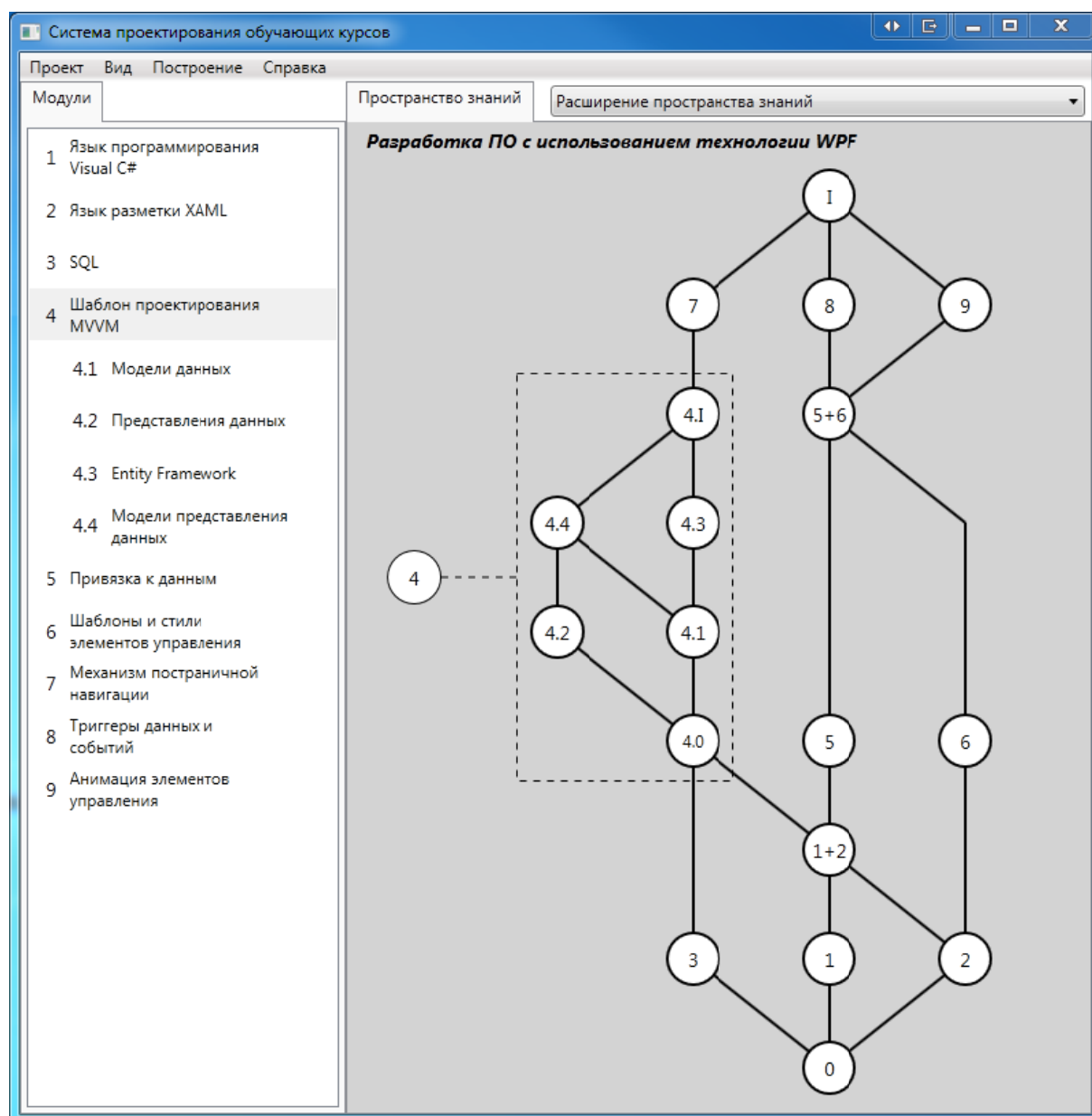


Рис. 9. Пространство знаний обучающего курса с вложенным подпространством модуля «Шаблон проектирования MVVM»

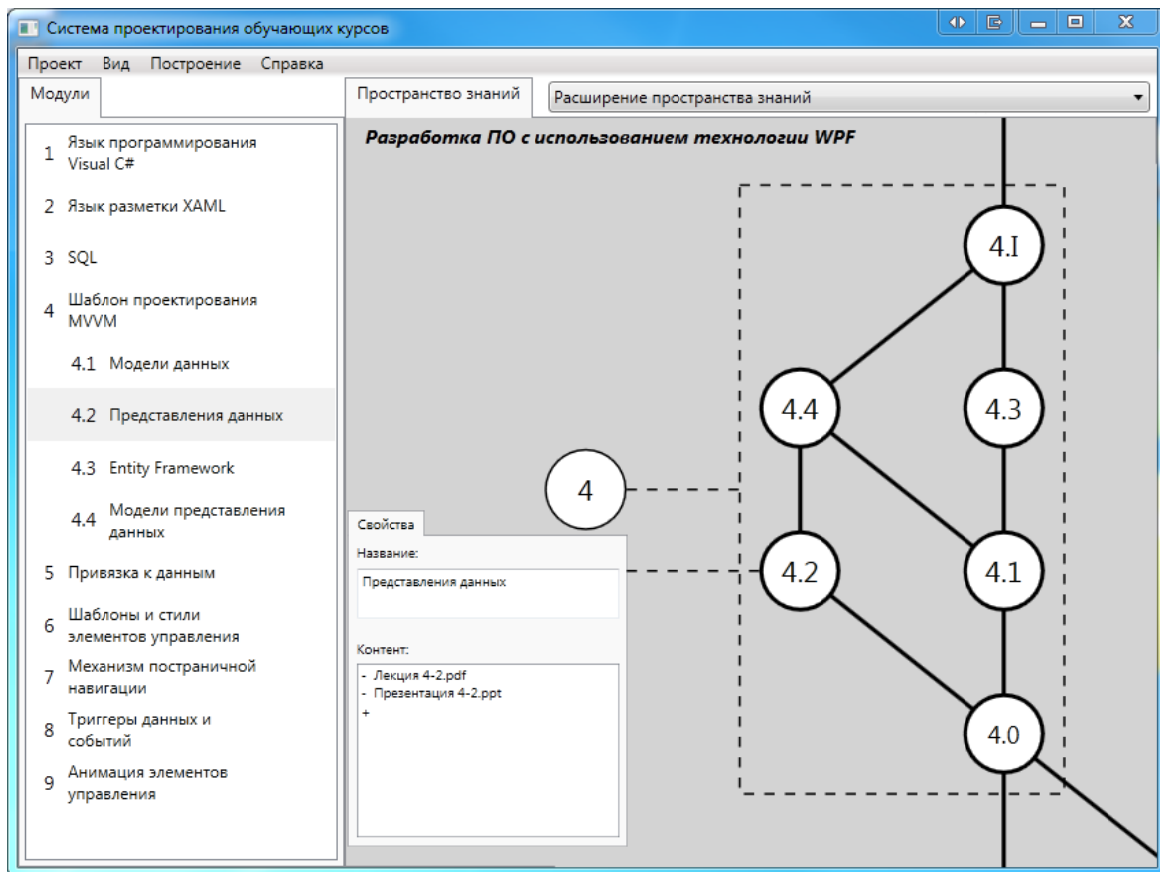


Рис. 10. Модуль обучающего курса с открытым окном свойств фрагмента «Представление данных»

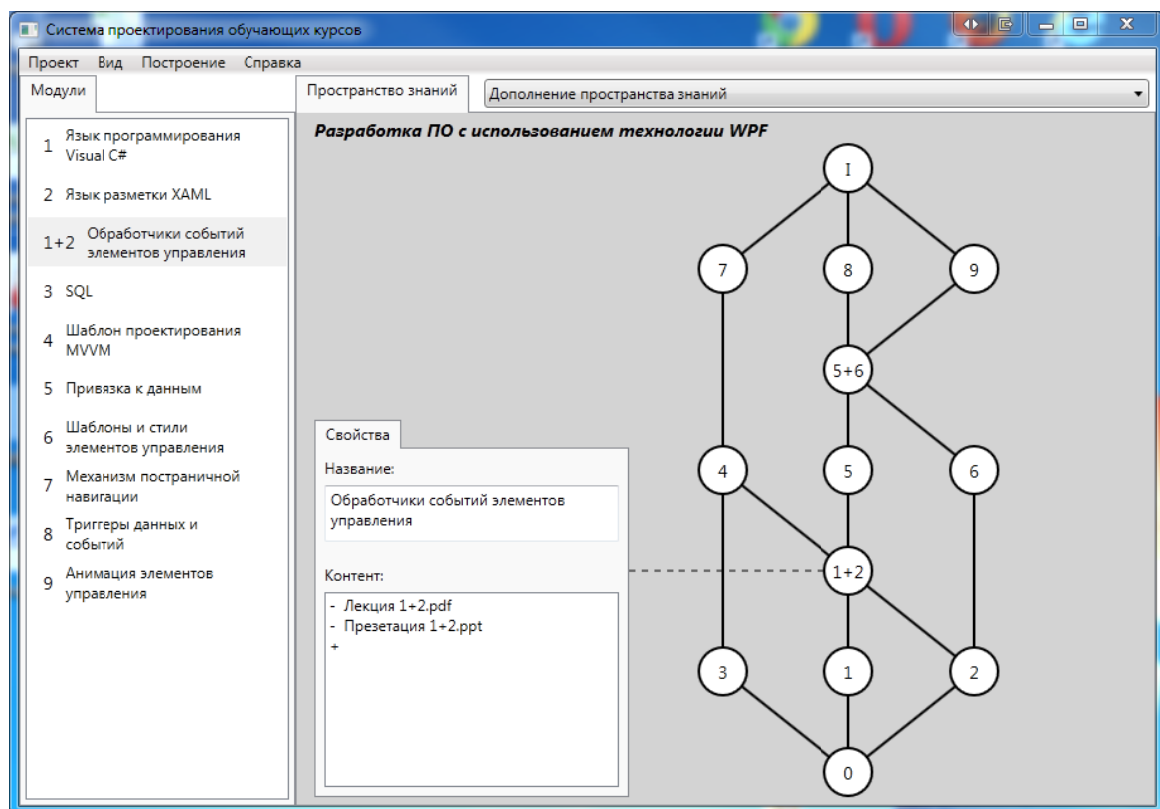


Рис. 11. Дополнение обучающего курса

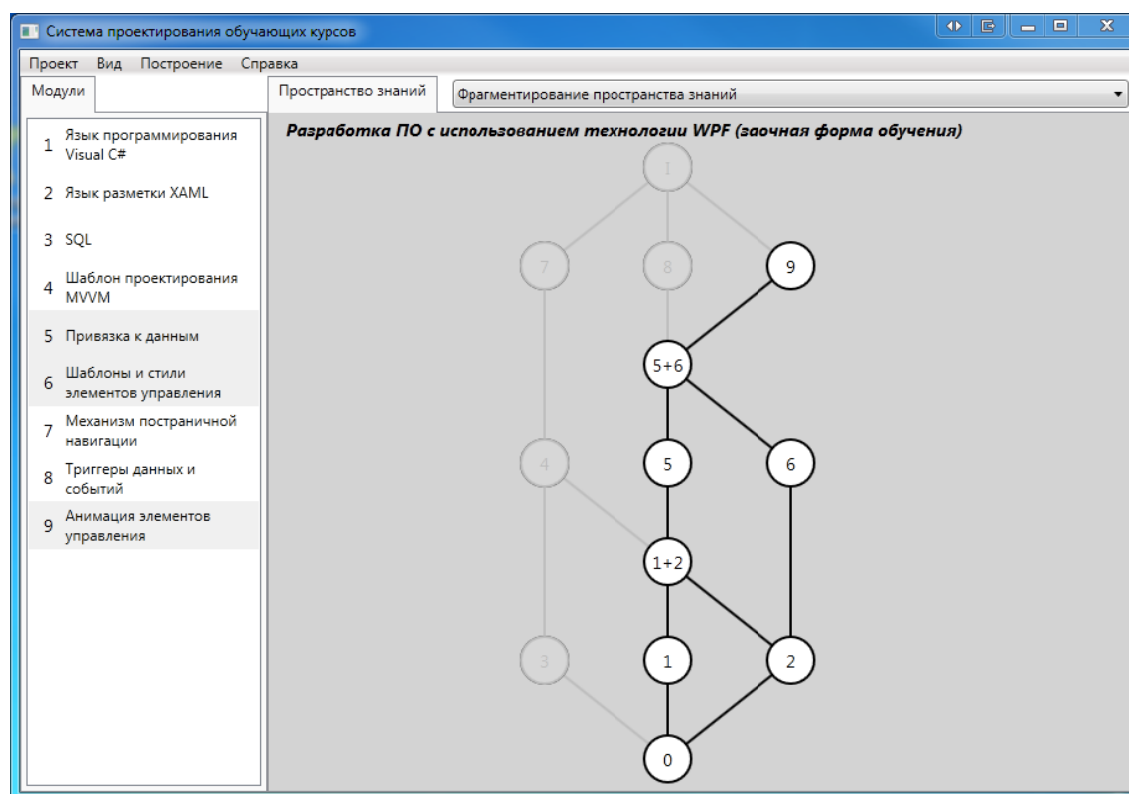


Рис. 12. Режим «Фрагментирование пространства знаний»

Выводы

Предложенный в работе способ описания обучающих курсов позволяет проектировать образовательные ресурсы, сохраняющие структурную целостность и контентную полноту при их модификации. Система проектирования обучающих курсов на основе модели может быть использована разработчиками обучающих ресурсов различного уровня – от учебных программ до обучающих курсов и отдельных модулей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об образовании в Российской Федерации. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ (Контрольный текст на 21 июля 2014 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://xn--273--84d1f.xn--p1ai/zakonodatelstvo/federalnyy-zakon-ot-29-dekabrya-2012-g-no-273-fz-ob-obrazovanii-v-rf#st13_3
2. Герасимова, И. Б. Системный подход к анализу и управлению качеством обучения на основе триад знаний / И. Б. Герасимова, Л. Р. Уразбахтина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 9. – С. 51–55.
3. Гиря, И. А. Понятийный граф как основа ведения модели знаний / И. А. Гиря // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 05. – С. 11.
4. Дорофеев, А. С. Модели обучающего курса в разработке систем дистанционного обучения / А. С. Дорофеев, С. С. Сосинская // Прикладная информатика. – 2007. – № 3. – С. 25–37.
5. Кривцов, В. Е. Модель и алгоритмы построения учебных курсов / В. Е. Кривцов, Е. А. Ларшин // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2005. – Т. 14. – С. 156–162.
6. Соловов, А. В. Дискретные математические модели в исследовании процессов автоматизированного обучения / А. В. Соловов, А. А. Меньшикова // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2011. – № 12. – С. 64–79.
7. Шабалина, О. А. Моделирование пространства знаний на основе математической структуры / О. А. Шабалина // Сборник научных трудов Sworld. – 2012. – № 4. – С. 87–90.
8. Шабалина, О. А. Компетентностно-ориентированная модель процесса обучения / О. А. Шабалина // Информация и связь. – 2013. – № 2. – С. 171–174.
9. Шабалина, О. А. Компетентностный подход к подготовке разработчиков программного обеспечения / О. А. Шабалина, С. Чикерур // Известия ВолГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 15 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолГТУ. – Волгоград, 2012. – № 15 (102). – С. 102–110.
10. Шабалина, О. А. Модель процесса обучения и ее интерпретация в обучающей компьютерной игре / О. А. Шабалина // Вестник СГТУ. – 2013. – № 2(70). Выпуск 1. С. 158–167.
11. Шабалина, О. А. Разработка обучающих компьютерных игр: как сохранить баланс между обучающей и игровой компонентой? / О. А. Шабалина // Образовательные технологии и общество. – 2013. – № 16(3). – С. 586–602.
12. Шабалина, О. А. Разработка обучающих игр: интеграция игровой и обучающей компоненты / О. А. Шабалина, П. Н. Воробкалов, А. В. Катаев // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 290–294.
13. Еркин, Д. А. Применение алгоритмов компоновки графов для визуализации модели пространства знаний / Д. А. Еркин // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов Международной научной конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». Ч. I / под ред. О. Г. Берестневой, О. М. Гергет ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – С. 75–80.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 685.01:658.512.011

Ю. В. Кандырин, М. Е. Кононов, А. И. Половинкин

ВЫБОР ВАРИАНТОВ АНАЛОГОВ ПО УСЛОВНЫМ НЕМЕТРИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ В АССОЦИАТИВНЫХ СТРУКТУРАХ

Национальный исследовательский университет «МЭИ» г. Москва

ywk@mail.ru

В статье предложен метод и алгоритм формализованного автоматизированного выбора аналогов по прототипам с помощью неметрического критерия для упорядоченных показателей качества посредством использования фактор-множеств. Операции преобразования реализованы с использованием L-правил на усеченном однородном подмножестве путем анализа π -слоя, содержащего прототип, и вариантов, связанных с прототипом единичными дугами.

Ключевые слова: аналоги, прототипы, многокритериальный выбор аналогов, граф частичного порядка, ассоциативные матрицы, фактор-множество, Парето-расслоение, L-правила.

Y. V. Kandyrin, M. E. Kononov, A. I. Polovinkin

CHOICE of VARIANTS of CLONES ON CONVENTIONAL TO NOT METRIC CRITERIA in ASSOCIATIVE MATRIXES

National Research University «Moscow Power Engineering Institute»

The article is we propose a method and an algorithm for automated selection of formalized finish unparalleled in prototypes using non-metric criterion for ordered indicators of quality through the use of factor sets. Transform operation implemented using L- regulations policy truncated subset by analysis π -layer containing the prototype and the embodiments related prototype single arcs.

Keywords: analogues, prototypes, multi-criteria choice of analogues, digraph of partial order, the associative matrix, factor set, bundle of Pareto, L-regulations.

Цель работы – разработка математических и инженерных методов создания инструментальной системы для автоматизированного многокритериального формализованного выбора аналога по заданному прототипу на заключительных этапах, когда подмножество аналогов уже выделено [1], [2], [3], но его мощность $|\Omega_a| > 1$. Главные требования к разработке – ее инвариантность по отношению к объектам выбора аналогов, а также отсутствие в методике метрических и интегральных критериев сравнения, что делает процедуру выбора более свободной от субъективизма.

Актуальность проблемы проявляется особо остро, когда возникает потребность рационального выбора аналога, способного выполнять те же функции что и прототип, с тем же или, возможно, лучшим качеством. Подобные задачи возникают при импортозамещении, ремонте, инновационном проектировании, поиске взаи-

мозаменяемых материалов конструкций, выборе компонентов при конструировании в машиностроении и радиоэлектронике, подборе лекарственных препаратов в фармакологии (т. е. тогда, когда требуется обеспечить близость вариантов к заданному базовому варианту – прототипу).

Напомним, что формализованная постановка задачи выбора аналогов по прототипу [1] может быть представлена тройкой $\langle C, \Omega, \omega_n(\{\alpha_n\}) \rangle$, где C – принцип оптимальности; Ω – исходное однородное множество вариантов, $\omega_n(\{\alpha_n\})$ – прототип, задаваемый значениями его характеристик $\{\alpha_n\}$. При этом из всех допустимых вариантов $\Omega_d \subseteq \Omega$ оптимальным (наилучшим) аналогом ω_a считается тот вариант ω_a опт, который обладает наименьшими (в заранее установленном смысле) отличиями совокупности показателей качества аналога $\{ПК_i\}_a$ от совокупности $\{ПК_i\}_{пр}$ прототипа, при одновременном выполнении требований по допустимости.

Последовательность решения задачи выбора аналогов может быть сведена к совокупности этапов, представляющих собой последовательную процедуру усечения исходного множества вариантов Ω :

На первом этапе реализуется первичный выбор вариантов-претендентов, способных выполнять функции аналогов для заданного прототипа, по безусловным неметрическим критериям предпочтения (Парето, Слейтеру). На этой стадии выделяются варианты, имеющие общие нетранзитивные дуги с прототипом в графе частичного порядка на Ω , а также варианты, которые являются несравнимыми с про-

тотипом и находящиеся с ним в одном π -слое при расслоении по Парето или по Слейтеру – Ω_a . Пример такого подмножества аналогов представлен на рис. 1 в координатах двух ортогональных ПК: $\{k_1, k_2\}$. Как видно из рисунка, подозрительными на аналоги являются пять вариантов $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6\}$, т. е. выполняется условие: $|\Omega_a| > 1$. Представленное подмножество показывает, что на первом этапе, как правило, не удастся свести формализованный поиск аналогов к единственной альтернативе (кроме исключительных случаев) и требуется дальнейшее усечение выделенных вариантов.

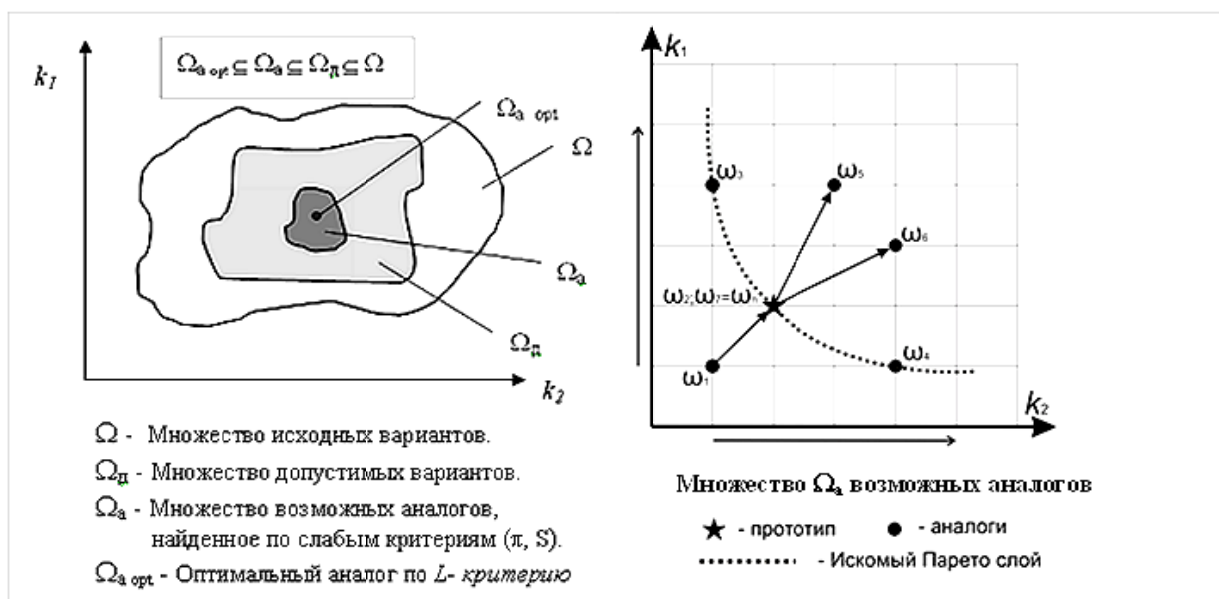


Рис. 1. Возможные претенденты на выполнение функций аналогов для прототипа $\omega_7 = \omega_\pi$ ★

На втором этапе реализуется формализованная процедура дальнейшего усечения выделенных вариантов-аналогов Ω_a , в основе которой лежит методика использования условий предпочтения, накладываемых лицом, принимающим решения (ЛПР) по приоритетам показателей качества $\langle PK_l \rangle$ (т. е. фактически происходит скаляризация векторной задачи сравнения вариантов-аналогов в последовательности, задаваемой ЛПР по каждому из принимаемых во внимание ПК, $l = \langle 1, M \rangle$ – L -критерий). Применение L -критерия актуально для средней и полной информированности ЛПР.

Для автоматизированного решения поставленной задачи необходимо задать модель данных и сформулировать основные правила формирования алгоритма усечения Ω . Как показано в [1], [2], описание данных для исходного мно-

жества вариантов и вариантов-аналогов целесообразно проводить в ассоциативных матрицах (АМ) фактор-множеств окрестностей альтернатив. В отличие от π -критерия, L -критерий является условным, следовательно, порядок всех последующих пересечений ассоциативных матриц для ПК_l будет влиять на результат.

Исходя из определения, приведенного в [1], каждый последующий применяемый ПК_{l+1} раскрывает неразличимость между альтернативами по предыдущим $\langle PK_l \rangle$, следовательно, поэлементное произвольное (независимое от порядка) пересечение по выражению в этом случае невозможно. Значит, свойство «перестановки», справедливое для π -правила [5], перестает быть справедливым для L -критериев. Отсюда возникает необходимость разработки нового L -правила формирования результирующей

ассоциативной матрицы (РАМ_L) в фактор-множествах, которое использовало бы алгоритм *L*-критерия при решении задачи формирования линейного порядка альтернатив-аналогов в ассоциативных матрицах.

Сформулируем определение *L*-правила пересечения окрестностей O_{li} для *L*-критерия.

Применение *L*-критерия актуально для средней и полной информированности ЛПР. В отличие от безусловных, в условных неметрических критериях каждый последующий показатель качества k_j , $j = \{1, N\}$ может раскрыть лишь неразличимость вариантов в квазилиней

ном порядке, сформированном при применении предыдущих ПК $\langle k_{j-1}, k_{j-2}, \dots, k_1 \rangle$.

Формально *L*-правило задает алгоритм получения РАМ через операции с фактор-множествами $\Phi^T(\Omega/k_1)$, $\Phi^T(\Omega/k_2)$ для отдельных ПК, но с учетом определенных условий, реализующих существо *L*-критерия. Рассмотрим *утверждение 1*.

Утверждение 1

Пусть имеется два фактор-множества $\Phi^T(\Omega/k_1)$, $\Phi^T(\Omega/k_2)$

Назовем окрестностью $O_i^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$ неразличимых вариантов $\{\omega_{i-1}, \omega_i\}$ по $\langle k_1, k_2 \rangle$ выражение

$$O_i^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) = [(O_i(\Omega/k_1) \cap O_{i+1}(\Omega/k_1)) \cup (O_i(\Omega/k_1) \cap O_i(\Omega/k_2))]. \quad (1)$$

А окрестностью *остальных вариантов* выражение

$$O_i^C(\Omega/\{k_1\}) = O_i(\Omega/k_1), i \notin \{l, l+1\}. \quad (2)$$

Результирующим фактор-множеством $\Phi^T(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$ двух исходных фактор-множеств по *L*-правилу называется объединение вида

$$O_i^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) \cup O_i^C(\Omega/k_1). \quad (3)$$

Каждому фактор-множеству можно поставить в соответствие ассоциативную матрицу, где по столбцам отложены окрестности вариантов, а по строкам сами варианты. Единицы «1» в ячейках АМ обозначают наличие альтернативы в окрестности ω_i , ноль «0» – ее отсутствие.

Проиллюстрируем представление заданного фактор-множества $\Phi^T(\Omega/k_1)$ для рис. 1 в виде реляционной и ассоциативной модели. Заметим, что в реляционной модели подмножества вариантов окрестности *i*-й альтернативы расположены по горизонтали, а в ассоциативной матрице – по вертикали. Это сделано исключительно для общности с материалами цитируемых источников и принципиального значения не имеет.

Тогда соответствующая АМ₁ для фактор-множества $\Phi^T(\Omega/k_1)$ A_1 может быть представлена в следующем виде:

$$\Phi^T(\Omega/k_1) = \begin{cases} O_1 = \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_2 = \omega_3, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_3 = \omega_5 \\ O_4 = \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_5 = \omega_3 \\ O_6 = \omega_3, \omega_5 \\ O_7 = \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6 \end{cases} \Rightarrow A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Такое представление фактор-множества в виде ассоциативной матрицы позволяет сформулировать *L*-правило для операций с АМ₁, АМ₂, ..., АМ_n, которые основаны на том, что каждый последующий ПК при их ранжировании по важности раскрывает неопределенности по альтернативам в квазилинейном порядке, полученные по предыдущему ПК.

Утверждение 2

Пусть имеется два фактор-множества $\Phi^T(\Omega/k_1)$, $\Phi^T(\Omega/k_2)$, каждому из которых соответствуют АМ A_1 и A_2 соответственно. Пере-

сечение матриц происходит по правилу, отражающему сравнение диагональных элементов.

$$a_{i,j}^{12} = \begin{cases} a_{i,j}^1, & \text{если } a_{i,j}^1 \neq a_{j,i}^1; \\ a_{i,j}^2, & \text{если } a_{i,j}^1 = a_{j,i}^1. \end{cases} \quad (4)$$

Если варианты $\{\omega_i, \omega_j\}$ различимы, другими словами, $a_{i,j} \neq a_{j,i}$, то в таком случае результирующим является элемент первой матрицы A_1 , соответствующей первому по важности ПК, иначе варианты неразличимы $a_{i,j} = a_{j,i}$ и результирующим в АМ A_{12} является элемент матрицы A_2 .

Продemonстрируем предлагаемое правило (4) на примере формирования результирующей матрицы A_{12} из двух матриц A_1 и A_2 для фактор-

множеств $\Phi^T(\Omega/k_1)$ и $\Phi^T(\Omega/k_2)$, которые представлены ниже.

$$\Phi^T(\Omega/k_1) = \begin{cases} O_1 = \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_2 = \omega_3, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_3 = \omega_5 \\ O_4 = \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6, \omega_7; \\ O_5 = \omega_3 \\ O_6 = \omega_3, \omega_5 \\ O_7 = \omega_2, \omega_3, \omega_5, \omega_6 \end{cases}; \quad \Phi^T(\Omega/k_2) = \begin{cases} O_1 = \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_2 = \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_3 = \omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7 \\ O_4 = \omega_6 \\ O_5 = \omega_4, \omega_6 \\ O_6 = \omega_4 \\ O_7 = \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_6 \end{cases}$$

Каждому из этих фактор-множеств соответствуют АМ: A_1 и A_2 , в которых жирным шрифтом отмечены несравнимые элементы:

$$\Phi^T(\Omega/k_1) \Rightarrow A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \mathbf{1} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \mathbf{1} \\ 1 & 1 & 0 & 1 & \mathbf{1} & 1 & 1 \\ \mathbf{1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & \mathbf{1} & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & \mathbf{1} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad \Phi^T(\Omega/k_2) \Rightarrow A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{1} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 \\ \mathbf{1} & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & \mathbf{1} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & \mathbf{1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Результирующая матрица A_{12} является результатом пересечения A_1 и A_2 по *L-правилу* с учетом (4)

$$\Phi^T(\Omega / \langle k_1, k_2 \rangle) \Rightarrow A_{12} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \mathbf{1} \\ 1 & 1 & 0 & 1 & \mathbf{0} & 1 & 1 \\ \mathbf{1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & \mathbf{1} & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & \mathbf{1} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Такой подход позволяет в автоматизированном режиме, используя ЭВМ реализовать алгоритм последовательного включения в процесс выбора $\langle \text{ПК} \rangle$, важность которых задается ЛПР в соответствии с их приоритетом для конкретной задачи выбора. Продemonстрируем *Утверждение 1* и *Утверждение 2* на примере выбора аналога импортного транзистора.

Пример 1. Пусть при ремонте в качестве прототипа принят транзистор IRF530, серийно используемый в оконечном каскаде звукового усилителя «Pioneer A-307R».

На финишном этапе выбора аналогов для этого транзистора после первичного усечения исходного множества Ω из базы данных близ-

ких отечественных транзисторов возможных замен было получено множество претендентов в аналоги для прототипа IRF530. Это подмножество Ω_a представлено реляционным отношением $\text{Re}(S, U_{\text{си}}, I_{\text{си max}}, P)$ (табл. 1). В реляционную таблицу также внесены параметры прототипа. Очевидно, полученное множество имеет меньшую мощность, чем исходное $|\Omega_a| < |\Omega|$.

Характеристики транзисторов, представленные в табл. 1, обозначены как

$S, [A/B]$ – крутизна транзистора;

$U_{\text{си}}, [B]$ – напряжение сток-исток;

$I_{\text{си max}}, [A]$ – максимальный ток стока,

$P, [Bт]$ – максимальная мощность, рассеиваемая транзистором.

Для сохранения рабочего режима схемы, а именно оконечного каскада усилителя, в схеме которого используется транзистор, наиболее приоритетным является ПК $k_2 = U_{\text{си}}, [B]$. Одновременно необходимо учесть и максимальный ток транзистора. В этой связи на второе место ставится ПК $k_3 = I_{\text{си max}}, [A]$. Вместе с тем, учитывая конструктивные особенности,

а именно тепловой режим устройства, третьим по важности выбран ПК $k_4 = P, [\text{Вт}]$. Последним по приоритету ПК является $k_1 = S, [\text{А/В}]$.

Таким образом, реализуется максимальное сохранение работоспособности усилителя при замене прототипа аналогом.

Таблица 1

Подмножество претендентов аналогов Ω_a

Вариант	Наименование	$k_1 \uparrow = S, \text{ А/В}$	$k_2 \uparrow = U_{\text{сн}}, \text{ В}$	$k_3 \uparrow = I_{\text{снmax}}, \text{ А}$	$k_4 \uparrow = P, \text{ Вт}$
ω_1	КП350	10	400	20	150
ω_2	КП510	1,3	100	6	43
ω_3	КП540	8,7	100	20	150
ω_4	КП630	3,8	200	9	74
$\omega_5 = \omega_n$	IRF530	5,1	100	20	79

Исходя из указанных предпосылок, финишный выбор будет производиться для следующего приоритета ПК:

$$< k_2, k_3, k_4, k_1 >.$$

Заметим важную особенность предлагаемого алгоритма. При финишном выборе вариантов из подмножества Ω_a с помощью последовательно применяемых ПК прототип ω_n будет включен в состав этого подмножества наравне с другими альтернативами. Это необходимо для того, чтобы при получении окончательного линейного порядка (для полной L -постановки) были хорошо видны ближайшие к прототипу

варианты, а также их порядковое положение при выбранном приоритете ПК.

Представим предлагаемый алгоритм финишного выбора аналогов по прототипу из Ω_a посредством ранжирования ПК и скаляризации векторной задачи с использованием фактор-множеств следующими этапами:

на первом этапе необходимо сформировать фактор-множества для всех учитываемых в задаче показателей качества. Для этого составим линейные порядки вариантов из Ω_a (табл. 1), а затем перейдем к описанию окрестностей вариантов фактор-множествами, как совокупности окрестностей для каждого из ПК.

$$L(\Omega/k_2) = \langle \omega_1, \omega_4, \{\omega_n, \omega_3, \omega_2\} \rangle \Rightarrow \Phi^T(\Omega/k_2) = \begin{cases} O_1 = \emptyset \\ O_2 = \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4 \\ O_3 = \omega_1, \omega_2, \omega_n, \omega_4, \\ O_4 = \omega_1 \\ O_n = \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4 \end{cases}$$

$$L(\Omega/k_3) = \langle \{\omega_3, \omega_1, \omega_n\}, \omega_4, \omega_2 \rangle \Rightarrow \Phi^T(\Omega/k_3) = \begin{cases} O_1 = \omega_3, \omega_n \\ O_2 = \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4 \\ O_3 = \omega_1, \omega_n \\ O_4 = \omega_1, \omega_3, \omega_n \\ O_n = \omega_1, \omega_3 \end{cases},$$

$$L(\Omega/k_4) = \langle \{\omega_3, \omega_1\}, \omega_n, \omega_4, \omega_2 \rangle \Rightarrow \Phi^T(\Omega/k_4) = \begin{cases} O_1 = \omega_3 \\ O_2 = \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4 \\ O_3 = \omega_1 \\ O_4 = \omega_1, \omega_3, \omega_n \\ O_n = \omega_1, \omega_3 \end{cases},$$

$$L(\Omega/k_1) = \langle \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4, \omega_2 \rangle \Rightarrow \Phi^T(\Omega/k_1) = \begin{cases} O_1 = \emptyset \\ O_2 = \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4 \\ O_3 = \omega_1 \\ O_4 = \omega_1, \omega_3, \omega_n \\ O_n = \omega_1, \omega_3 \end{cases};$$

на втором этапе, когда получены все фактор-множества, целесообразно обратиться к выбранному порядку критериев и составить АМ для первой пары по приоритету ПК. В нашем случае это показатели качества $\langle k_2, k_3 \rangle$.

Отметим в матрице A_2 неразличимые варианты для первого по важности ПК по выражению (4) жирным шрифтом. Пометим аналогично и соответствующие им элементы в АМ A_3 :

$$\Phi^T(\Omega/k_2) = \begin{cases} O_1 = \emptyset \\ O_2 = \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4 \\ O_3 = \omega_1, \omega_2, \omega_n, \omega_4 \\ O_4 = \omega_1 \\ O_n = \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4 \end{cases} \Rightarrow A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \mathbf{1} & 0 & \mathbf{1} \\ 0 & \mathbf{1} & 0 & 0 & \mathbf{1} \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & \mathbf{1} & \mathbf{1} & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\Phi^T(\Omega/k_3) = \begin{cases} O_1 = \omega_3, \omega_n \\ O_2 = \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4 \\ O_3 = \omega_1, \omega_n \\ O_4 = \omega_1, \omega_3, \omega_n \\ O_n = \omega_1, \omega_3 \end{cases} \Rightarrow A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & \mathbf{0} \\ 1 & \mathbf{1} & 0 & 1 & \mathbf{1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \mathbf{1} & \mathbf{1} & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Результирующая матрица A_{23} , где индексация матрицы соответствует порядку критериев, получена пересечением в соответствии с *L-правилом*. В этой матрице пометим элементы, которые остались неразличимыми, и для которых не удалось установить приоритет; они идентифицируются жирными «1»:

$$\Phi^T(\Omega/\langle k_2, k_3 \rangle) \Rightarrow A_{23} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \mathbf{1} \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & \mathbf{1} & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

на третьем этапе выполняется последующее пересечение матриц, для уточнения оставшихся элементов результирующую матрицу

A_{23} пересекают с матрицей следующего по приоритету критерия в нашей задаче это матрица A_4 .

$$\Phi^T(\Omega/k_4) = \begin{cases} O_1 = \omega_3 \\ O_2 = \omega_1, \omega_3, \omega_n, \omega_4 \\ O_3 = \omega_1 \\ O_4 = \omega_1, \omega_3, \omega_n \\ O_n = \omega_1, \omega_3 \end{cases} \Rightarrow A_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & \mathbf{1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \mathbf{0} & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Результирующая матрица A_{234} уже не содержит неразличимых элементов, и итоговая матрица $A_{2341} = A_{234}$. *L-постановка* оказалась *полной*

уже для трех первых по важности ПК, так как неразличимость всех вариантов оказалась снята последовательным привлечением $\langle k_2, k_3, k_4 \rangle$.

$$\Phi^T(\Omega / \langle k_2, k_3, k_4 \rangle) \Rightarrow A_{234} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.,$$

Можно показать, что

$$A_{234} = A_{2341} \Rightarrow \Phi^T(\Omega / \langle k_2, k_3, k_4, k_1 \rangle).$$

Но это целесообразно только для указания на

использование всех возможных ПК, включая и k_4 , исключительно для «полноты» списка.

Итоговый алгоритм может быть описан блок-схемой (рис. 2).

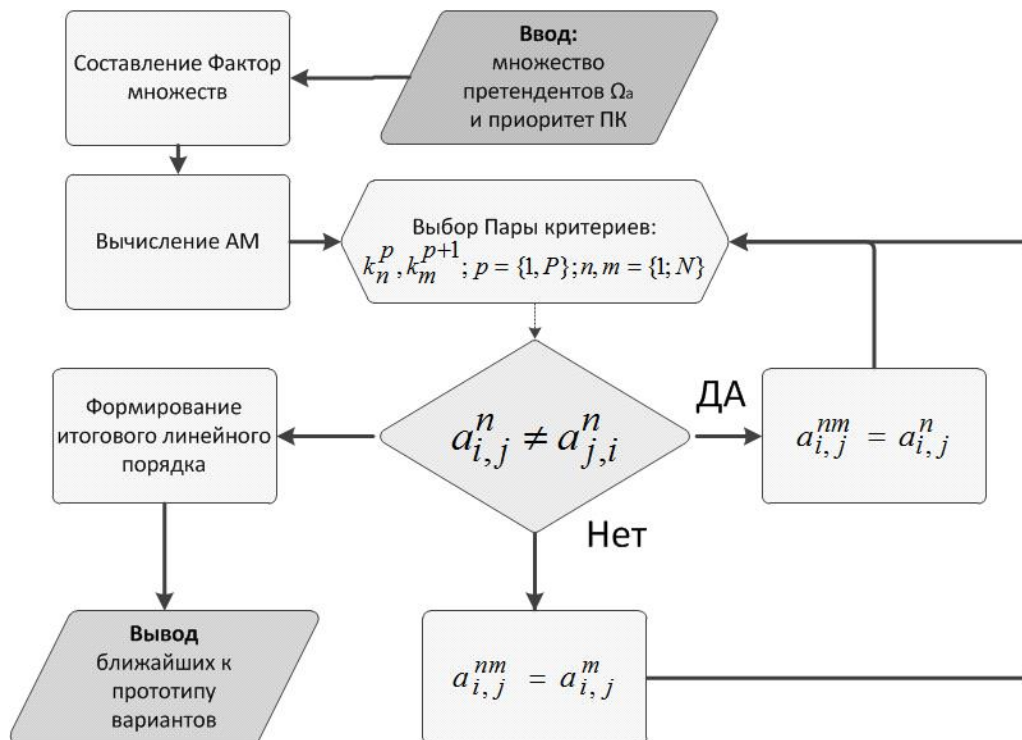


Рис. 2. Итоговый алгоритм получения финишного адаптивного квазилинейного порядка

Окончательный порядок на финишном множестве с учетом приоритета показателей качества может быть получен из итоговой матрицы A_{2341} . Первый элемент искомого линейного порядка не содержит в столбце матрицы единиц «1», как недоминируемый никакими другими вариантами. Второй содержит одну «1» и т. д. Основная алгоритмическая особен-

ность формирования итогового линейного порядка путем анализа матрицы сводится к подсчету единичных элементов в окрестностях столбцов матрицы. Затем итоговые суммы выстраиваются в порядке возрастания и тем самым формируют линейный порядок вариантов по принятому приоритету для всех ПК:

$$A_{2341} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \left[\begin{matrix} |O_1(\omega_1)| & |O_2(\omega_2)| & |O_3(\omega_3)| & |O_4(\omega_4)| & |O_n(\omega_n)| \\ 0 & 4 & 2 & 1 & 3 \end{matrix} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left[\begin{matrix} |O_1(\omega_1)| & |O_4(\omega_4)| & |O_3(\omega_3)| & |O_n(\omega_n)| & |O_2(\omega_2)| \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \right] \Rightarrow \langle \omega_1, \omega_4, \omega_3, \omega_n, \omega_2 \rangle$$

Таким образом, итоговый полный линейный порядок на множестве, Ω_a представляется выражением:

$$L(\Omega / \langle k_2, k_3, k_4 \rangle) = \langle \omega_1, \omega_4, \omega_3, \omega_n, \omega_2 \rangle.$$

Из представленного линейного порядка хорошо видно, что ближайшими к прототипу яв-

ляются варианты ω_3 и ω_2 , при этом ясно, что в условиях выбранного приоритета ПК ω_3 улучшает прототип по совокупности $\langle \text{ПК} \rangle$, а ω_2 – ухудшает. Результаты для наглядности сведем в табл. 2.

Таблица 2

Результат структурирования линейным порядком

Вариант	Наименование	$k_1 \uparrow = S, \text{ А/В}$	$k_2 \uparrow = U_{\text{си}}, \text{ В}$	$k_3 \uparrow = I_{\text{снmax}}, \text{ А}$	$k_4 \uparrow = P, \text{ Вт}$
ω_3	КП1540	8,7	100	20	150
ω_n	IRF530	5,1	100	20	79
ω_2	КП1510	1,3	100	6	43

Окончательный, финишный выбор аналогов для приведенного примера остановим на варианте ω_3 .

Подведем краткий итог. В работе предложена методика и алгоритм усечения аналогов-претендентов для прототипа с помощью условного неметрического L -критерия из множества $\Omega_a \subseteq \Omega$ в ассоциативных матрицах фактор-множеств. Алгоритм автоматизированного финишного выбора основан на формировании линейного порядка претендентов-аналогов, с помощью использования L -правила для ассоциативных матриц фактор-множеств по показателям качества, проранжированным ЛПР в порядке их приоритетов. Важной особенностью алгоритма является то, что он позволяет (в полной L -постановке) упорядочить множество претендентов до строгого линейного порядка аналогов и найти ближайшие к прототипу варианты, не прибегая к экспертным оценкам весов ПК и другой метрике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбатов, В. А. Теория частично упорядоченных систем / В. А. Горбатов. – М. : Советское радио, 1976. – 336 с.
2. Кандырин, Ю. В. Многокритериальный анализ, выбор и структурирование вариантов в САПР : учеб. пособие для вузов / Ю. В. Кандырин. – М. : Изд. Дом МЭИ, 2013. – 320 с.
3. Кандырин, Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР : учеб. пособие для вузов / Ю. В. Кандырин. – М. : Изд-во МЭИ, 2004. – 172 с.
4. Кандырин, Ю. В. Выбор вариантов аналогов по прототипам в структурах графов частичных порядков и Парето-слоях / Ю. В. Кандырин, М. Е. Кононов, Е. Е. Зинченко // Радиотехника № 10. – М. : Радиотехника, 2013. – С. 23–28.
5. Кононов, М. Е. Выбор аналогов по прототипу по совокупности показателей качества в программе «Структура» / М. Е. Кононов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Выпуск 20. № 6(133) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – С. 75–83.
6. Кандырин, Ю. В. Автоматизированная система выбора аналогов для прототипа в орграфах фактор множеств / Ю. В. Кандырин, М. Е. Кононов // Вестник компьютерных и информационных технологий № 1. – М. : СПЕКТР, 2014. – С. 15–24.

УДК 004.89

Д. М. Коробкин, А. С. Мармура, М. А. Фоменкова, С. А. Фоменков, А. Г. Кравец
**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
 ПАТЕНТНОГО МАССИВА**

Волгоградский государственный технический университет

dkorobkin80@mail.ru, saf@vstu.ru

В данной работе представлена автоматизированная методика семантического анализа патентного массива, применяемая при патентной экспертизе и предназначенная для уменьшения временных затрат эксперта на проведение предпатентного поиска и на принятие решения об одобрении или отказе на заявку на патент. Данная методика является частью трехступенчатой модели обработки патентного массива, состоящей из предобработки, статистического и семантического анализа. Методика включает последовательное применение алгоритма разбиения сложного предложения на более простые, методов морфологического и семантического анализа текста, упрощения семантической сети и сравнения семантических сетей на основе алгоритма Левенштейна.

Ключевые слова: патентная экспертиза, морфологический анализ, семантический анализ, тематическое моделирование, обработка естественного языка, большие данные.

D. M. Korobkin, S. A. Marmura, M. A. Fomenkova, S. A. Fomenkov, A. G. Kravets

METHOD OF PATENTS SEMANTIC ANALYSIS

Volgograd State Technical University

This article presents an automated method of semantic analysis of patent array, used for patent examination and designed to reduce the time that an expert spends for the prior-art search and for the decision making if the patent should be granted or not. This method is part of a three steps methodology, consists of preprocessing step, statistical analysis and semantic analysis. The method includes: the decomposition of the complex sentence into several small sentences, methods of morphological and semantic analysis of the text, the semantic network simplification, the comparison of semantic networks based on an algorithm Levenstein.

Keywords: patent examination, morphologic analysis, semantic analysis, topic modeling, natural language processing, big data.

В настоящее время по всему миру выдано свыше 70 миллионов патентов. С увеличением количества патентов растет и время рассмотрения заявки на регистрацию патента. Эксперту необходимо установить уникальность патентируемой технологии, подтвердить новизну заявки. Для этого он должен провести сравнение с похожими патентами и открытыми источниками и удостовериться в отсутствии аналогов изобретения. В ходе такой работы эксперт может проверить тысячи патентов.

Существующие автоматизированные сис-

темы поиска существующих патентов, которые могли бы потенциально опровергнуть новизну заявки, не дают высокой точности при поиске аналогов и не обеспечивают полной автоматизации процесса.

Для улучшения качества автоматизации предпатентного поиска и для автоматизации задачи принятия решения о патентоспособности заявки были разработаны собственные методы [1–4]. На их основе была реализована автоматизированная система помощи принятия решений при патентной экспертизе (рис. 1).

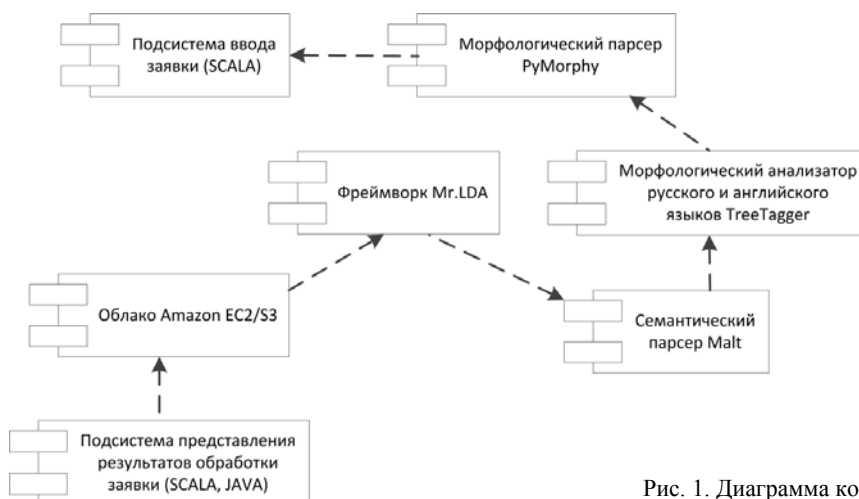


Рис. 1. Диаграмма компонентов

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 15-47-02383 p_поволжье_a, 15-07-09142-а).

Для решения задачи автоматизации принятия решений при патентной экспертизе была разработана трехступенчатая методика (рис. 2).

1 этап. Предобработка существующих массивов патентов

На первом этапе производится приведение существующих баз к разработанному единообразному формату за счет сопоставления классификаций US и IPC. Были выделены следующие поля: номер патента, классы патента, дата публикации патента, список цитированных патентов, название, аннотация, описание и формула.

В ходе предобработки производится морфо-

логический анализ текстов патентов, он необходим для семантического анализа, а также для выбора множества термов для статистического анализа. Для морфологического анализа были выбраны существующие программные решения: Stanford POS Tagger [5] для английского языка и TreeTagger [6] для русского. Данные инструменты относятся к свободному программному обеспечению и обладают одними из наилучших показателей точности и скорости при морфологическом анализе. В ходе морфологического анализа каждому слову в тексте патента сопоставляется его базовая форма и часть речи.

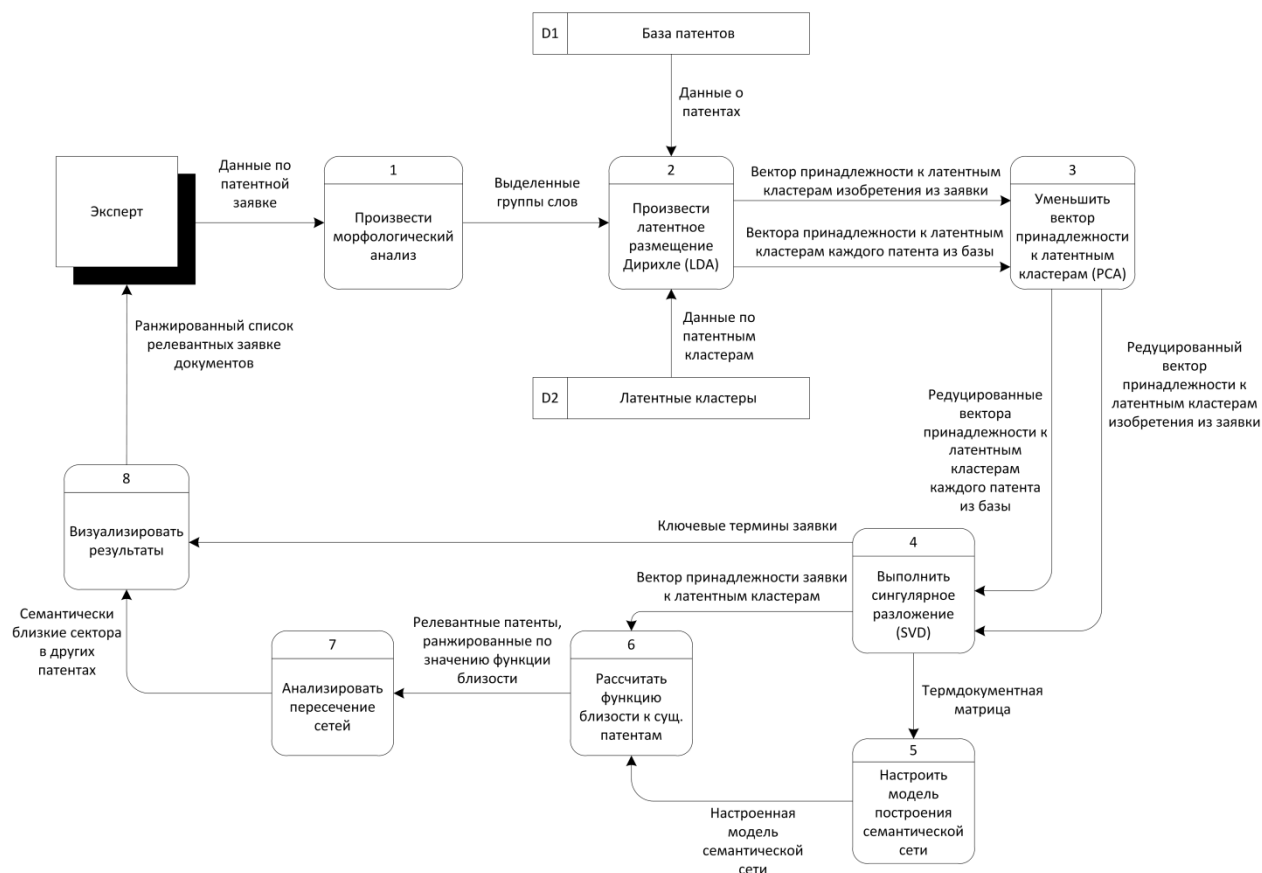


Рис. 2. Информационная модель системы в контексте DFD

Далее производится выделение частей речи, а также уменьшение пространства термов (были исключены 100 наиболее часто встречающихся слов и слова, которые встречались не более 1 раза). Сужение пространства термов на 90 % ведет к значительному улучшению точности и времени работы статистических алгоритмов, что компенсирует редкие случаи потери специфических терминов.

2 этап. Предпатентный поиск

Для решения задачи предпатентного поиска было решено использовать метод Латентного

Размещения Дирихле (LDA) [7], один из методов тематического моделирования. Данный метод позволяет представить документы и термы в виде распределения принадлежности к латентным кластерам.

На основании патентных классов производится разбиение множества патентов на подмножества для обучения независимых моделей LDA. В ходе обучения моделей для каждого патента строится вектор (ры) его принадлежности к топикам. В качестве фреймворка для обучения моделей LDA было решено использовать

MrLDA [8]. Данный фреймворк обладает высокой скоростью обучения и имеет возможность распределенного обучения LDA на больших объемах текстовых данных.

3 этап. Построение и вычисление степени пересечения семантических сетей

На третий этап поступает множество наиболее близких патентов. Сравнение патентов происходит по полю «claim (формула)», так как в ней указываются отличительные черты изобретения. Этот пункт имеет правовое значение и определяет объем прав правообладателя. Формула изобретения копируется в отдельный файл, который будет анализироваться, каждое предложение записывается с отдельной строки. Длинные предложения разделяются на короткие, так как на длинных предложениях может неточно срабатывать алгоритм построения семантических деревьев. Разделения происходят на месте специальных слов и символов (" , а " , " , но " , " где " , "отличающийся тем, что" , " причем " , " при этом " , " путем " , " так, что " , " кроме того " , " предусматривающий " , " , " обеспечивающий " , "включающий" и т.д.), эти слова не

несут никакой информационной нагрузки и удаляются.

Далее производится морфологический разбор слов. Для морфологического анализа создается отдельный файл, в который записываются все слова из формулы патента с отдельной строки. TreeTagger производит морфологический разбор слов (часть речи, род, число) и определяет начальную форму слова.

Способ	Ncmsnn	способ
полива	Ncmsgn	полив
.	SENT	.
включающий		Vmpp-smafen
обработку	Ncfstan	обработка

На следующем этапе слова, не распознанные TreeTagger'ом, дополнительно анализируются лемматизатором, и для каждого слова определяется начальная форма.

Для построения семантического дерева используется свободно-распространяемое программное обеспечение MaltParser [9]. На основе морфологического анализа программа устанавливает семантические роли каждого слова в предложении (агент, квазиагент, объект и т. д.).

1	Способ	способ	N	N	Ncmsnn	0	ROOT	—	—
2	полива	полив	N	N	Ncmsgn	1	1-компл	—	—
3	.	.	S	S	SENT	2	PUNC	—	—
1	включающий	включать	V	V	Vmpp-smafen	0	ROOT	—	—

После построения семантические сети [10–12] упрощаются путем исключения из них некоторых вспомогательных семантических отношений, а так же зависимых слов, которые вступают в данные отношения: aux, auxpass, cop, punct, det, predet, cc, quantmod, tmod, prep, prt.

Оценка схожести семантических деревьев происходит с помощью модифицированного алгоритма Левенштейна [13]. Этот алгоритм позволяет получить последовательность действий, необходимых для получения из одной последовательности объектов другую. Действиями являются: удаление, вставка, замена и совпадение объекта. Обычно алгоритм Левенштейна используется для исправления ошибок, а объектами являются последовательность букв. Разработанная нами модификация алгоритма основана на вычислении схожести семантических деревьев на основе представления слов в виде объектов.

Оценка схожести текстов производится по коэффициентам:

K1 – коэффициент совпадения поддеревьев, является отношением количества различий в предложениях к количеству предложений в заявке;

K2 – коэффициент различий в совпадающих деревьях, является отношением количества совпадающих предложений к количеству предложений в заявке;

K3 – коэффициент совпадения связок слов, является отношением количества совпадений «вершина-родитель-связь» к количеству «вершина-родитель-связь».

Заявка считается принятой, если $K1 > 0.75$, $K2 > 0.05$, $K3 > 0.75$ (определено опытным путем).

Для поступившей заявки на первом этапе производится ее предобработка по аналогии с предобработкой существующих баз патентов, а методика поиска релевантных патентов состоит из следующих шагов:

1) определение классов патентов, на которые может ссылаться заявка. К данным классам относятся классы заявки, а также классы, на которые могут ссылаться патенты тех же классов, что и заявка. Данный расчет производится на основании графа цитирований;

2) вычисление распределений по топикам текста заявки с использованием моделей LDA, относящихся к взятым классам;

3) вычисление схожести между распределениями заявки и распределениями существующих патентов;

4) ранжирование итогового списка патентов на основании схожести распределений.

Интерфейс программы представлен на рис. 3.

В первом столбце представлена заявка на патент, во втором – ранжированный список патентов, имеющих сходства с заявкой согласно разработанной методике вычисления степени пересечения семантических сетей, в третьем – пример схожего патента.

Заявка	Список патентов	Патент
Способ полива [1] включающий обработку полос поверхности орошаемого участка [2] покрытие полос синтетической пленкой и подачу под пленку поливной воды [3] отличающийся тем, что перед покрытием полос поверхности орошаемого участка синтетической пленкой на часть поверхности пленки [4] обращенной к головам полос поверхности орошаемого участка, наносят хлорофос [5]	02454858 02454857	[1] Способ полива [2] включающий обработку полос поверхности орошаемого участка [3] покрытие полос синтетической пленкой и подачу под пленку поливной воды [4] отличающийся тем, что перед покрытием полос поверхности орошаемого участка синтетической пленкой на часть поверхности пленки обращенной к головам полос поверхности орошаемого участка, наносят препараты - пиперазин или диэтилendisамин

Рис. 3. Интерфейс программы

Для реализации автоматизированной системы принятия решений при патентной экспертизе было решено использовать облачные технологии (сервисы Amazon EC2 и S3).

Разработанная автоматизированная методика (рис. 3) позволяет значительно уменьшить временные затраты экспертов на проведение патентной экспертизы. В дальнейшем планируется улучшить методы предпатентного поиска и принятия решения о выдаче патента на основе анализа пересечения семантических сетей. Кроме того, предложенные в разработанной методике подходы могут быть использованы для извлечения описаний структурированных физических знаний в виде физических эффектов [14, 15] из патентных документов с целью актуализации используемой информации на начальных этапах проектирования новых технических систем [16–18].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированная система принятия решений при патентной экспертизе / М. А. Дыков, А. Г. Кравец, Д. М. Коробкин, С. С. Укустов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 16. С. 85.
2. Автоматизированная система принятия решений при патентной экспертизе / М. А. Дыков, А. Г. Кравец, Д. М. Коробкин, С. М. Укустов, М. Ю. Сальников // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 20. № 6 (133). С. 35–41.
3. Представление документа в виде вектора ключевых фраз для решения задачи поиска по уровню техники в описаниях патентов / М. А. Дыков, А. Г. Кравец, Д. М. Коробкин, С. С. Укустов, О. И. Стрелков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. № 1. С. 148–155.
4. Автоматическое позиционирование заявки на получение патента в глобальном патентном пространстве /

А. Г. Кравец, Д. М. Коробкин, С. С. Укустов, М. А. Дыков // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 2 (5). С. 162–167.

5. Schmid, H. Improvements in Part-of-Speech Tagging with an Application to German [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://nlp.stanford.edu/~manning/papers/emnlp2000.pdf>.

6. Toutanova, K., Manning, C.D. Enriching the Knowledge Sources Used in a Maximum Entropy Part-of-Speech Tagger. [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.cis.uni-muenchen.de/~schmid/tools/TreeTagger/data/tree-tagger2.pdf>.

7. Blei, D.M., Ng, A.Y., Jordan, M.I. Latent Dirichlet Allocation. [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://jmlr.org/papers/volume3/blei03a/blei03a.pdf>.

8. Zhai, K., Boyd-Graber, J., Asadi, N., Alkhouja, M. Mr. LDA: A Flexible Large Scale Topic Modeling Package using Variational Inference in MapReduce. [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.cs.colorado.edu/~jbg/docs/mrlda.pdf>.

9. MaltParser [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.maltparser.org/optiondesc.html>.

10. Коробкин, Д. М. Ontology-based extraction of physical effect description from russian text / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Proceedings of the European Conference on Data Mining 2014 and International Conferences on Intelligent Systems and Agents 2014 and Theory and Practice in Modern Computing 2014 (Lisbon, Portugal, July 15–17, 2014) : part of the Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2014 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – Lisbon (Portugal), 2014. – P. 260–262.

11. Коробкин, Д. М. Semantic network of physical effects descriptions in natural language context / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // WWW/Internet 2013 : proceedings of the IADIS International Conference (Fort Worth, Texas, USA, October 22–25, 2013) / IADIS (International Association for Development of the Information Society), UNT (University of North Texas). – [Fort Worth (Texas, USA)], 2013. – P. 342–346.

12. Фоменков, С. А. Method of Ontology-Based Extraction of Physical Effect Description from Russian Text / С. А. Фо-

менков, Д. М. Коробкин, С. Г. Колесников // Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17-20, 2014) / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Tadashi Iijima ; Volgograd State Technical University [etc.]. – [Б/м] : Springer International Publishing, 2014. – P. 321–330. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).

13. Levenshtein distance [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.levenshtein.net>.

14. Фоменков, С. А. Методика модификации информационного обеспечения базы данных физических эффектов / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, Д. М. Коробкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 10, №14. С. 166–170.

15. Коробкин, Д. М. Методика выделения структурированной физической информации в виде физических эф-

фектов из текста / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 10. – С. 35–39.

16. Гопта, Е. А. Автоматизация процесса линейного синтеза физического принципа действия / Е. А. Гопта, С. А. Фоменков, Г. А. Карачунова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 11, № 9. – С. 129–133.

17. Фоменков, С. А. Автоматизированный информационный поиск физических эффектов / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, С. Г. Колесников // Информационные технологии. – 2004. – № 7. – С. 30–34.

18. Яровенко, В. А. Совершенствование модели представления и средств управления массивом данных физических эффектов / В. А. Яровенко, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – № 9. – С. 28–31.

УДК 004.89

Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, А. А. Мазин, А. И. Половинкин

ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА*

Волгоградский государственный технический университет

mazinfus@rambler.ru, dkorobkin80@mail.ru

Разработана модель представления структурированной физической информации в естественно-языковом тексте. Спроектирована методика извлечения структурированной физической информации в виде физических эффектов из русскоязычного текста на основе использования морфологической информации, контекстно-свободных грамматик и словарей ключевых слов.

Ключевые слова: структурированные физические знания, извлечение фактов, морфологический анализ.

D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov, A. A. Mazin, A. I. Polovinkin

EXTRACTION STRUCTURED PHYSICAL INFORMATION BASED ON MORPHOLOGICAL TEXT ANALYSIS OF THE TEXT

Volgograd State Technical University

The authors developed a model representation of structured physical information in natural language processing and extraction technique designed structured physical information in the form of physical effects from the Russian text through the use of morphological information, context-free grammars and dictionaries of keywords.

Keywords: the support system of the generation of the solution, subject domain formalization, adaptation, case-based reasoning, neural network.

В настоящее время существует множество подходов к реализации начальных этапов проектирования технических объектов, среди которых наиболее перспективным и действенным является способ, использующий структурированную физическую информацию. В частности, в ВолгГТУ на кафедре САПР и ПК ведется работа над комплексом систем, оперирующих структурированной физической информацией в виде физических эффектов (ФЭ) [1–5]. В настоящее время фонд ФЭ (свыше 1200 описаний) содержит знания из разных областей физики, в том числе на основе новейших открытий и изобретений.

Проблема поддержки процесса формирования информационного обеспечения фонда ФЭ, наиболее трудоемкими процедурами которого является поиск и извлечение описаний новых ФЭ, отражена в трудах научной школы А. И. Половинкина. Однако методика поддержания фонда ФЭ в актуальном состоянии, созданная в рамках данного направления [6–9], не отвечает требованиям точного и полного извлечения описаний физических эффектов из текста естественно-языковых источников вследствие недостаточной эффективности существующих семантических анализаторов русского языка. Таким образом, актуальным является повышение эффективности поиска и извлечения описаний ФЭ за счет новых, более продуктивных подходов.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № № 13-01-00302 –а, 15-07-09142-а).

Авторами предлагается подход к извлечению структурированных физических знаний на основе методов, предложенных В. А. Тузовом [10] при формировании компьютерного семан-

тического словаря. Словарная статья словаря содержит заголовочное слово и его толкование на семантическом языке. Например,

ВОЗДЕЙСТВИЕ - \$15142(Caus_o(АГЕНТ:НЕЧТО\$1~!Род,Lab(ОБЪЕКТ:!наВин,ИНСТРУМЕНТ:!Тв)))
ВОЗДЕЙСТВОВАТЬ -
N%-0001.ВОЗДЕЙСТВИЕ\$15142(Caus(АГЕНТ:!Им,Lab(ОБЪЕКТ:!наВин,!Тв)))

Основой определения семантических ролей являются падежи: !Род, !наВин, !Им, !Тв.

Таким образом, для извлечения из текста структурированной физической информации необходимо провести морфологический анализ

текста. Были рассмотрены программные средства морфологического анализа русскоязычных текстов и их сравнительные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики систем морфологического анализа

Название	Описание	Механизм	Открытость	Извлечение семантических связей	Однозначное определение падежей
TreeTagger	Языконезависимый инструмент морфологической разметки текстов	Деревья принятия решений	Отдельное лицензирование для коммерческих целей	Нет	Да
Mystem	Морфологический анализатор русского языка с поддержкой снятия морфологической неоднозначности	На основе словаря	Для некоммерческого / коммерческого использования	Нет	Нет
Морфологический анализатор проекта АОТ	Морфологический интерпретатор слов входного текста	На основе грамматического словаря А. А. Зализняка	Лицензия LGPL	Да	Нет
Томиита-парсер	Инструмент для извлечения структурированных данных (фактов) из текста на естественном языке	На основе контекстно-свободных грамматик и словарей ключевых слов	Для некоммерческого / коммерческого использования	Да	Нет

По итогам анализа морфологических анализаторов можно сделать вывод о целесообразности использования связки TreeTagger [11] (позволяет однозначно определять падежи) и Томиита-парсер [12] (инструмент извлечения структурированных данных (фактов) из текста на естественном языке).

Для извлечения описаний физических эффектов была разработана модель представления структурированной физической информации в естественно-языковом тексте.

$$M_{FE} = \langle C, D, B, R_C, R_B \rangle, \quad (1)$$

где C – множество предикатов (отношений),

характерных для описания ФЭ в тексте, $c_i \in C$; D – падежи аргументов при предикатах $D_i \subset D$ – список падежей аргументов, согласованных с предикатом c_i ; $d_j \in D_i$; B – множество элементов описания ФЭ (A, B, C) , $B_k \in B$;

$$\forall c_i \in C \exists d_j \in D_i [d_j \xrightarrow{\text{def}} B_k],$$

где $B_k \in \{\text{вход (A), выход (C), объект (B)}\}$; def – оператор, ставящий в соответствие падежу аргумента d_j при предикате c_i набор элементов описания ФЭ B_k ; R_C – отношение на $C \times D$, пара $(c_i, d_j) \in R_C$ однозначно определяет элемент (элементы) описания ФЭ, согласующийся с предикатом падежом d_j ; R_D – отношение на $R_C \times B$, па-

ра $((c_i, d_j), B_k) \in R_B$ определяет набор концептов ПО, соответствующих элементу описания ФЭ $b_k, b_k \in B_k$.

Рассмотрим пример применения модели.

Текст, содержащий описание ФЭ: «Воздействие магнитного поля на силу тока в проводящем слое»,

где $C_1 = \text{ВОЗДЕЙСТВИЕ}$

$D = \{ \text{Род.п., Вин.п., Пред.п.} \}$

$V = \{ \text{Вход ФЭ, Выход ФЭ, Объект ФЭ} \}$

$B_1 = \text{Вход ФЭ} = \text{Магнитного поля (Воздей-}$

$\text{ствие (чего?., Род.п.))}$,

$B_2 = \text{Выход ФЭ} = \text{силу тока (Воздействие (на что?., Вин.п.))}$,

$B_3 = \text{Объект ФЭ} = \text{проводящем слое (Воздействие (в чем?., Предл.п.))}$

Необходимо отметить, что каждому ключевому слову (предикату) соответствует индивидуальный набор связей «Элемент описания ФЭ» – «Падеж аргумента», вынесенный в словарь шаблонов модели, фрагмент которого представлен в табл. 2.

Таблица 2

Фрагмент словаря шаблонов модели

Предикат	Вход ФЭ	Выход ФЭ	Объект ФЭ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ	Род.п	Тв.п	Пр.п
ВЗАИМОДЕЙСТВОВАТЬ	Им.п	Тв.п	Пр.п
ВЛИЯНИЕ	Род.п	Вин.п	Тв.п/Пред.п
ВЛИЯТЬ	Им.п	Вин.п	Тв.п/Пред.п
ВОЗДЕЙСТВИЕ	Род.п	Вин.П	Тв.п
ВОЗДЕЙСТВОВАТЬ	Род.п	Вин.П	Тв.п
ВЫДЕЛЕНИЕ	Тв.п	Род.п	Вин.п
ВЫДЕЛЯТЬ	Им.п	Вин.п	Вин.п/Пред.п
ДЕЙСТВИЕ	Род.п	Вин.п	Пред.п
ДЕЙСТВОВАТЬ	Им.п	Вин.п	Пред.п
ЗАВИСЕТЬ	Им.п	Род.п	Пред.п
ЗАВИСИМОСТЬ	Род.п	Тв.п	Пред.п
ЗАКЛЮЧАТЬСЯ	Им.п	--	Пред.п
ИЗМЕНЕНИЕ	Род.п	--	Пред.п
ИЗМЕНИТЬ	Им.п	Вин.п/Дат.п	Пред.п
ИЗМЕНИТЬСЯ	Им.п	--	Пред.п
ИЗМЕНЯТЬ	Им.п	Вин.п	Пред.п

Для извлечения описаний физических эффектов из естественно-языкового текста применен Томита-парсер, использующий контекстно-свободные грамматики и словари ключевых слов (газеттиры).

Пример использования Томита-парсера при разборе предложения «Воздействие электрического поля на разность потенциалов в полупроводнике»:

«Воздействие» управляющее слово (предикат).

$FizE \rightarrow Noun<kwtype=FE>;$

Вход ФЭ $\rightarrow$ Магнитного поля (Воздействие (чего?., Род.п)),

$S \rightarrow FizE< gram='им' >Adj<gnc-agr[1]>Noun<gnc-agr[1], rt, gram='pod'>;$

Выход ФЭ $\rightarrow$ силу тока (Воздействие (на что?., Вин.п)),

$S \rightarrow (Adj<gnc-agr[1]>)Noun<gnc-agr[1], rt, gram='вин'>Noun<gram='pod'>;$

Объект ФЭ $\rightarrow$ проводящем слое (Воздействие (в чем?., Предл.п))

$S \rightarrow (Adj<gnc-agr[1]>)Noun<gnc-agr[1], rt, gram='np'>;$

Пример газеттира:

FE «предикат» { key =»изменение» | «увеличение» | «воздействие» | «уменьшение» | «увеличение» | «перемещение» }

На основании предложенной модели M_{FE} (1) разработана методика извлечения структурированной физической информации в виде физических эффектов из текста первичных источни-

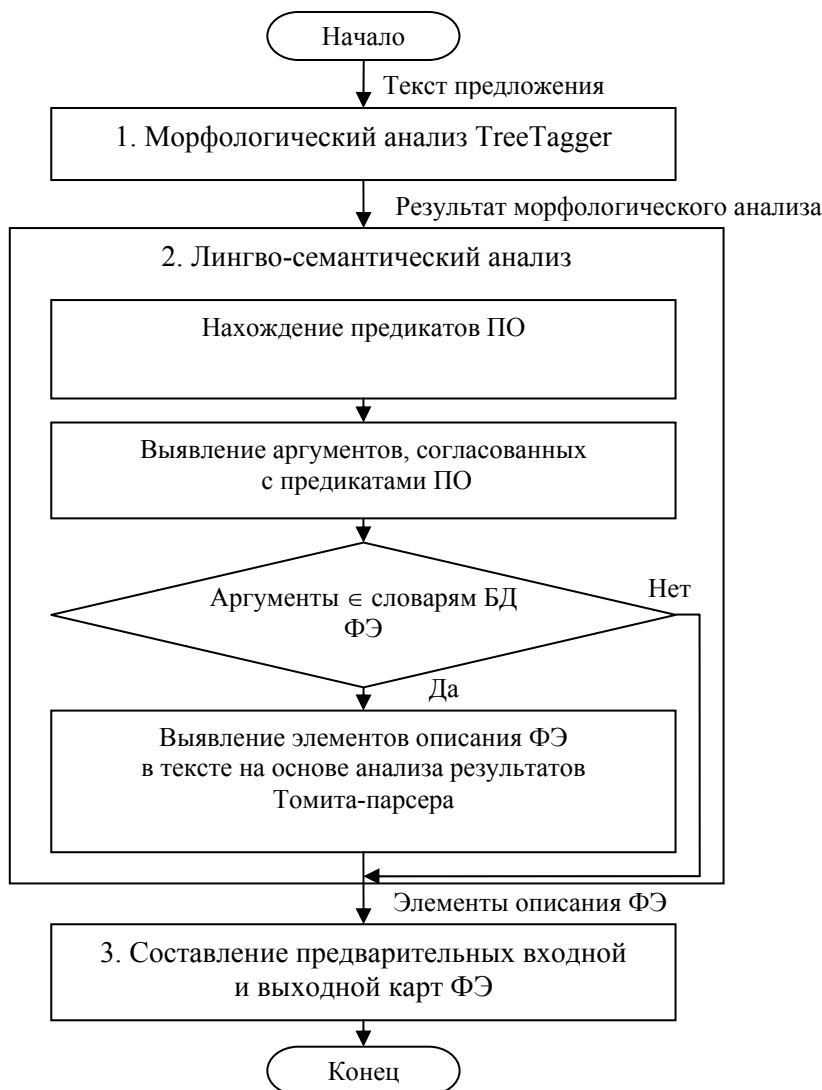
ков (рис. 1), состоящая из следующих последовательных процедур:

1) морфологический анализ текста, который позволяет (?) получить падежи аргументов. Анализ проводится для текстов, прошедших фильтрацию на наличие предикатов предметной области (ПО);

2) лингво-семантический анализ, начальная операция которого – поиск в тексте первичного источника предикатов ПО. Их представление на естественном языке занесено в газетир *FE* и каждому соответствует индивидуальный набор связей «Элемент описания ФЭ» – «Падеж аргумента» (табл. 2). Данная информация необходима для выбора соответствующей сформированной контекстно-свободной грамматики. Ее использование позволяет выявить аргументы (термы), согласованные с предикатом ПО, на основе значимых для данного предиката

(отношения) падежей аргументов и присоединяемых посредством данных падежей термов предложения. При этом термы должны содержаться в словарях БД ФЭ. Далее происходит сопоставление термов предложения элементам описания ФЭ: входу, выходу, объекту, на основе словаря шаблонов модели (табл. 2);

3) следующая процедура методики, представленная на рисунке, – составление предварительных карт ФЭ. Текст документа разбивается на последовательность тематически однородных фрагментов. В качестве основы разбиения используются авторские параграфы. Элементы описания ФЭ в предложениях параграфа текста используются для составления описаний предварительных входных карт ФЭ. Предварительная выходная карта строится из предложений текста, в которых были найдены элементы описания ФЭ.



Алгоритм извлечения структурированной физической информации в виде ФЭ из текста

В итоге были достигнуты следующие результаты:

1) разработана модель представления структурированной физической информации в естественно-языковом тексте;

2) разработана методика извлечения структурированной физической информации в виде ФЭ из естественно-языкового текста;

3) спроектирован и программно реализован модуль извлечения описаний физических эффектов из русскоязычных текстов на основе использования свободно распространяемого программного обеспечения TreeTagger [11] и Томита-парсер [12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменков, С. А. Представление физических знаний в автоматизированном банке физических эффектов / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Известия вузов. Машиностроение. 1998. № 1–3. С. 55–61.
2. Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов. Коллективная монография / В. А. Камаев, Л. Н. Бутенко, А. М. Дворянkin, С. А. Фоменков, Д. В. Бутенко, Д. А. Давыдов, А. В. Заболеева-Зотова, И. Г. Жукова, А. В. Кизим, С. Г. Колесников, В. В. Костерин, А. В. Петрухин, М. В. Набока ; под ред. В. А. Камаева. – М. : Машиностроение-1, 2005.
3. Фоменков, С. А. Формирование и структура баз данных по физическим эффектам / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, Д. М. Коробкин // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2013, т. 18, № 22(125). С. 153–157.
4. Procedure of Integration of the Systems of Representation and Application of the Structured Physical Knowledge / С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, С. Г. Колесников, А. М. Дворянkin, В. А. Камаев // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9, No. 10. – С. 700–703.
5. Synthesis of the Physical Principle of Operation of Engineering Systems in the Software Environment CPN Tools / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, В. А. Камаев // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9, No. 11. – С. 749–752.
6. Коробкин, Д. М. Методика выделения структурированной физической информации в виде физических эффектов из текста / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 10. – С. 35–39.
7. Коробкин, Д. М. Ontology-based extraction of physical effect description from russian text / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Proceedings of the European Conference on Data Mining 2014 and International Conferences on Intelligent Systems and Agents 2014 and Theory and Practice in Modern Computing 2014 (Lisbon, Portugal, July 15–17, 2014) : part of the Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2014 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – Lisbon (Portugal), 2014. – P. 260–262.
8. Коробкин, Д. М. Semantic network of physical effects descriptions in natural language context / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // WWW/Internet 2013 : proceedings of the IADIS International Conference (Fort Worth, Texas, USA, October 22–25, 2013) / IADIS (International Association for Development of the Information Society), UNT (University of North Texas). – [Fort Worth (Texas, USA)], 2013. – P. 342–346.
9. Фоменков, С. А. Method of Ontology-Based Extraction of Physical Effect Description from Russian Text / С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, С. Г. Колесников // Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17–20, 2014) / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Tadamshi Iijima ; Volgograd State Technical University [etc.]. – [Б/м] : Springer International Publishing, 2014. – P. 321–330. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).
10. Тузов, В. А. Компьютерная грамматика русского языка / В. А. Тузов // Вестник СПбГУ, серия Прикладная математика, информатика, процессы управления. Вып. 1–2. 2004.
11. Helmut Schmid (1995): Improvements in Part-of-Speech Tagging with an Application to German. Proceedings of the ACL SIGDAT-Workshop. Dublin, Ireland.
12. Томита-парсер. [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <https://tech.yandex.ru/tomita/>

УДК 004.891.2

*Е. А. Тюлькина, В. А. Камаев, Т. А. Яновский***МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПАТЕНТНЫХ МАССИВОВ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВОПОЛАГАЮЩЕЙ ИДЕИ
СИНТЕЗА НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ****Волгоградский государственный технический университет***kamaev@unix.cad.vstu.ru, janovsky@yandex.ru*

В работе описана методика поиска основополагающей идеи синтеза нового технического решения путем автоматизации метода инженерного творчества – морфологического анализа и синтеза. В качестве источника данных для заполнения морфологической таблицы используются патенты. Путем разбиения текста патентной формулы на сегменты, которые в дальнейшем подвергаются синтаксическому и семантическому анализу, определяются компоненты модели «объект – условие – действие». В качестве признаков для морфологической таблицы выступают классы глаголов, означающих действия в указанной модели. Действие с объектом и условиями представляет определенный вариант реализации конкретного признака.

Ключевые слова: синтез технических решений, парсинг, техническая функция, морфологический анализ и синтез, патент.

*E. A. Tyulkina, V. A. Kamaev, T. A. Janovsky***METHOD OF THE PATENT ARRAYS ANALYSIS FOR DETECTION
OF THE FUNDAMENTAL IDEA OF NEW TECHNICAL DECISIONS SYNTHESIS****Volgograd State Technical University**

Paper describes method of the fundamental idea search for new technical decision synthesis by automation of engineering creativity method – morphological analysis and synthesis. As a data source for filling of morphological table the patents are used. By partition of patent formula text on segments which further are subjected to syntactic and semantic analysis, components of the model «subject-action-object» are determined. The verb classes meaning actions in the said model are used as attributes for morphological table. The action with its object and conditions represents certain variant of specific function execution.

Keywords: technical decisions synthesis, parsing, technical function, morphological analysis and synthesis, patent.

Поиск новых технологических возможностей всегда был важной задачей в области развития техники, на сегодняшний же день в связи с обострившейся конкуренцией за рынки товаров и услуг актуальность данной задачи только возрастает. Главными источниками технической информации являются патенты, базы научных статей и справочники. Патент предоставляет его владельцу исключительное право на использование объекта творческой деятельности, описанного в патенте, а также возможность получать доход от продажи лицензий на использование запатентованного объекта. Поскольку в последнее время создается большое количество патентов, то проведение патентного анализа для определения технологических возможностей, основываясь только на собственных навыках эксперта, стало практически невозможным. В последние десятилетия широко используются автоматизированные системы поддержки поиска новых технических решений, САИ-системы (Computer-Aided Invention – поиск инновационных решений с помощью

компьютера), которые позволяют разработать скелетную конструкцию будущего изделия, реализующего заданную пользователем функцию. Недостатками этих систем (TriSolver, TechOptimizer, GoldfireInnovator и др.) являются необходимость обширной теоретической подготовки пользователя и отсутствие конкретного решения проблемы. Для создания качественно нового технического решения (ТР) необходимо владеть максимально полным набором уже известных принципов действия и конструкций ТР, для чего массив патентов подходит наилучшим образом. В данной работе представлена разработанная авторами методика анализа патентных массивов в целях поиска основополагающей идеи синтеза нового ТР.

Постановка общей задачи синтеза выполняется следующим образом: пусть задана некая техническая функция; требуется разработать описание объекта (технической системы, процесса), который реализует заданную функцию и удовлетворяет некоторой совокупности ограничений и особых условий. Среди всех подходов к решению задачи синтеза наибольшее распространение в системах автоматизированного проектирования получили различные методы,

* «Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части (проект 2586 задания № 2014/16)».

принадлежащие к классу комбинаторно-логических. В основе этих методов лежит хорошо организованный перебор в массиве решений, которые являются аналогами и прототипами. В свою очередь, патенты представляют собой большой массив возможных решений в определенной научной или производственной отрасли и содержат множество вариантов исполнения одной и той же функции.

Понятие функции технического объекта (ТО) определяется как производимое ТО действие, приводящее к реализации интересующей человека потребности, т. е. назначение ТО. Описание функции любого ТО можно представить в виде четверки множеств следующего вида (1):

$$F = \langle D, X, H, {}_fP \rangle, \quad (1)$$

где D – множество действий, производимых и приводящих к желаемому результату; X – множество объектов (операндов), на которые эти действия направлены; H – множество особых условий и ограничений выполняемых действий; ${}_fP$ – множество функциональных признаков, позволяющих конкретизировать и иерархически структурировать описание функции [1].

Комбинаторно-логический метод структурного синтеза, предлагаемый к автоматизации в данной работе, – метод морфологического

анализа и синтеза [2]. В предлагаемой методике морфологическая таблица строится не на основе структуры конкретного прототипа, а на основе обобщения ряда прототипов (взятых из патентного массива), путем выделения в них характерных функциональных элементов и формулирования для них обобщенных функций, которые становятся заголовками столбцов морфологической таблицы. В качестве альтернативных вариантов реализации функции могут быть использованы конкретные ТР из патентов.

Для определения источника патентных данных были проанализированы существующие патентные базы (findpatent, Espacenet, DEPATIS, patft.uspto.gov, patentretriever.com, Google USPTO bulkdownloads), в результате чего было решено использовать GoogleUSPTObulkdownloads, потому что только эта база предоставляет патенты в формате XML, удобном для парсинга и дальнейшего анализа.

Патент содержит несколько разделов, при этом наиболее подходящей для анализа частью патента является формула изобретения, поскольку в ней лаконичным образом сформулированы все существенные признаки изобретения.

Общая схема процесса анализа патентных массивов для определения основополагающей идеи синтеза нового ТР представлена на рис. 1.

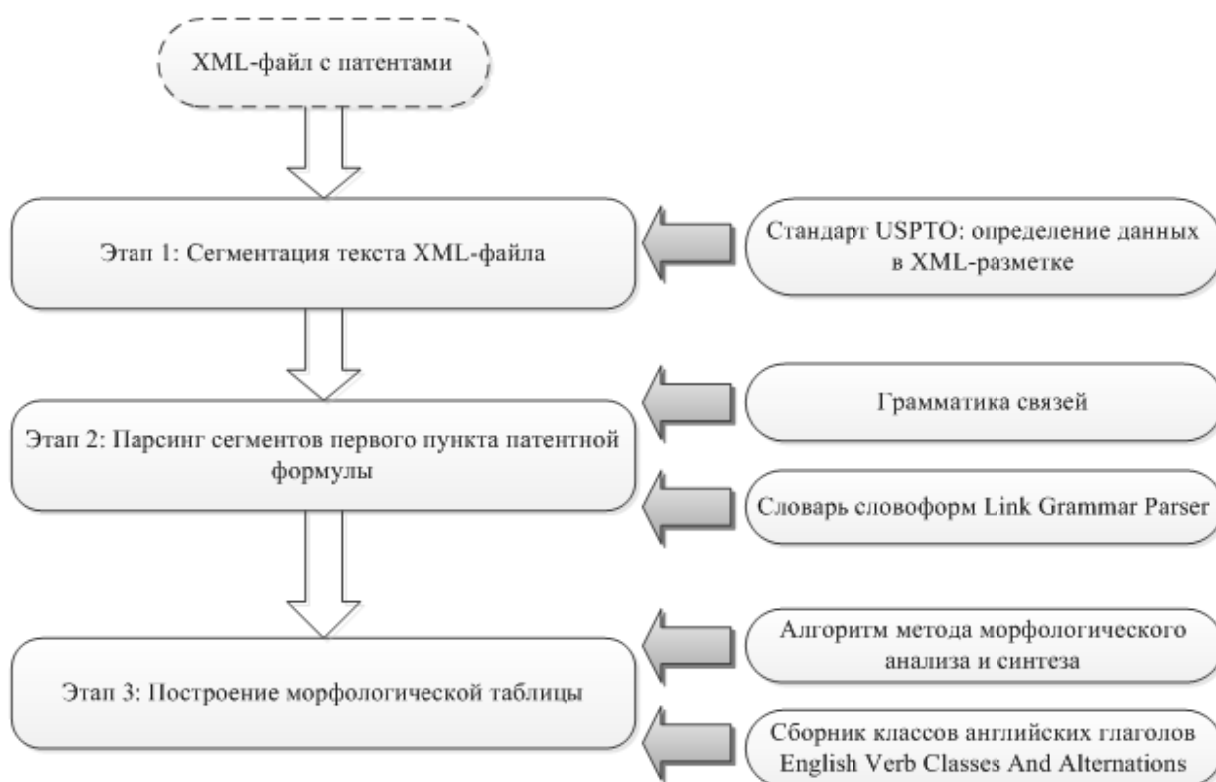


Рис. 1. Процесс анализа патентных массивов для определения идеи синтеза нового ТР

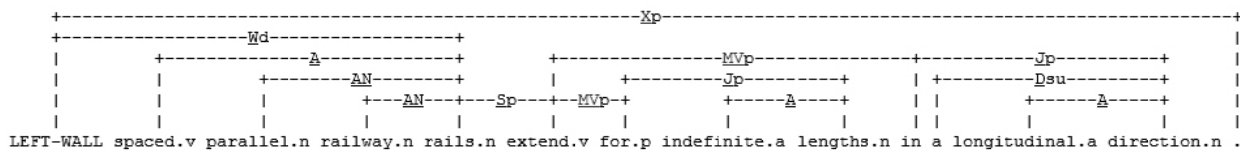


Рис. 3. Связи, найденные во втором предложении

Из полученных синтаксических структур извлекаются связи, означающие действия и их признаки (MV-, J-, I-), и в сборнике «English-VerbClassesAndAlternations» определяется класс для данных глаголов – Causative/Inchoative Alternation. Таким образом, мы получили два варианта исполнения одной функции «Причинное и начинательное чередование» (см. таблицу), т. е. один столбец в выходной морфологической таблице.

**Морфологическая таблица,
полученная из примера**

<i>Causative/Inchoative Alternation</i>
rotatable to open and close
extend for indefinite lengths in a longitudinal direction

Предложенная методика может быть расширена и дополнена элементами методики формирования творческих идей на основании индуктивно-абдуктивного вывода, предложенной в работе [7]. Согласно этой концепции, отдельное техническое решение или вариант исполнения некоторой функции из одной предметной области может быть перенесен в дру-

гую область, что даст совершенно неожиданное и оптимальное решение конкретной творческой задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багаев, Ю. В. Разработка системной модели технического объекта / Ю. В. Багаев // Системотехника. – 2007. – № 5.
2. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов вузов / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Автоматизированная система принятия решений при патентной экспертизе / М. А. Дыков [и др.] // Известия ВолгГТУ. – 2014. – Т. 20, № 6 (133). – С. 35–41.
4. Lee, C. How to assess patent infringement risks: a semantic patent claim analysis using dependency relationships / C. Lee, B. Song, Y. Park // Technology Analysis and Strategic Management. – 2013. – № 25. – P. 23–38.
5. Yoon, J. Detecting signals of new technological opportunities using semantic patent analysis and outlier detection / J. Yoon, K. Kim // Scientometrics. – 2012. – Vol. 90. – P. 445–461.
6. Коробкин, Д. М. Методика извлечения описаний физических эффектов / Д. М. Коробкин, К. С. Чекашкина, С. А. Фоменков // Известия ВолгГТУ. – 2013. – Т. 16, № 8 (111). – С. 152–154.
7. Дыков, М. А. Концепция автоматизации процесса бытового творчества / М. А. Дыков, В. А. Камаев // Открытое образование. – 2012. – № 2. – С. 11–14.

УДК 629.1.03

И. П. Вершинина, А. М. Колесов, А. В. Малолетов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ДВИЖИТЕЛЕЙ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ***

Волгоградский государственный технический университет

dtm@vstu.ru

Рассмотрена упрощенная модель проверки статической устойчивости шагающей машины. Получена методика и разработана компьютерная программа для построения области допустимых положений шагающего движителя.

Ключевые слова: шагающая машина, шагающий робот, шагающий движитель, механизм шагания, робототехника, управление движением, статическая устойчивость.

I. P. Vershinina, A. M. Kolesov, A. V. Maloletov

**DETERMINATION OF THE RANGE OF PERMISSIBLE POSITIONS
OF THE LEGS, PROVIDES A STATIC STABILITY OF WALKING MACHINE**

Volgograd State Technical University

Consider a simplified model checking of static stability of the walking machine. The method and the computer program obtained for construction of the range of permissible positions of the legs.

Keywords: walking machine, walking robot, walking mover, mechanism of walking, robotics, control of motion, static stability.

Введение

Шагающая машина представляет собой механическую систему, состоящую из корпуса и нескольких шагающих движителей – ног (рис. 1). Для статически устойчивых шагающих машин характерно, что в каждый момент времени не-

сколько ног (минимум – три) находятся в опоре. Точки контакта ног с опорной поверхностью образуют опорный многоугольник, и для обеспечения статической устойчивости необходимо, чтобы проекция силы тяжести на опорную поверхность находилась внутри опорного многоугольника.

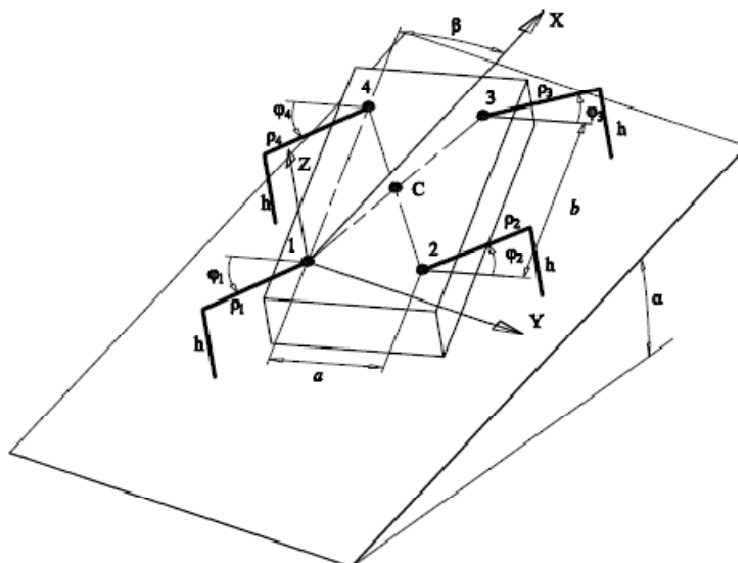


Рис. 1. Схема шагающей машины с четырьмя опорными движителями на косогоре

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-08-01002 а, 14-08-97041 р_поволжье_а, 15-41-02451.

Задачи определения запаса статической устойчивости и синтеза походок шагающей машины, обеспечивающих ее статическую устойчивость, рассматривались многими исследователями [1, 2, 3]. Однако на практике, при управлении шагающей машиной нередко приходится решать задачу определения точки постановки ноги исходя из внешних условий [4, 5, 6, 7], и тогда целесообразно из множества возможных положений движителя рассматривать только те, которые не нарушат статическое равновесие машины.

Определение допустимых положений движителей

При определении условий равновесия шагающей машины необходимо рассматривать наименее устойчивый случай, которым для шагающей машины с четырьмя опорными ногами является эксплуатационная ситуация, когда одна из ног теряет контакт с грунтом и в опоре остается только три движителя.

Для шагающих движителей могут наблюдаться различные условия сцепления опор с грунтом. Некоторые опоры могут иметь надежный контакт с грунтом, и под ними реализуются не только нормальная, но и касательная реакция. Другие опоры могут проскальзывать по грунту, и касательная реакция может отсутствовать.

Таким образом, рассматривается машина, движущаяся по наклонной поверхности. Внешние силы, действующие на машину, представлены силой тяжести и реакциями опорной поверхности в точках контакта ног с грунтом. Не-

высокая скорость передвижения таких машин позволяет не учитывать динамические нагрузки при определении опорных реакций, а учитывать их влияние в виде экспертно определяемого коэффициента динамичности.

В общем случае, задача определения реакций опор шагающей машины для случая опоры на три ноги является статически неопределимой и требует для решения применения дополнительных условий, например, условия совместности деформаций [8]. Так, количество уравнений в общем случае равно шести, а количество неизвестных реакций – девяти (по три на каждую ногу).

Однако при отсутствии других внешних активных сил кроме силы тяжести и при выборе координатной оси X , ориентированной по линии наибольшего ската опорной поверхности, касательные реакции по оси Y (рис. 1) тождественно равны нулю. Поэтому количество уравнений статики можно сократить до пяти, а количество неизвестных реакций – до шести. Статическая неопределимость разрешается либо добавлением соответствующего уравнения совместности деформаций, либо, в предельном случае, близком к потере контакта с грунтом одной из стоп, путем пренебрежения касательной реакцией под этой стопой (рис. 2). Последний подход предпочтительнее в связи с использованием более простой математической модели и более высокой скорости вычислений, хотя он и дает относительно большие погрешности.

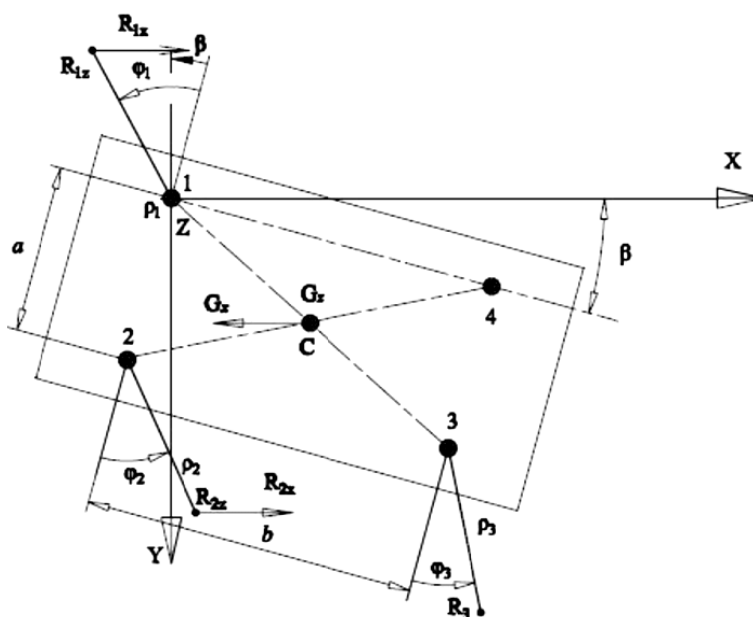


Рис. 2. Расчетная схема шагающей машины с тремя опорными движителями

В расчетных схемах (рис. 1, 2) использованы следующие обозначения: расстояния a и b между точками крепления движителей на корпусе машины; высота h центра масс машины над опорной поверхностью; угол α наклона опорной плоскости к горизонту; угол β поворота корпуса машины относительно линии наибольшего ската на косогоре; углы поворота и длины φ_i и ρ_i движителей.

Методика определения допустимых положений одного из движителей при известных положениях других опорных ног заключается в следующем. На компьютерной модели осуществляется перебор с некоторым шагом всех возможных положений движителя, проверка условия статической устойчивости для каждого из положений и формирование массива данных, в котором каж-

дому положению движителя соответствует признак реализуемости или нереализуемости статической устойчивости шагающей машины.

Результаты моделирования

Для выполнения расчетов использовались исходные данные, соответствующие полноразмерной модели шагающей машины «Ортоног» с ортогонально-поворотными движителями [9]. Некоторые результаты моделирования для различных углов наклона опорной поверхности представлены на рис. 3–5. По оси абсцисс отложен угол поворота рассматриваемого движителя φ_3 , по оси ординат – его длина ρ_3 . Заполненные точки соответствуют положениям, обеспечивающим статическую устойчивость шагающей машины.

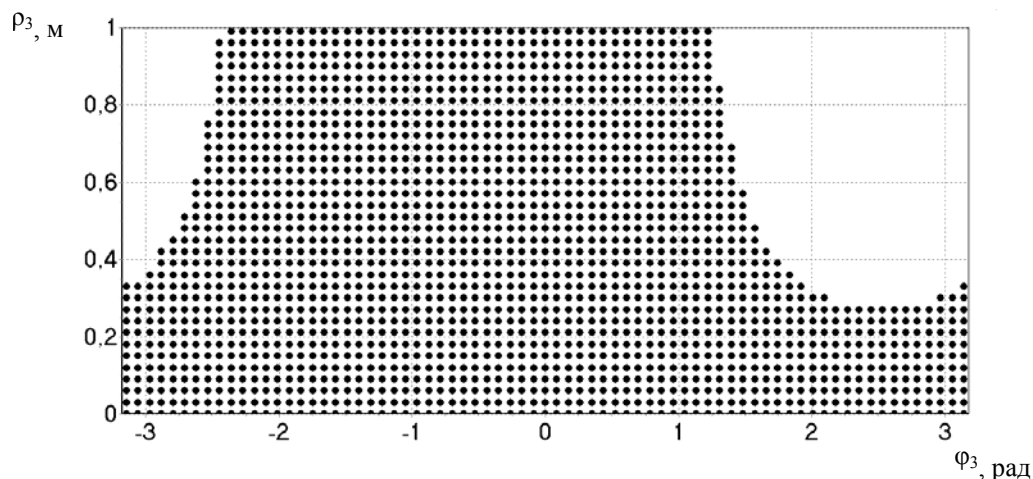


Рис. 3. Область допустимых положений шагающего движителя на горизонтальной поверхности

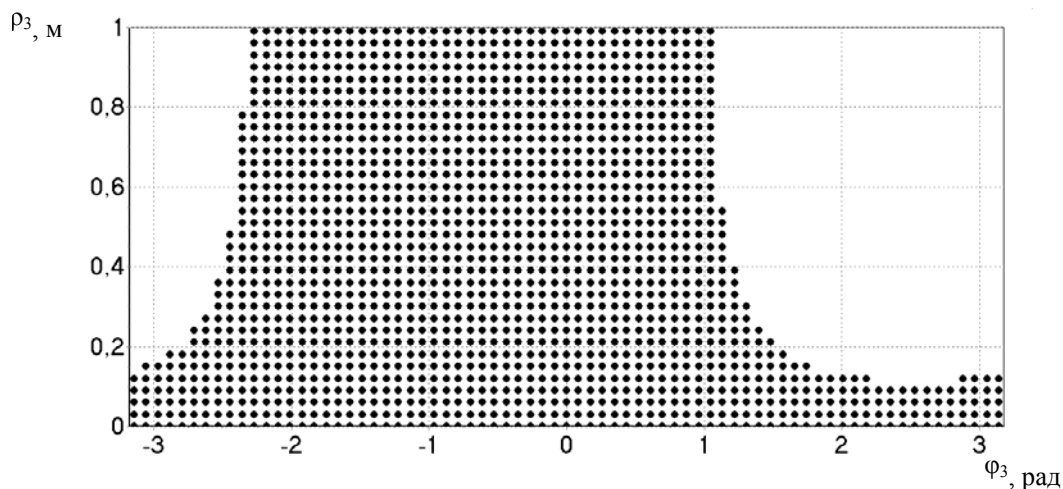


Рис. 4. Область допустимых положений шагающего движителя на подъеме 10 градусов

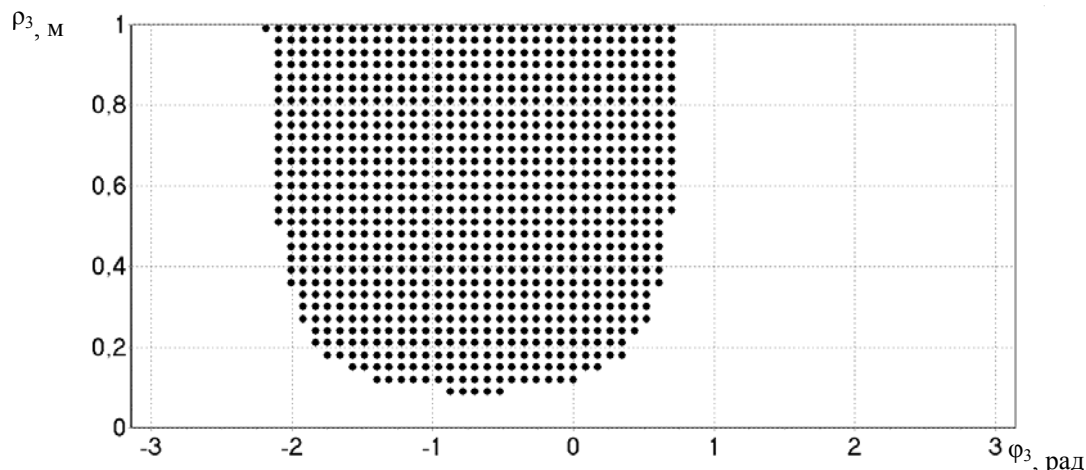


Рис. 5. Области допустимых положений шагающего движителя на подъеме 20 градусов

Разработанная методика предназначена для использования в системе управления шагающей машиной «Ортоног» в алгоритме управления движителями при выборе точек постановки их на грунт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охоцимский, Д. Е. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата / Д. Е. Охоцимский, Ю. Ф. Голубев. – М.: Наука, 1984. – 312 с.
2. Лапшин, В. В. Механика и управление движением шагающих машин / В. В. Лапшин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 199 с.
3. О статически устойчивой походке шагающей машины с тремя двоянными ортогонально-поворотными движителями / Е. С. Брискин, А. В. Малолетов, А. М. Колесов, В. А. Серов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 7. – С. 22–27.
4. Об управлении движением шагающей машины со двоянными ортогонально-поворотными движителями / Е. С. Брискин, И. П. Вершинина, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2014. – № 3. – С. 168–176.
5. Обработка методов удаленного управления движением шагающего робота «ортоног» / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов, В. А. Серов, К. Б. Мироненко, С. А. Устинов // Электротехнические системы и комплексы. – 2013. – № 21. – С. 153–160.
6. Леонард, А. В. Особенности движения шагающей машины с поворотным движителем, образованным двоянными механизмами шагания / А. В. Леонард, Е. С. Брискин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16. № 8 (111). – С. 86–91.
7. Шурыгин, В. А. Об управлении поворотом шагающих машин / В. А. Шурыгин, Е. С. Брискин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2014. – Т. 20. № 6 (133). – С. 21–23.
8. Об определении предельно допустимых нагрузок, действующих на ортогонально-поворотные движители / Е. С. Брискин, А. М. Колесов, А. В. Малолетов, В. А. Серов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2010. – № 9. – С. 19–23.
9. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1 (1). – С. 6–14.

УДК 629.1.03

И. П. Вершинина, Н. Г. Шаронов, В. А. Шурыгин КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОРТОГОНАЛЬНО-ПОВОРОТНОГО МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ*

Волгоградский государственный технический университет
dtm@vstu.ru

Применены методы анализа кинематических характеристик точек и тел плоских механизмов к выполнению расчетов при проектировании шагающих машин со двоянными ортогонально-поворотными движителями.

Ключевые слова: кинематика плоских механизмов, шагающая машина, двоянный ортогонально-поворотный движитель.

I. P. Vershinina, N. G. Sharonov, V. A. Shurygin KINEMATIC CALCULATION OF THE ORTHOGONAL ROTARY WALKING MECHANISM Volgograd State Technical University

Methods of analysis of kinematic characteristics of the planar mechanism's points and material bodies were applied for calculations at designing of walking machine with orthogonal rotary propellers.

Keywords: kinematics of planar mechanisms, walking machine, dual orthogonal rotary propeller.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-08-01002 а, 14-08-97041 р_поволжье_а, 15-41-02451.

В качестве движителей мобильных роботов находят применение механизмы шагания [1], особенностью которых является дискретный характер взаимодействия с опорной поверхностью. Существенные конструктивные различия существующих механизмов шагания приводят к необходимости разработки методики расчета кинематических характеристик точек и тел применяемого механизма шагания.

Шагающая машина «Ортоног» разрабатывалась в ВолгГТУ (Е. С. Брискин) как реконфигурируемый мобильный робот [2, 3], в котором движитель рассматривался как транспортный модуль [4, 5], обеспечивающий постоянный контакт с опорной поверхностью.

Сдвоенный ортогонально-поворотный движитель машины «Ортоног» (рис. 1) состоит из двух плоских ортогональных механизмов шагания, имеющих дополнительный привод поворота плоскостей шагания относительно корпуса машины. Особенность работы сдвоенного движителя заключается в том, что когда один из механизмов шагания находится в фазе переноса, второй механизм обеспечивает опору на грунт [6].

Конструкция сдвоенных ортогонально-поворотных движителей дает возможность разделить задачи определения программных законов управления приводами курсового движения и адаптации [7, 8]. Такой подход позволяет упростить построение и изучение математических моделей, сведя их к исследованию плоскопараллельных движений твердых тел, рассматри-

вая отдельно перемещения точек и тел движителя в проекциях на «горизонтальную» плоскость, соединяющую точки крепления движителей к корпусу машины, и перпендикулярную ей «вертикальную».

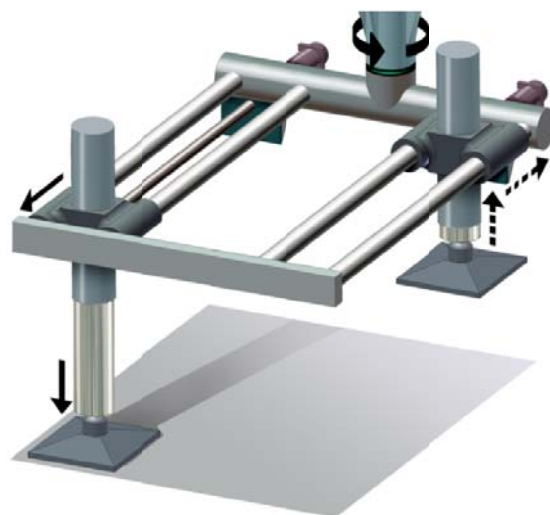


Рис. 1. Сдвоенный ортогонально-поворотный движитель шагающей машины «Ортоног»

Таким образом, при расчете кинематики движителей шагающей машины рассматривается плоско-параллельное движение системы твердых тел (рис. 2), состоящих из корпуса и шарнирно соединенных с ним стержней переменной длины, вращающихся относительно неподвижных точек, положение которых меняется при перестановке опор.

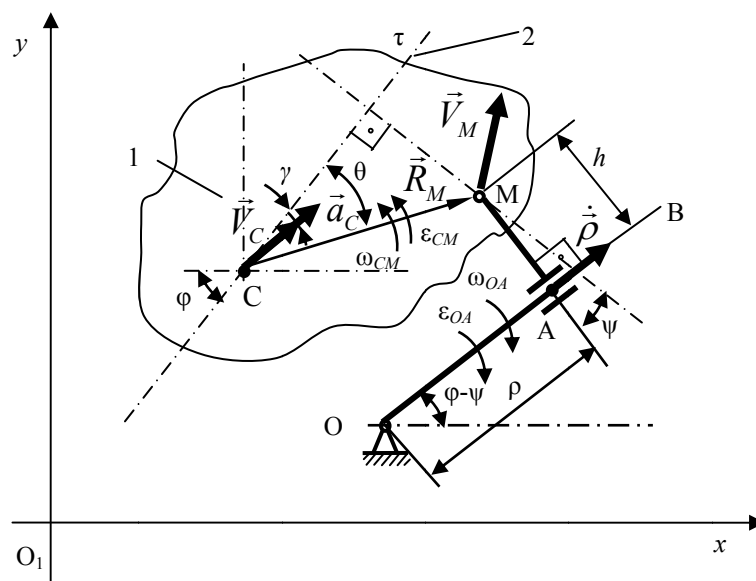


Рис. 2. Расчетная схема плоского движения корпуса и одного из находящихся в опоре шагающих механизмов:

1 – корпус шагающей машины; 2 – продольная ось корпуса шагающей машины

Приведенная математическая модель кинематики движения корпуса шагающей машины и движителя шагающей машины в плоскости движения корпуса не учитывает движение привода вертикального перемещения. Движение привода вертикального перемещения может быть задано в виде программного закона управления приводом адаптации [7].

Плоское движение корпуса шагающей машины в плоскости O_1xy (рис. 2) задается скоростью $\vec{V}_C$ и ускорением $\vec{a}_C$ полюса (например, центра масс C), а также угловой скоростью ω_{CM} и угловым ускорением ε_{CM} вращательного движения вокруг полюса. Положение точки M крепления движителя на корпусе шагающей машины задается радиус-вектором $\vec{R}_M$ относительно полюса C , составляющего угол θ с продольной осью машины. OB – ось привода продольного перемещения находящегося в опоре механизма шагания сдвоенного ортогонально-поворотного движителя; $AM = h = \text{const}$ – длина рычага крепления механизма шагания; ψ – угол поворота движителя; ρ – линейное перемещение, обусловленное работой привода курсового движения механизма шагания, взаимодействующего с грунтом; γ – угол между вектором скорости и продольной осью корпуса шагающей машины.

Скорость и ускорение точки подвеса M одного из движителей к корпусу определяются выражениями:

$$\vec{V}_M = \vec{V}_C + \vec{V}_{CM}, \quad \vec{a}_M = \vec{a}_C + \vec{a}_{CM},$$

где $\vec{V}_{CM} = \vec{\omega}_{CM} \times \vec{R}_M$; $\vec{a}_{CM} = \vec{a}_{CM}^{ep} + \vec{a}_{CM}^u$,
 $\vec{a}_{CM}^{ep} = \vec{\varepsilon}_{CM} \times \vec{R}_M$, $\vec{a}_{CM}^u = \vec{\omega}_{CM} \times \vec{V}_{CM}$.

Скорость и ускорение точки A рычага AM определяются выражениями (в качестве полюса принимаем точку M):

$$\vec{V}_A = \vec{V}_M + \vec{V}_{AM}, \quad \vec{a}_A = \vec{a}_M + \vec{a}_{AM} = \vec{a}_M + \vec{a}_{AM}^{ep} + \vec{a}_{AM}^u,$$

где $V_{AM} = \omega_{AM} \cdot AM$; $a_{AM}^{ep} = \varepsilon_{AM} \cdot AM$;
 $a_{AM}^u = \omega_{AM}^2 \cdot AM$.

С другой стороны, точка A совершает сложное движение, так как принадлежит одновременно и приводу линейного перемещения и кривошипу OA . Поэтому скорость точки A $\vec{V}_A$ складывается из относительной $\vec{V}_{Ar}$ и переносной $\vec{V}_{Ae}$ скоростей:

$$\vec{V}_A = \vec{V}_{Ar} + \vec{V}_{Ae},$$

где $V_{Ar} = \dot{\rho}$; $V_{Ae} = \omega_{OA} \cdot OA$.

Ускорение точки A $\vec{a}_A$ складывается из относительного $\vec{a}_{Ar}$, переносного $\vec{a}_{Ae}$ и кориолисова $\vec{a}_{Acor}$ ускорений:

$$\vec{a}_A = \vec{a}_{Ar} + \vec{a}_{Ae} + \vec{a}_{Acor} = \vec{a}_{Ar} + \vec{a}_{Ae}^{ep} + \vec{a}_{Ae}^u + \vec{a}_{Acor},$$

где $a_{Ar} = \ddot{\rho}$; $a_{Ae}^{ep} = \varepsilon_{OA} \cdot OA$; $a_{Ae}^u = \omega_{OA}^2 \cdot OA$;
 $a_{Acor} = 2 \cdot |\omega_{OA}| \cdot |V_{Ar}| \cdot \sin(\vec{\omega}_{OA}, \vec{V}_{Ar})$.

Приведенная методика расчета кинематических характеристик ортогонально-поворотного механизма шагания позволяет при совместном решении уравнений кинематики всех движителей [9] определить по требуемым программным законам плоского движения корпуса машины программные законы для скоростей и ускорений привода курсового движения и привода поворота.

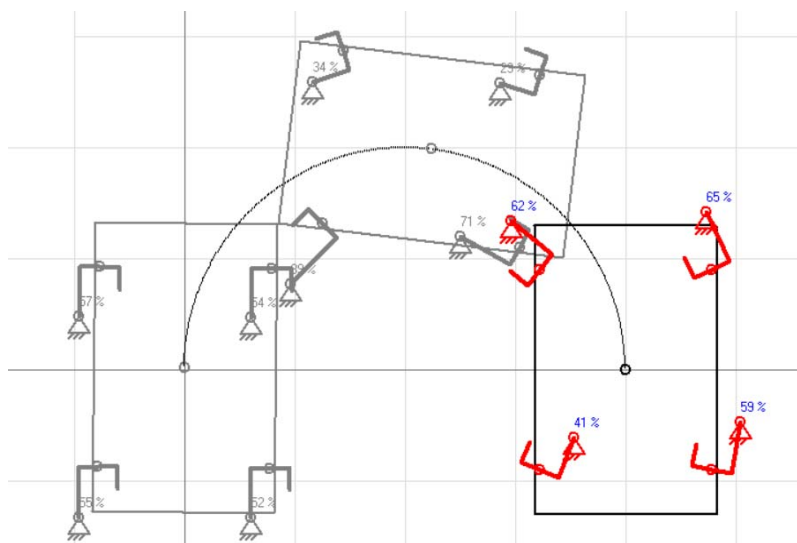


Рис. 3. Заданное программное движение корпуса машины

На рис. 3–7 приведен тестовый пример определения кинематических характеристик механизма шагания одного из ортогонально-поворотных движителей машины «Ортоног» при значениях $V_{ст} = 0,2$ м/с; $\omega = -0,1$ рад/с. Расчет

произведен в специализированной программе имитационного моделирования движения машины «Ортоног» [9], разработанной с учетом приведенного расчета механизма шагания.

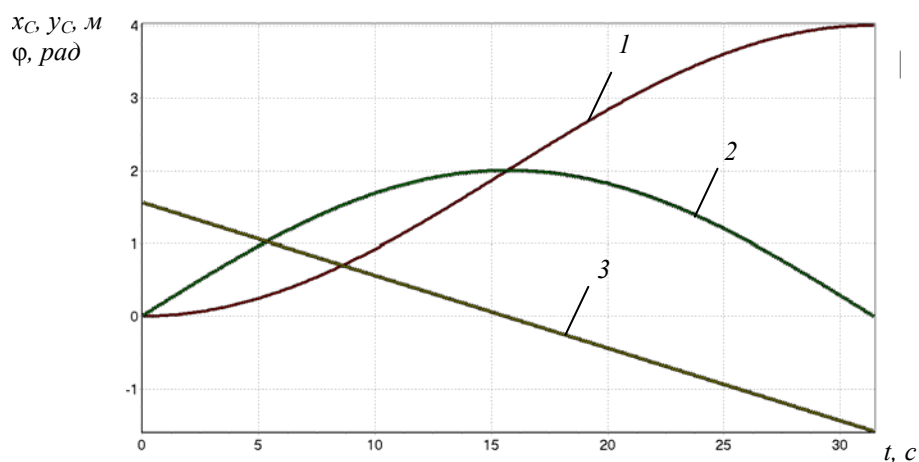


Рис. 4. Изменение координат полюса (точка C) по оси x (1), y (2) и угла поворота корпуса машины (3)

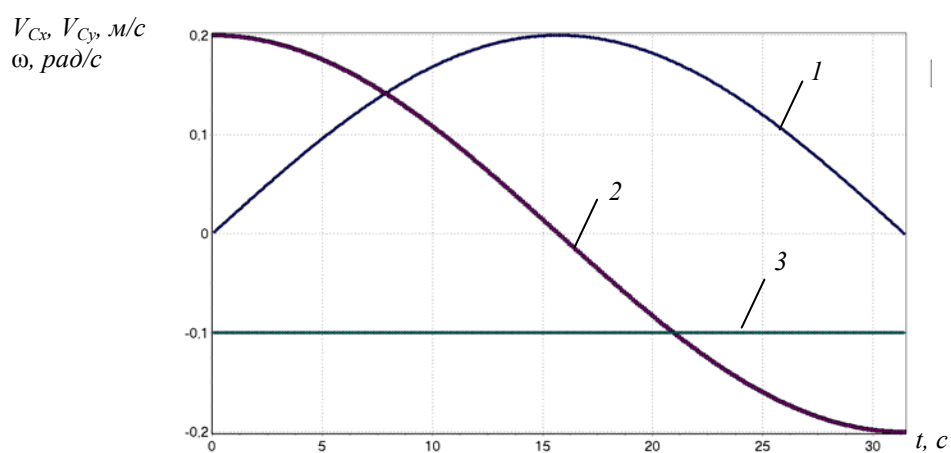


Рис. 5. Изменение проекций скорости полюса (точка C) на оси x (1), y (2) и угловой скорости поворота корпуса машины (3)

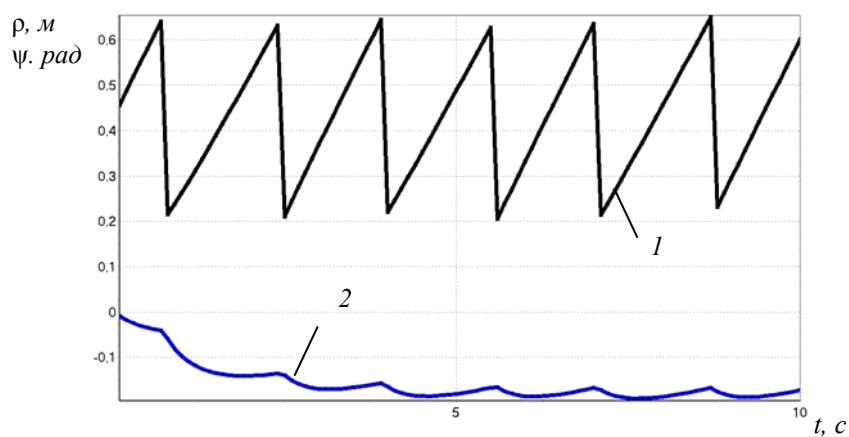


Рис. 6. Изменение длины привода курсового движения (1) и угла поворота привода поворота (2)

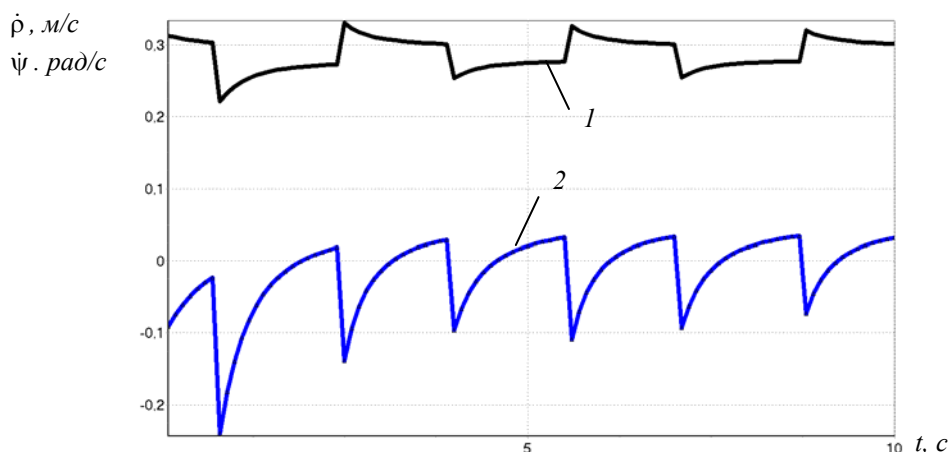


Рис. 7. Изменение скорости привода курсового движения (1) и угловой скорости привода поворота (2)

Предложенный метод расчета позволяет определить программные законы работы приводов модульной шагающей машины со сдвоенными ортогонально-поворотными движителями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О статически устойчивой походке шагающей машины с тремя сдвоенными ортогонально-поворотными движителями / Е. С. Брискин [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 7. – С. 22–27.
2. Шурыгин, В. А. Моделирование движения шагающей машины с ортогонально-поворотными движителями / В. А. Шурыгин, В. А. Серов, Н. Г. Шаронов // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 11 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 9. – С. 41–44.
3. Брискин, Е. С. Реконфигурируемый транспортный комплекс со сдвоенными шагающими движителями / Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов, С. С. Фоменко // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 19 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 24 (127). – С. 10–15.
4. Брискин, Е. С. Управление движением группы шагающих машин при перемещении моногруза / Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов // Искусственный интеллект. – 2007. – № 4. – С. 408–415.
5. Шаронов, Н. Г. Методы расчета системы приводов шагающих движителей многоопорных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Г. Шаронов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – 160 с.
6. Брискин, Е. С. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1. – С. 6–14.
7. Об управлении движением шагающей машины со сдвоенными ортогонально-поворотными движителями / Е. С. Брискин, И. П. Вершинина, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2014. – № 3. – С. 168–176.
8. Методика расчета энергетически оптимальных модулей линейного перемещения / В. В. Жога, В. В. Чернышев, П. В. Федченков, И. П. Вершинина // Справочник. Инженерный журнал. – 2012. – № 11. – С. 34–38.
9. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013614123. Автоматизированная система определения параметров программного и супервизорного управления шагающей машиной со сдвоенными ортогонально-поворотными движителями / А. В. Малолетов [и др.]. – 2013.

УДК 004.3:681.5

*В. В. Жога, В. Н. Скакунов, С. Е. Терехов***АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ
ШАГАЮЩЕГО РОБОТА*****Волгоградский государственный технический университет**

zhoga@vstu.ru, svn@vstu.ru

Рассматриваются вопросы построения системы управления электроприводом вертикальных опорных стоек шагающих роботов. Разработан типовой модуль управления, включающий развитую сенсорную систему. Для повышения точности ультразвуковых и инфракрасных датчиков расстояний программно реализованы различные способы цифровой фильтрации. Приводятся результаты экспериментальных исследований сенсорной системы и алгоритмов управления электроприводом в реальных условиях.

Ключевые слова: шагающий робот, электропривод, система управления, сенсоры.

*V. V. Zhoga, V. N. Skakunov, S. E. Terekhov***ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC DRIVER WALKING ROBOT****Volgograd State Technical University**

Questions of construction of electric drive control system of vertical support links of walking machines. The developed model control module includes a well-developed of sensory systems. To improve the accuracy of ultrasound and infrared distance sensors and software implemented in various ways digital filtering. The results of experimental studies of the sensory system and electric control algorithms in real conditions.

Keywords: walking robot, electric drive, control system, sensors.

Введение

Основные преимущества шагающих роботов, по сравнению с робототехническими комплексами с колесным и гусеничным движителями, заключаются в более высокой проходимости и маневренности при выполнении технологических операций на пересеченной местности. В то же время сложность решения проблем управления перемещением роботов ограничивает их применение.

На кафедре теоретической механики ВолгГТУ разработан и изготовлен действующий макет восьминогого шагающего робота с ортогональными движителями [1]. Особенностью конструкции разработанного робота является совмещение несущей рамы робота с исполнительными приводами, т. е. фактически кинематическая схема робота представляет собой механизм параллельной структуры. Такая схема позволяет снизить металлоемкость, повысить грузоподъемность, обеспечить достаточно высокие динамические характеристики и упростить исполнительную часть манипулятора [2, 3].

Актуальной задачей при функционировании робота с ортогональными шагающими движителями в автономном режиме является повышение достоверности данных сенсорной системы локального позиционирования вертикаль-

ного опорного звена (вертикальных стоек) механизма шагания при движении по пересеченной местности.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований сенсорной системы, обеспечивающей адаптацию опорной стойки робота к неровностям несущей поверхности. В предложенной структуре модуля датчики позволяют получать в реальном масштабе времени информацию о состоянии робота и среде передвижения. На основе полученной информации разрабатываются процедуры принятия решений и алгоритмы программных движений.

На опорных звеньях робота смонтированы приводы вертикальных стоек, в качестве которых используются актуаторы CAT33Hx400x4AG1F производства шведской компании «SKF Group». Питание робота осуществляется от аккумуляторных батарей общей емкостью 55 А/ч; напряжение силовой цепи 24 В.

**Сенсорная система управления приводами
вертикальных стоек робота**

Способ перемещения шагающего робота с ортогональными движителями реализован с помощью линейных электрических двигателей постоянного тока – актуаторов. Актуаторы CAT33Hx400x4AG1F содержат встроенные двухканальные энкодеры, что позволяет определять не только скорость, но и направление перемещения штока. Энкодеры, генерирующие

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-01-4577.

стандартный цифровой сигнал, совместно с сенсорными датчиками являются основными источниками информационных параметров при регулировании скорости и позиционировании линейного привода.

Система управления актуаторами вертикальных опорных стоек построена на основе отладочной платы STM32F4Discovery. Установленный на плате 32-разрядный контроллер STM32F407VGT6 имеет архитектуру ARM Cortex-M4F с поддержкой функций DSP и модулем FPU для вычислений с плавающей запятой, достаточно большие вычислительные ресурсы и развитый физический интерфейс. В систему управления включены датчики расстояний двух типов: ИК-датчик GP2Y0A21YK0F и ультразвуковой дальномер HC-SR04. Кроме того, система содержит датчик тока ACS712, предназначенный для контроля тока потребления электропривода. Датчик включен в разрыв цепи усиленного ШИМ-сигнала (УШИМ) на выходе

мостового усилителя мощности на интегральной схеме VN3SP30.

Структурная схема модуля управления приводами вертикальных стоек шагающего робота приведена на рис. 1. В системе управления функции датчика положения актуатора выполняют сигналы обратной связи встроенного энкодера. Скорость перемещения и текущее положение штока стойки вычисляются контроллером по данным энкодера подсчетом количества импульсов из двух каналов за фиксированные интервалы времени. Датчик тока и ИК-дальномер имеют аналоговый выход и подключены к входам мультимплексора АЦП контроллера, а ультразвуковой дальномер – цифровой выход, занимающий одну из линий GPIO порта контроллера.

Одна из основных задач системы управления приводом состоит в контроле и управлении скоростью движения штока вертикальной стойки на этапе торможения до касания с несущей поверхностью для плавной остановки двигателя.

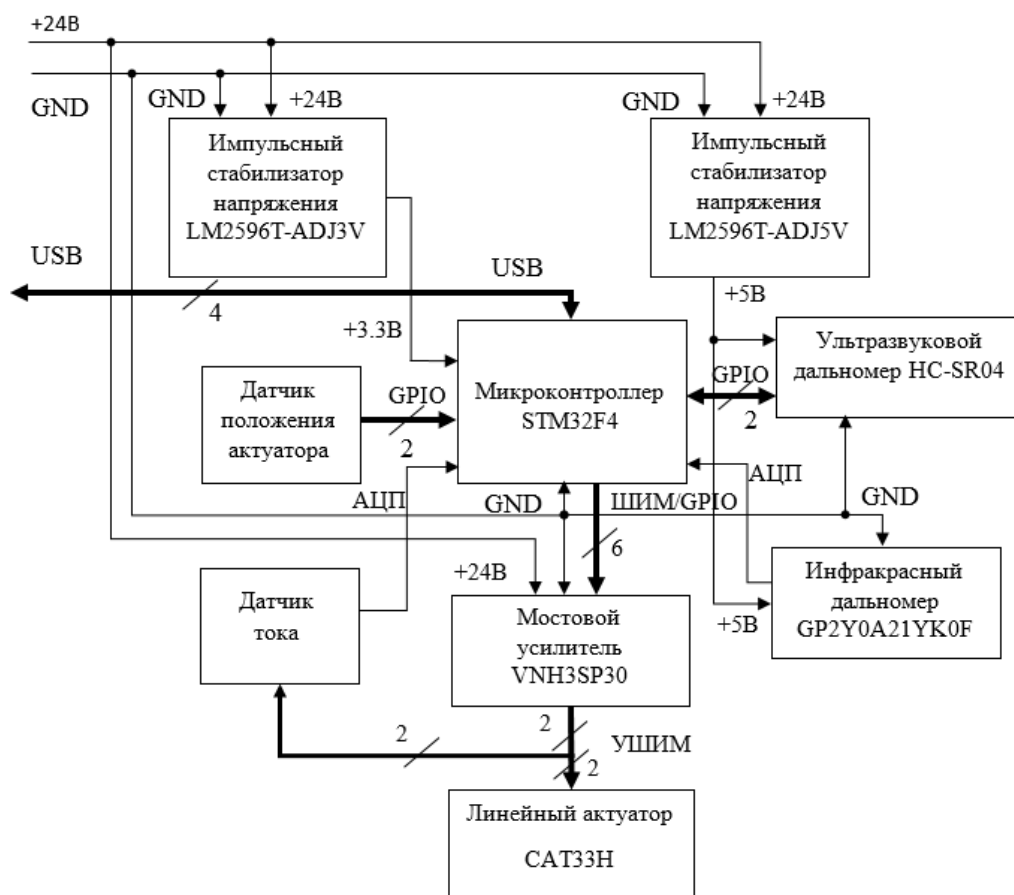


Рис. 1. Структурная схема модуля управления приводами робота

В работе [4] приведены условия, определяющие момент начала торможения линейного двигателя при приближении к опорной поверх-

ности. Основное правило, по которому выбирается линейное или ступенчатое изменение скорости движения, зависит от точности измерения

расстояния до поверхности. С этой целью проведены экспериментальные исследования ряда наиболее распространенных ИК- и ультразвуковых дальномеров. С учетом габаритных размеров робота, длины хода вертикальной стойки и скорости ее перемещения лучшими характеристиками обладают приведенные ранее типы датчиков: ИК-датчик GP2Y0A21YK0F и ультразвуковой дальномер HC-RS04. Точность показаний датчиков оценивалась при сравнении с физическими измерениями расстояний. Для уменьшения влияния шумов данные от ИК-датчика обрабатывались с помощью фильтров скользящего среднего, медианного и фильтра Гаусса. На рис. 2 кривая 1 представляет истинную характеристику, полученную путем физических измерений. Кривая 2 представляет усредненные значения экспериментальных данных, обработанных при

цифровой фильтрации и различающихся в зависимости от типа фильтра на (0,5–1) %. Расхождение обработанных данных в этом случае не имеет принципиального значения, поэтому зависимости представлены общей аппроксимирующей линией. В большей части диапазона измерений расстояний относительная погрешность не превышала (1–2) % по отношению к истинной характеристике. Только на малых расстояниях погрешность приближалась к (3–4) %. На рис. 2 кривая 3 представляет заявленную производителем характеристику.

Более высокую точность обеспечивает ультразвуковой датчик. Погрешность при приближении к нижней границе измерений не более (0,5–1) %. Дополнительное преимущество дает больший диапазон измерений и стабильность показаний датчика.

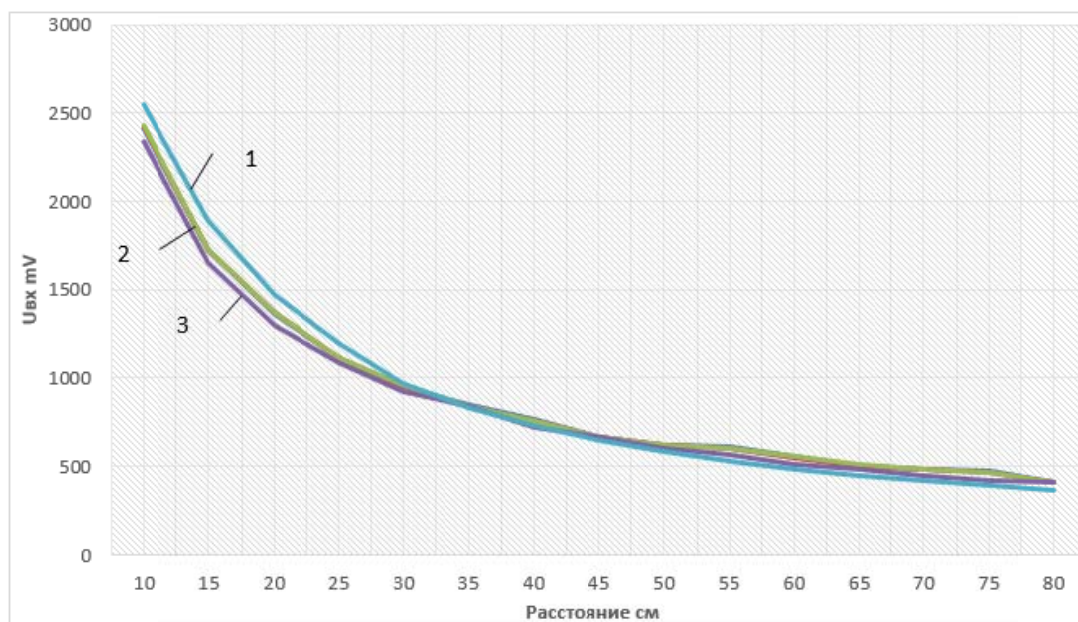


Рис. 2. Графики зависимости выходного напряжения от расстояния до отражающего объекта для ИК-датчика GP2Y0A21YK0F:

1 – истинная характеристика; 2 – экспериментальные показания; 3 – заявленная производителем характеристика

Однако оба типа датчиков имеют «слепую» зону: ИК-датчик – 10 см, ультразвуковой – 2 см. Поэтому их показания необходимы только для определения момента начала снижения скорости. Момент выключения двигателей зависит от показаний датчика тока. Как видно из кривой 1 (рис. 3), ток резко возрастает при увеличении нагрузки. Расстояние до несущей поверхности от опорной пяты равнялось 17 см. Учитывая, что механический амортизатор опорной пяты имеет ход 1 см, даже при максимальной скорости движе-

ния опоры (17,4 см/с) можно предотвратить жесткое касание с поверхностью. На рис. 3 кривая 2 представляет зависимость тока привода в режиме холостого хода при свободном выдвигании штока активатора без нагрузки. Резкое возрастание тока вызвано достижением крайнего положения штока актуатора. Оба случая существенного превышения тока уровней значений в стационарном режиме приводят к остановке двигателей – система управления снимает ШИМ-сигналы на входах мостового усилителя.

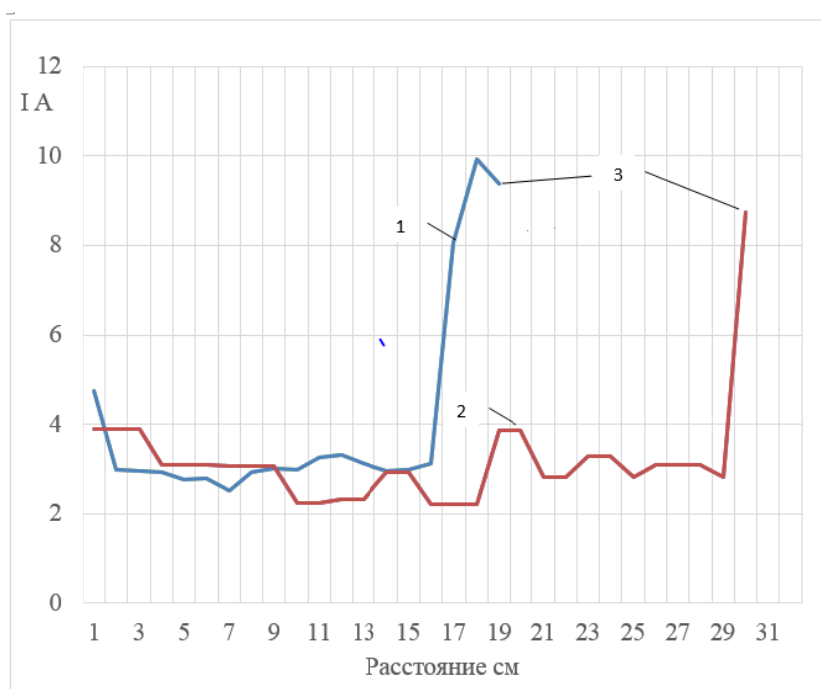


Рис. 3. Характеристики датчика тока:

1 – сила трения около 150 Н, несущая поверхность на расстоянии 17 см от пятки опоры;
 2 – режим холостого хода; 3 – точки выключения электропривода

Заключение

В предложенной системе управления вертикальным опорным звеном шагающего робота измерительная информация от встроенного набора датчиков на инфракрасных, ультразвуковых датчиках и датчика тока позволяет реализовать различные алгоритмы управления электроприводом на этапе торможения с целью адаптации робота к неровностям несущей поверхности. Проведенные экспериментальные исследования показали, что система управления приводами позволяет избежать критичных режимов для линейных актуаторов: перегрузок по току, механических разрушений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2476372 РФ, МПК В66С23/36, В60Р3/00. Аварийно-спасательная машина / В. В. Жога, В. Н. Скакунов, А. В. Еременко, П. В. Федченков, В. М. Герасун, И. А. Несмиянов, В. В. Дяшкин-Титов; ВолгГТУ. – 2013.
2. Walking Mobile Robot with Manipulator-Tripod / В. В. Жога, Ан. Е. Гаврилов, В. М. Герасун, И. А. Несмия-

нов, В. Е. Павловский, В. Н. Скакунов, В. С. Богатырев, Д. В. Голубев, В. В. Дяшкин-Титов, Н. С. Воробьева // Advances on theory and practice of robots and manipulators : proceedings of ROMANSY 2014 XX CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators (Moscow, 23-26 June 2014) / ed. by Marco Ceccarelli, V.A. Glazunov ; Bauman Moscow State Technical University [etc.]. – [Switzerland] : Springer International Publishing, 2014. – P. 463–471. – (Mechanisms and Machine Science ; Vol. 22).

3. The Control System of the Eight-Legged Mobile Walking Robot / А. Е. Андреев, В. В. Жога, В. А. Серов, В. Н. Скакунов // Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17–20, 2014) / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Tadashi Iijima ; Volgograd State Technical University [etc.]. – [Б/м] : Springer International Publishing, 2014. – P. 383–392. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).

4. Система управления электроприводом шагающего робота с ортогональными движителями / В. В. Жога, Р. В. Анисков, А. А. Меркулов, В. Н. Скакунов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 21 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 12 (139). – С. 157–162.

УДК 629.1.03

*Д. Н. Покровский, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов, Я. В. Калинин***ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ
ПРИ УДАЛЕННОМ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ*****Волгоградский государственный технический университет**

dtm@vstu.ru

В статье описывается автономная видеосистема определения относительного положения локальных препятствий в полосе движения шагающей машины «Восьминог». Представлены результаты экспериментальной проверки работоспособности системы.

Ключевые слова: техническое зрение, шагающая машина.

*D. N. Pokrovsky, A. V. Maloletov, N. G. Sharonov, Y. V. Kalinin***DETERMINING THE RELATIVE POSITION OF THE LOCAL OBSTACLES
FOR REMOTE MOTION CONTROL WALKING MACHINE****Volgograd State Technical University**

The autonomous videosystem of positioning of local obstacles in the movement zone of walking machine «Vosminog» have been described in the offered article. The results of experimental checking of system efficiency are presented.

Keywords: computer vision, walking machine.

При управлении мобильным роботом задача определения положения может быть решена с помощью видеокамер, связанных с вычислительным устройством [1]. Опыт управления шагающей машиной [2, 3] показывает, что вследствие периодических отклонений машины от курса необходимо обеспечивать точность определения местоположения машины в рабочем пространстве. К тому же, так как шагающие машины разрабатываются для перемещения

по неорганизованной поверхности, при разработке алгоритмов управления движением необходимо знать положение машины на местности или положение ориентиров относительно машины [4]. Для этого шагающая машина «Восьминог» (рис. 1) оснащена бортовой видеосистемой, состоящей из двух видеокамер и компьютера, проведены экспериментальные исследования для оценки работоспособности системы.

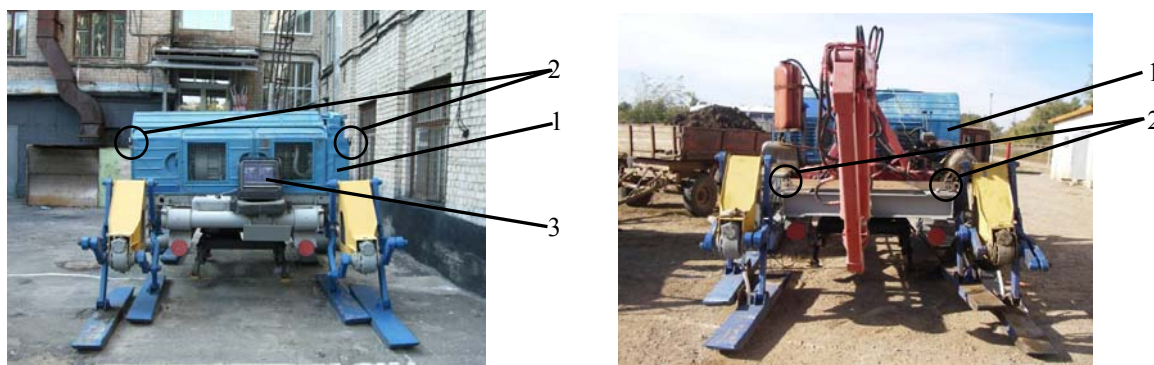


Рис. 1. Расположение бортовой видеосистемы на шагающей машине «Восьминог»:
1 – шагающая машина; 2 – web-камеры; 3 – место водителя-оператора

На рис. 2 представлена схема измерения расстояния с помощью двух параллельных камер. Через объект (обозначенный на схеме буквой X), перпендикулярно оптическим осям камер, проводится условная плоскость – плоскость кадра. Через β_1 и β_2 обозначаются углы, под которыми виден объект каждой из камер;

α_1 и α_2 – половины углов зрения камер, H_1 и H_2 – половины ширины кадров. Полагая, что камеры одинаковые, далее можно использовать обозначения $\alpha/2 = \alpha_1 = \alpha_2$ и $H = H_1 = H_2$. Размеры a и b обозначают соответственно расстояние от центра машины до камер и расстояние между камерами. Предметом определения является расстояние от центра машины до объекта – длина отрезка OX и угол φ , определяющий направле-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (14-08-97041 p_поволжье_a, 14-08-01002 а, 14-01-00655 а).

ние на объект. Обозначив через S расстояние от камер до плоскости снятого кадра (отрезки A_1B_1 , A_2B_2 или CO_1), получим:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{H}{S}. \quad (1)$$

Из ΔA_1B_1X и ΔA_2B_2X , с учетом (1), имеем:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{H-h_1}{H} \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad \operatorname{tg}\beta_2 = \frac{H-h_2}{H} \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (2)$$

где h_1 и h_2 – смещение объекта относительно края фотографий, полученных с разных камер. С учетом обозначений $A_1A_2 = b$, $A_1X = S / \cos\beta_1$, $A_2X = S / \cos\beta_2$, $\angle A_1XA_2 = \beta_2 - \beta_1$, получается:

$$S = b \sqrt{\frac{\cos^2\beta_1 \cdot \cos^2\beta_2}{\cos^2\beta_1 + \cos^2\beta_2 - 2 \cdot \cos\beta_1 \cdot \cos\beta_2 \cdot \cos(\beta_2 - \beta_1)}}. \quad (3)$$

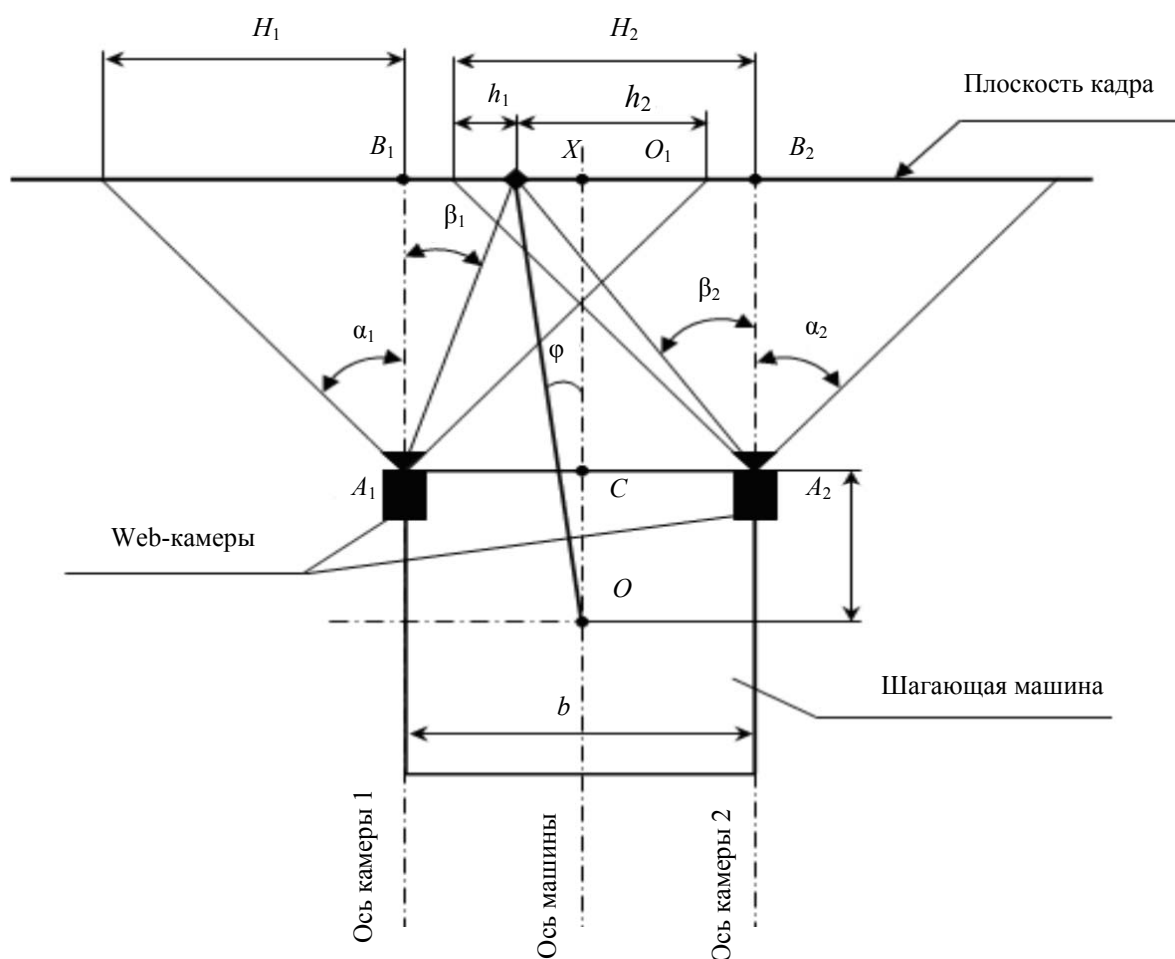


Рис. 2. Схема измерений (оптические оси камер параллельны оси машины)

Расстояние L до объекта относительно геометрического центра машины (точка O):

$$L = \sqrt{(a+S)^2 + \left(\frac{b}{2} + S \cdot \operatorname{tg}\beta_1\right)^2}. \quad (4)$$

Угол φ между горизонтальной осью симметрии машины и направлением на объект X :

$$\varphi = \arccos\left(\frac{a+S}{L}\right). \quad (5)$$

Следует отметить, что на практике сложно добиться параллельности осей камер, и даже небольшая непараллельность может привести к значительным ошибкам. Для того чтобы не обеспечивать параллельность оптических осей камер оси машины, в расчетах можно учесть углы рассогласования между осями камер и осью машины, которые определяются при предварительной калибровке видеосистемы. В этом случае схема измерений расстояния до

объектов и углов между горизонтальной осью симметрии машины и объектами представлена на рис. 3. Обозначив через γ_1 и γ_2 углы откло-

нения оптических осей камер от оси машины, с учетом формул (1–3) и того, что $\angle A_1 X A_2 = \beta_2 - \beta_1 - \gamma_1 - \gamma_2$, получим:

$$S = b \sqrt{\frac{\cos^2 \beta_1 \cdot \cos^2 \beta_2}{\cos^2 \beta_1 + \cos^2 \beta_2 - 2 \cdot \cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot \cos(\beta_2 - \beta_1 - \gamma_1 - \gamma_2)}}. \quad (6)$$

Для определения расстояния L до объекта относительно геометрического центра машины (точка O) получаем:

$$L = \sqrt{\left(\frac{S}{\cos \beta_1}\right)^2 + a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 - \frac{2S}{\cos \beta_1} \left(\sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \cos\left(\frac{\pi}{2} - (\beta_1 - \gamma_1) + \arctg\left(\frac{2a}{b}\right)\right)\right)}. \quad (7)$$

Угол φ в этом случае определяется по формуле

$$\varphi = \arctg\left(\frac{b}{2a}\right) - \arccos\left(\frac{a^2 + (b/2)^2 + L^2 - (S/\cos \beta_1)^2}{2a^2 L + b^2 L/2}\right). \quad (8)$$

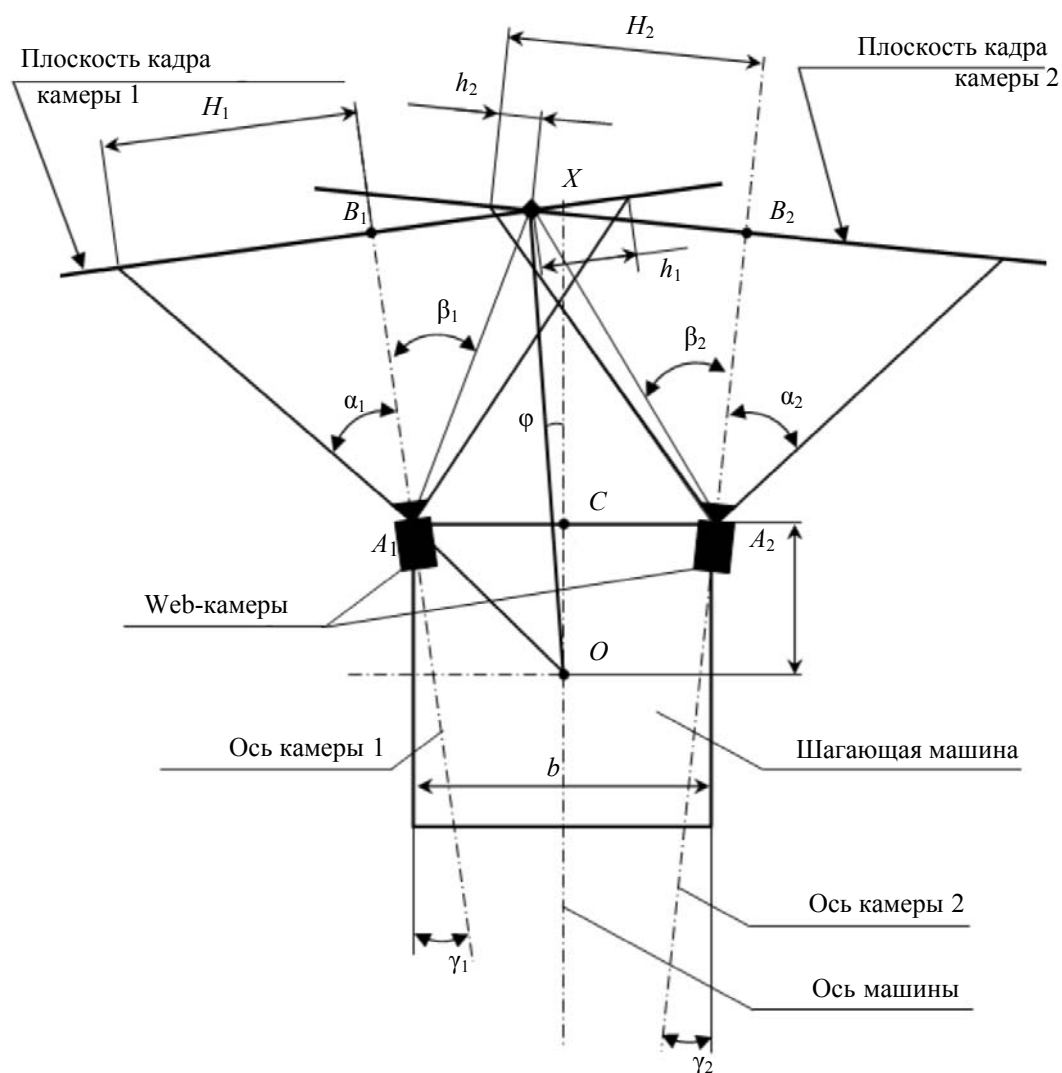


Рис. 3. Схема измерений (оптические оси камер не параллельны оси машины)

Таким образом, установив видеокамеры и сфотографировав объекты (ориентиры), расстояние L до которых известно, определяем h_1 и h_2 – смещение объекта относительно края фотографий, полученных с разных камер. Зная

технические характеристики камер (например, $H_1 = H_2 = H = 320$ пикселей; $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha / 2 = 18^\circ$) и расстояние между камерами b , с помощью системы (9) можем определить γ_1 и γ_2 .

$$\begin{cases} S = b \sqrt{\frac{\cos^2 \beta_1 \cdot \cos^2 \beta_2}{\cos^2 \beta_1 + \cos^2 \beta_2 - 2 \cdot \cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot \cos(\beta_2 - \beta_1 - \gamma_1 - \gamma_2)}}, \\ \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta_1 + \gamma_1\right) = \frac{(b/2)^2 + (S/\cos \beta_1)^2 - L^2}{bS/\cos \beta_1}, \\ \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta_2 + \gamma_2\right) = \frac{(b/2)^2 + (S/\cos \beta_2)^2 - L^2}{bS/\cos \beta_2}. \end{cases} \quad (9)$$

При программной реализации алгоритма вычисления параметров S , L и φ следует учесть знаки углов β_1 , β_2 , γ_1 и γ_2 .

Целью применения бортовой видеосистемы являлось определение координат неподвижных объектов (ориентиров) относительно шагающей машины, вычисление расстояния до них и углов между продольной осью симметрии машины и объектами. В качестве естественных ориентиров использовались контрастные, легко распознаваемые предметы, имеющие характерные очертания (столбы, деревья, отдельно стоящие строения и др.). Измерения проводились через дискретные интервалы времени с изменением местоположения машины. Полученные кадры сохранялись в буфере левой и правой камер с возможностью считывания для последующей обработки. Для обработки изображений разра-

ботано программное обеспечение, позволяющее в полуавтоматическом режиме определять необходимые параметры ориентиров относительно шагающей машины и выводить полученную информацию на монитор.

Экспериментальные исследования проводились в условиях реальной местности. На испытательном полигоне [5] было выбрано несколько условных ориентиров (рис. 4). До начала движения выбран «главный» ориентир и произведен программный замер расстояния до этого ориентира и угол между горизонтальной осью симметрии машины и ориентиром. В процессе движения измеряются координаты главного ориентира через дискретные интервалы времени равные 30 с. Программа автоматически рассчитывает расстояние до ориентира и угол между горизонтальной осью симметрии машины и ориентиром.

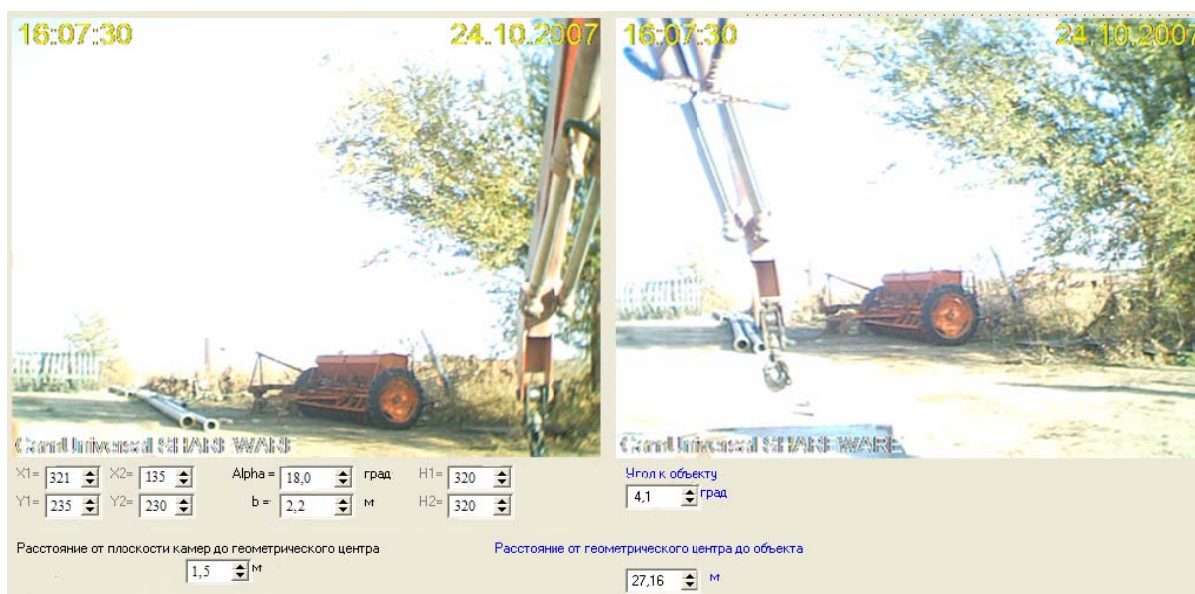


Рис. 4. Интерфейс программы оператора при движении машины

На основании этих данных проводилась корректировка движения шагающей машины [6]. В виде окна интерфейса программы (рис. 4) представлено одно из положений шагающей машины при ее движении к «главному» ориентиру. Предложенный метод нашел применение в системе технического зрения шагающей машины «Ортоног» [7, 8].

Проведенные испытания [8] подтвердили возможность эффективного определения координат неподвижных объектов по показаниям двух бортовых видеокамер. Одна из проблем, которая возникает при решении этой задачи – необходимость предварительной калибровки видеосистемы (обеспечение параллельности осей камер и оси шагающей машины или определение рассогласования между осями камер и осью машины).

При откалиброванной видеосистеме абсолютная погрешность определения угла на объект в экспериментах составила $0,26^\circ$, что близко к теоретической минимальной погрешности $0,22^\circ$. Относительная погрешность определения дальности до объекта составила не более 2 % на расстояниях от 1 до 7 м, не более 4 % – на расстояниях от 7 до 10 м, не более 6 % – на расстояниях от 10 до 15 м. Таким образом, приближение к ориентиру позволяет точнее идентифицировать локальные препятствия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование 3D-моделирования в интерфейсе системы интеллектуального управления мобильным робо-

том / О. Н. Сухоручкина [и др.]. – Мобильные роботы и мехатронные системы : Материалы научной школы-конференции. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – С. 219–232.

2. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч.3. Алгоритмы управления движением шагающих машин серии «Восьминог» и экспериментальные исследования / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, В. В. Жога, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов, Н. Е. Фролова // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 7. – С. 13–18.

3. Мобильный робототехнический комплекс для гуманитарного разминирования / Е. С. Брискин, В. В. Жога, Д. Н. Покровский, В. А. Шурыгин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – № 3. – С. 28–7.

4. Шаронов, Н. Г. Синтез алгоритма управления движением шагающей машины «Восьминог» в зависимости от параметров локального препятствия / Н. Г. Шаронов // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 9 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – № 11. – С. 35–40.

5. Брискин, Е. С. Отработка методов повышения точности автономного движения шагающих роботов в условиях реальной местности с искусственными ориентирами / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 671–676.

6. Выбор алгоритма управления автономным движением шагающей машины с цикловыми движителями / Е. С. Брискин, В. В. Жога, А. В. Малолетов, Д. Н. Покровский, Н. Г. Шаронов, В. А. Шурыгин // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3. – С. 357–366.

7. Отработка методов удаленного управления движением шагающего робота «Ортоног» / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов, В. А. Серов, К. Б. Мироненко, С. А. Устинов // Электротехнические системы и комплексы. – Магнитогорск, 2013. – № 21. – С. 153–160.

8. Отработка методов нечеткого управления шагающим роботом «Ортоног» в полевых условиях / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, Н. Г. Шаронов, В. А. Серов, К. Б. Мироненко, С. А. Устинов // Исследования наукограда. – 2013. – № 2. – С. 43–48.

Редактор
Л. Н. Рыжих

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00
E-mail: president@vstu.ru

Темплан 2015 г. Поз. № 83ж. Подписано в печать 15.05.2015 г. Формат 60 x 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,86. Уч.-изд. л. 23,27.

Тираж 80 экз. Заказ №

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ

400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ

400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.