

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 «МЭИ», 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 ВолгГТУ:
(8442) 24-84-06
Факс (8442) 24-84-06
otr@vstu.ru

Научный журнал

Издается с января 2004 г.

Выходит двенадцать раз в год

№ 6 (163)
Сентябрь
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*

© Волгоградский государственный технический университет,

«Известия Волгоградского государственного технического университета», 2015

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 "MPEI", 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

№ 6 (163)
September
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*

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

<i>Голованчиков А. Б., Воротнева С. Б.</i> Влияние термического сопротивления на основные параметры работы двухтрубного теплообменника.....	8
<i>Гущин Р. И., Завьялов Д. В., Конченков В. И., Скачков М. В.</i> Моделирование кинетических свойств полупроводниковых материалов методом Монте-Карло с использованием параллельных расчетов на МПС-системе.....	13
<i>Санжапов Б. Х., Стулова Н. В.</i> Анализ мер по снижению уровня загрязнения грунтовых вод в зоне влияния предприятий топливно-энергетического комплекса.....	19
<i>Симонов Б. В., Симонова И. Э.</i> О свойствах сумм двойных рядов по синусам.....	23
<i>Элькин П. М., Смирнов В. В., Степанович Е. Ю., Алыкова О. М.</i> Сравнительный анализ структурно-динамических моделей таутомеров мононитрозамещенных бензохинона, гамма-пирона, 4-тиопирона.....	29

Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Адерихин И. В., Воротынцева М. Г., Цветкова Л. В.</i> Метод учета бортовой качки судна при определении его местоположения с использованием спутниковых навигационно-информационных систем.....	37
<i>Аникин А. В., Дворянкин А. М., Жукова И. Г., Кульцова М. Б.</i> Метод поиска и интеграции электронных образовательных ресурсов на онтологиях.....	42
<i>Бердник В. Л.</i> Шингловая модель представления знаний.....	47
<i>Бирюкова М. В., Сычев О. А.</i> Определение специфических для языка программирования C++ ошибок в ответе студента на тестовый вопрос.....	50
<i>Волобуева Е. О., Качалов Д. Л., Щербаков М. В.</i> Мобильные компоненты и технологии больших данных для мониторинга электропотребления.....	54
<i>Козлов Д. В., Жукова И. Г., Кульцова М. Б., Литовкин Д. В.</i> Генерация OWL-онтологии на основе конфайнмент-модели.....	58
<i>Константинов В. М., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л.</i> Разработка 3D-модели тела человека с использованием MS Kinect.....	65
<i>Литовкин Д. В., Попов Я. А., Ляпина О. Н., Шкарупа А. Э.</i> Разработка педагогической интегрированной среды программирования «Учебный мир "Робот"» на базе IDE Microsoft Visual Studio с поддержкой языка программирования Си.....	70
<i>Розалиев В. Л.</i> Автоматизация распознавания кистей рук человека с помощью Kinect для перевода жестового языка.....	74
<i>Платонов А. А., Потапов Р. Е.</i> Обнаружение дубликатов статей в системе автоматического сбора информации из открытых источников об экологической обстановке.....	79
<i>Орлова Ю. А.</i> Автоматизированное построение интеллект-карт по новостному тексту с использованием грамматики связей.....	82
<i>Трофимов В. В., Завьялов Д. В.</i> Синхронизация списков данных в клиент-серверных системах.....	87

Часть III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>Астафурова О. А., Сальникова Н. А.</i> Формирование требований к информационной системе на основе моделирования бизнес-процессов.....	91
<i>Брумиштейн Ю. М.</i> Математические модели для оптимизации планирования набора дисциплин по направлениям подготовки выпускающей кафедры вуза на основе компетентностного подхода к обучению.....	95
<i>Брумиштейн Ю. М., Юрков Н. К., Камаев В. А.</i> Цели и практические методы управления наукометрическими показателями вузовских журналов: взгляд с позиций научных редакторов....	103
<i>Годенко А. Е., Симонова И. Э., Мишта В. П., Игонина Т. Р.</i> Исследование динамики изменения количества иностранных студентов, обучающихся в ВолгГТУ.....	112
<i>Егунов В. А., Мелинов А. Г.</i> Платформенно-независимая система управления «умным домом».....	115
<i>Ерофеев А. А., Дворянкин А. М., Кульцова М. Б.</i> Извлечение и структурирование знаний по управлению водохозяйственной системой Волго-Ахтубинской поймы.....	119
<i>Петрухин А. В., Стешенко А. С.</i> Компьютерная визуализация биржевых данных о динамике фондового рынка.....	124
<i>Платонов А. А., Федоров С. С.</i> Пространственный анализ открытых данных о потенциально опасных предприятиях Волгоградской области.....	129
<i>Симонов А. Б., Терелянский П. В., Цыганкова В. Н.</i> Моделирование инновационного процесса в российской межкризисной экономике.....	132
<i>Сычев О. А., Калинин Н. В.</i> Автоматизация многокритериального оценивания студенческих работ в системах дистанционного образования.....	138
<i>Усачева Н. К., Садовникова Н. П.</i> Модель выбора проекта технической модернизации предприятия на основе нечеткого логического вывода.....	144

Часть IV. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

<i>Богатырев Е. А., Торопчин Д. С.</i> Синтез комплексных SC-фильтров при поддержке подсистем САПР Anadigm Designer 2.....	149
<i>Гончаров А. А., Гончаров Ан. А.</i> Оценка влияния усилия прижимного устройства на торможение клинового механизма свободного хода.....	155
<i>Кандырин Ю. В., Шкурина Г. Л.</i> Адаптивный алгоритм выбора вариантов в электронных справочных системах САПР.....	160
<i>Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Кобликов И. А., Фоменкова М. А.</i> Разработка методов оценки практической реализуемости синтезируемого физического принципа действия.....	166
<i>Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Мармура А. С., Колесников С. Г.</i> Многоагентная технология обработки структурированных физических знаний в виде физических эффектов.....	173
<i>Нгуен Ле Тхань Тунг, Матюхина А. В., Кизим А. В.</i> Построение и использование онтологии электротехнического оборудования.....	180
<i>Петрухин А. В., Колесников А. С., Фролов А. А.</i> Мультидисциплинарный подход к реализации инструментальных средств информационного поиска и поддержки принятия решений.....	186

<i>Петрухин А. В., Фролов А. А., Колесников А. С.</i> Структуризация рисков при формировании комплексов инструментальных программных средств автоматизации на основе спиральной модели Бозма.....	190
<i>Сергеев А. С., Плотников А. Л., Уварова Т. В.</i> Мониторинг процесса торцевого фрезерования в САПР ТП многолезвийной обработки.....	196
<i>Фоменков С. А., Коробкин Д. М., Карачунова Г. А., Копасов А. Н.</i> Модификация модели описания физического эффекта для задачи синтеза линейных и сетевых структур физических принципов действия.....	200
 Часть V. РОБОТОТЕХНИКА	
<i>Брискин Е. С., Фоменко С. С., Шаронов Н. Г.</i> Формирование программных законов движения транспортного средства для инвалидов.....	208
<i>Заргарян Ю. А., Косенко Е. Ю., Белоглазов Д. А., Финаев В. И.</i> Формализация при управлении подвижными объектами в условиях неопределенности.....	210

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адерихин И. В. 37
Алыкова О. М. 29
Аникин А. В. 42
Астафурова О. А. 91
Белоглазов Д. А. 210
Бердник В. Л. 47
Бирюкова М. В. 50
Богатырев Е. А. 149
Брискин Е. С. 208
Брумштейн Ю. М. 95, 103
Волобуева Е. О. 54
Воротнева С. Б. 8
Воротынцева М. Г. 37
Годенко А. Е. 112
Голованчиков А. Б. 8
Гончаров А. А. 155
Гончаров Ан. А. 155
Гущин Р. И. 13
Дворянкин А. М. 42, 119
Егунов В. А. 115
Ерофеев А. А. 119
Жукова И. Г. 42, 58
Завьялов Д. В. 13, 87
Заргарян Ю. А. 210
Игонина Т. Р. 112
Калинин Н. В. 138
Камаев В. А. 103
Кандырин Ю. В. 160
Карачунова Г. А. 200
Качалов Д. Л. 54
Кизим А. В. 180
Кобликов И. А. 166
Козлов Д. В. 58
Колесников А. С. 186
Колесников С. Г. 173, 190
Константинов В. М. 65
Конченков В. И. 13
Копасов А. Н. 200
Коробкин Д. М. 166, 173, 200
Косенко Е. Ю. 210
Кульцова М. Б. 42, 58, 119
Литовкин Д. В. 58, 70
Ляпина О. Н. 70
Мармура А. С. 173
Матохина А. В. 180
Мелеинов А. Г. 115
Мишта В. П. 112
Нгуен Ле Тхань Тунг 180
Орлова Ю. А. 65, 82
Петрухин А. В. 124, 186, 190
Платонов А. А. 79, 129
Плотников А. Л. 196
Попов Я. А. 70
Потапов Р. Е. 79
Розалиев В. Л. 65, 74
Садовникова Н. П. 144
Сальникова Н. А. 91
Санжапов Б. Х. 19
Сергеев А. С. 19, 196
Симонов А. Б. 132
Симонов Б. В. 23
Симонова И. Э. 23, 112
Скачков М. В. 13
Смирнов В. В. 29
Степанович Е. Ю. 29
Стешенко А. С. 124
Стулова Н. В. 19
Сычев О. А. 50, 138
Терелянский П. В. 132
Торопчин Д. С. 149
Трофимов В. В. 87
Уварова Т. В. 196
Усачева Н. К. 144
Федоров С. С. 129
Финаев В. И. 210
Фоменко С. С. 208
Фоменков С. А. 166, 173, 200
Фоменкова М. А. 166
Фролов А. А. 186, 190
Цветкова Л. В. 37
Цыганкова В. Н. 132
Шаронов Н. Г. 208
Шкарупа А. Э. 70
Шкурина Г. Л. 160
Щербаков М. В. 54
Элькин П. М. 29
Юрков Н. К. 103

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 66.045.123

А. Б. Голованчиков, С. Б. Воротнева

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ДВУХТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Волгоградский государственный технический университет
pahp@vstu.ru

Проведены интегральный и проверочный расчеты противоточного двухтрубного теплообменника при нагревании дизельного топлива дымовыми газами. Дана оценка влияния термического сопротивления двухтрубного теплообменника на технологические параметры его работы и конструктивные размеры. Выявлено, что термическое сопротивление оказывает одинаково негативное влияние на всей длине теплообменника.

Ключевые слова: двухтрубный теплообменник, термическое сопротивление, интегральный и проверочный расчеты, коэффициент теплопередачи.

A. B. Golovanchikov, S. B. Vorotneva

EFFECT OF HEAT-TRANSFER RESISTANCE TO BASIC PARAMETERS OF DOUBLE-PIPE ENCLOSED HEAT EXCHANGER

Volgograd State Technical University

The integral and checking calculations of countercurrent double-pipe enclosed heat exchanger by heating the diesel fuel by flue gases were performed. The article describes the evaluation of the influence of the heat-transfer resistance of double-pipe enclosed heat exchanger on the technological parameters of its operation and structural dimensions. Revealed that the heat-transfer resistance has the same negative impact on the entire length of heat exchanger.

Keywords: double-pipe enclosed heat exchanger, heat-transfer resistance, integral and checking calculations, heat-transfer coefficient.

В основе существующих методов расчетов теплообменников, в том числе двухтрубных или так называемых теплообменников типа «труба в трубе», лежит усреднение температур теплоносителей и движущей силы, а затем для этих средних температур рассчитываются значения физических параметров, определяющих и определяемых критериев подобия, средние значения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, удельной тепловой мощности и площади поверхности теплопередачи [1–3]. Однако такое усреднение температур теплоносителей и соответствующих им физических параметров возможно при относительно невысоких изменениях этих температур. При значительном изменении температур теплоносителей по мере их движения от входа к выходу некоторые физические параметры существенно изменяют свою величину [1, 4, 5]. Особенно это касается плотности газов и вязкости теплоносителей. В этом случае необходимо после основного интегрального расчета, связанного с вышеназванным усреднением температур теплоносителей, проводить проверочный расчет, связанный с разбиением полученной поверхности теплопередачи на n

равных интервалов (например, $n=100$) и для каждого из этих локальных интервалов определять температуры теплоносителей и соответствующие им физические параметры, критерии подобия, удельную тепловую мощность и находить температуры каждого теплоносителя на выходе, которые являются расчетными температурами для последующей итерации.

Однако и в основном интегральном, и в проверочном расчетах полагают, что термическое сопротивление стенки, как и коэффициенты теплопроводности и теплоемкости теплоносителей не изменяются по мере движения теплоносителей вдоль теплопередающей поверхности.

Целью данной работы является оценка влияния термического сопротивления двухтрубного теплообменника на технологические параметры его работы и конструктивные размеры: площадь поверхности теплопередачи и длину.

В табл. 1 приведены исходные и справочные данные и варьируемые параметры двухтрубного теплообменника, в котором дизельное топливо нагревается дымовыми газами; при этом топливо движется в центральной трубе, а дымовые газы – по межтрубному пространству.

Таблица 1

Исходные и справочные данные и варьируемые параметры двухтрубного теплообменника при нагревании дизельного топлива дымовыми газами

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
Исходные данные				
1	Расход нагреваемого дизельного топлива через внутреннюю трубу	кг/ч	G	100
2	Начальная температура дизельного топлива	°C	t_n	20
3	Конечная температура дизельного топлива	°C	t_k	110
4	Начальная температура дымовых газов	°C	t_{gn}	320
5	Конечная температура дымовых газов	°C	t_{gk}	160
6	Давление дымовых газов	ат	p_g	1,033
Справочные данные				
7	Плотность дымовых газов при 0 °C и 1 ат	кг/м ³	ρ_{g0}	1,32
8	Коэффициент объемного расширения дымовых газов	К ⁻¹	β_g	0,0036
9	Плотность дизельного топлива при 0 °C	кг/м ³	ρ_0	907
10	Коэффициент объемного расширения дизельного топлива	К ⁻¹	β	0,0006
11	Вязкость дымовых газов при 0 °C	Па×с	μ_{g0}	$1,88 \cdot 10^{-5}$
12	Температурный коэффициент вязкости дымовых газов	К ⁻¹	a_g	0,00183
13	Вязкость дизельного топлива при 0 °C	Па×с	μ_0	0,00022
14	Температурный коэффициент вязкости дизельного топлива	К ⁻¹	a	0,0052
15	Теплопроводность дымовых газов	Вт/(м×К)	λ_g	0,038
16	Теплопроводность дизельного топлива	Вт/(м×К)	λ_s	0,684
17	Удельная теплоемкость дымовых газов	Дж/(кг×К)	c_{pg}	1040
18	Удельная теплоемкость дизельного топлива	Дж/(кг×К)	c_p	2100
19	Теплопроводность стальной стенки	Вт/(м×К)	λ_w	46,2
20	Внутренний диаметр центральной трубы	м	d_b	0,068
21	Толщина стенки центральной трубы	м	δ_s	0,004
22	Внутренний диаметр наружной трубы	м	d_n	0,108
Варьируемые параметры				
23	Задаваемая длина двухтрубного теплообменника	м	ℓ_t	
24	Среднее термическое сопротивление стенки	$\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \right)^{-1}$	r_s	0,0004

Проведен сравнительный расчет параметров этого двухтрубного теплообменника для противоточного и прямоточного режимов течения, который показал, что как и в кожухотрубных теплообменниках противоточный режим для двухтрубных теплообменников бо-

лее выгоден, так как в этом случае поверхность и длина двухтрубного теплообменника меньше на 25 % (рис. 1). Поэтому далее анализируется работа двухтрубного теплообменника при противоточном движении теплоносителей.

Результаты расчетов основных параметров в зависимости от термического сопротивления представлены в табл. 2.

Как видно из расчетных параметров табл. 2 и графиков зависимости коэффициентов теплопередачи и длины двухтрубного теплообменника от термического сопротивления (рис. 1),

сначала рост термического сопротивления незначительно влияет на технологические параметры и геометрические размеры, а резкое изменение этих параметров начинается

$$\text{с } r_s^* = 4 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \right)^{-1}.$$

Таблица 2

Зависимости основных расчетных параметров двухтрубного теплообменника при нагревании дизельного топлива дымовыми газами от термического сопротивления

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина термического сопротивления отложений $r_s, \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \right)^{-1}$						
			0	0,0001	0,0004	0,001	0,004	0,01	0,04
1. Температура отложений на наружной поверхности внутренней трубы	°С	t_g	86,6	87,25	88,3	90,6	101,2	118,3	163,3
2. Температура отложений на внутренней поверхности внутренней трубы	°С	t_x	86,5	86,4	86,2	86	85,1	83,6	79,3
3. Удельная тепловая мощность	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	q	4409	4408	4348	4274	3950	3432	2097
4. Коэффициент теплоотдачи для дымовых газов	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	α_g	29,2	29,17	29,15	29,12	29	28,7	28,2
5. Коэффициент теплоотдачи к дизельному топливу	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	α	207,2	206,7	205,3	203,4	196,5	184	146,6
6. Расчетная площадь поверхности теплопередачи	м ²	F_r	1,19	1,20	1,21	1,23	1,33	1,53	2,5

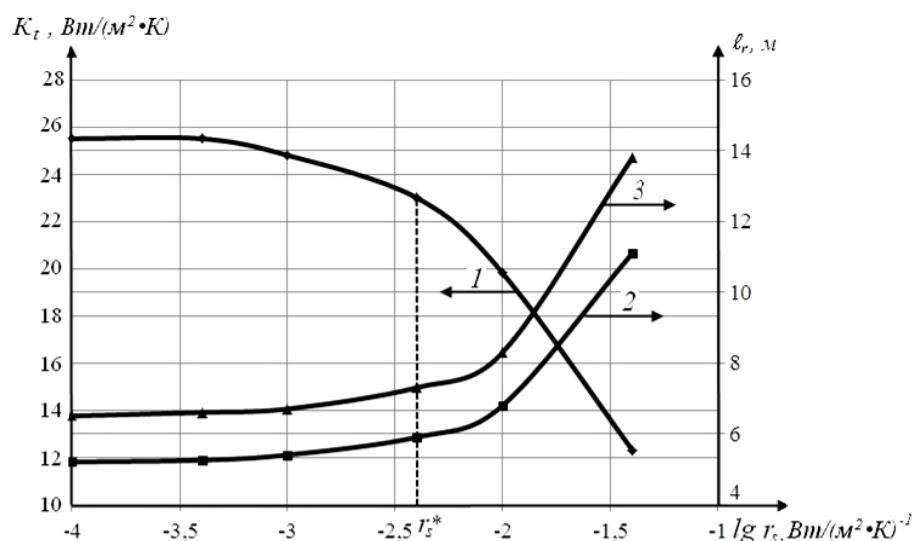


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопередачи (I) и расчетной длины двухтрубного теплообменника при противоточном (2) и прямоточном (3) режимах течения от термического сопротивления отложений (r_s^* — критическое значение сопротивления термических отложений, увеличение которого существенно влияет на параметры работы теплообменника)

Выведем аналитически уравнения для определения зависимостей температуры дымовых газов и нагреваемого дизельного топлива от координаты длины теплообменника. Представим

схему изменения вышеназванных температур между сечениями *I* и *II* на элементе длины $d\ell$ (рис. 2).

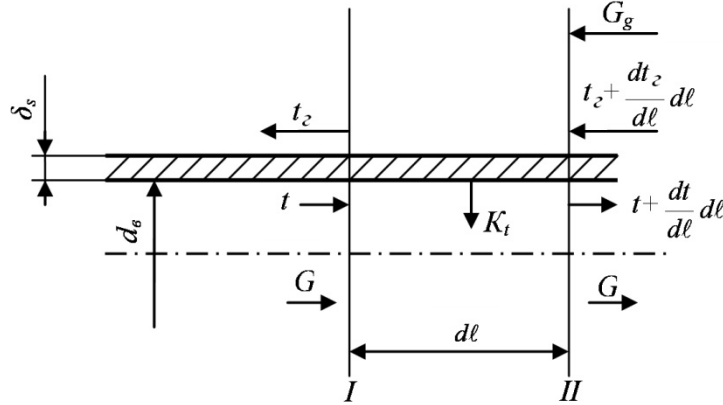


Рис. 2. Схема изменения температур дымовых газов и нагреваемого дизельного топлива сечениями *I* и *II* на элементе длины $d\ell$

Уравнения тепловых потоков могут быть записаны в виде (в левой части обоих уравнений – приходящие тепловые потоки; в правой – уходящие):

для нагреваемого топлива

$$Gc_p t + K_t \pi (d_b + \delta_s) (t_r - t) d\ell = Gc_p \left(t + \frac{dt}{d\ell} d\ell \right); \quad (1)$$

для дымовых газов

$$G_g c_{pg} \left(t_r + \frac{dt_r}{d\ell} d\ell \right) = G_g c_{pg} t_r + K_t (t_d - t) \pi (d_b + \delta_s) d\ell.$$

После алгебраических преобразований и разделения переменных получаем дифференциальное уравнение теплового баланса:

$$G_g c_{pg} dt_r = Gc_p dt.$$

После интегрирования по параметрам t_r в левой части и t в правой части последнего дифференциального уравнения получаем связь между текущим значением температуры t нагреваемого дизельного топлива и соответствующим ему значению температуры t_r дымовых газов:

$$t_r = t_{gk} + \frac{Gc_p}{G_g c_{pg}} (t - t_n). \quad (2)$$

После алгебраических преобразований уравнения (1) с учетом уравнения (2) и разделения переменных получаем

$$\frac{dt}{\left[t_{gk} - \frac{Gc_p}{G_g c_{pg}} t_n + \left(\frac{Gc_p}{G_g c_{pg}} - 1 \right) t \right]} = K_t \pi (d_b + \delta_s) L_r dx,$$

где $dx = \frac{d\ell}{L_r}$.

После интегрирования последнего выражения по параметру t с нижним пределом $t = t_n$ и с учетом пропорции, вытекающей из уравнения теплового баланса

$$\frac{Gc_p}{G_g c_{pg}} = \frac{t_{gn} - t_{gk}}{t_k - t_n},$$

получаем расчетное уравнение профиля температуры t нагреваемого топлива как функции безразмерной координаты x .

$$t = \frac{\left(\frac{t_{gn} - t_{gk}}{t_k - t_n} \right) t_n - t_{gk} + (t_{gk} - t_n) \exp(Sx)}{\left(\frac{t_{gn} - t_{gk}}{t_k - t_n} - 1 \right)}, \quad (3)$$

$$\text{где } S = \left(\frac{t_{gn} - t_{gk}}{t_k - t_n} - 1 \right) \frac{K_t \pi (d_b + \delta_s) L_r}{3600 Gc_p}. \quad (4)$$

В табл. 3 приведены результаты расчетов профиля температур t нагреваемого топлива и t_r дымовых газов по относительной длине $\ell_{от}$ двухтрубного теплообменника при термическом сопротивлении $r_s = 4 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \right)^{-1}$ и постоянном значении коэффициента теплопередачи K_t по длине двухтрубного теплообменника.

Таблица 3

**Профили температур нагреваемого топлива и дымовых газов
по длине двухтрубного теплообменника**

$\ell_{от}, \text{ м}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\ell, \text{ м}$	0	0,534	1,068	1,602	2,136	2,670	3,204	3,739	4,273	4,81	5,0
$t, ^\circ\text{C}$	20	27,45	35,2	43,3	51,7	60,4	69,6	79,1	89,0	99,3	110
$t_r, ^\circ\text{C}$	160	173,2	187	201,4	216,3	231,9	248,1	265	282,6	300,9	320

Уравнения (2)–(4) позволяют рассчитывать профили температур нагреваемого топлива и дымовых газов по длине двухтрубного теплообменника при постоянном коэффициенте теплопередачи K_t , соответствующем вязкости и плотности обоих теплоносителей при их средней температуре. Однако при значительном изменении температуры теплоносителей их вязкости и плотности существенно изменяются, что может вызвать большое изменение других расчетных параметров.

В этом случае необходимо провести проверочный расчет технологических параметров и геометрических размеров двухтрубного теплообменника, опираясь на локальные значения параметров.

В табл. 4 приведены локальные значения

основных параметров, рассчитанные по алгоритму проверочного расчета.

Как видно из сравнения средних значений локальных параметров табл. 4 (последний столбец) со средними значениями этих же параметров табл. 1, рассчитанных по основному интегральному алгоритму, их разность не превышает $\pm 5\%$. Единственное большое уменьшение среднего числа Нуссельта для дизельного топлива при проверочном расчете по сравнению с расчетом этого параметра по основному интегральному алгоритму связано с переходом при $Re > 3500$ на новую расчетную формулу в алгоритме расчета. Это приводит к необходимости увеличения расчетной поверхности теплопередачи и длины теплообменника на 4 % по сравнению с расчетами по основному интегральному алгоритму.

Таблица 4

**Локальные значения основных параметров при проверочном расчете двухтрубного теплообменника
при нагревании дизельного топлива дымовыми газами**

Наименование параметра	Обозначение	Величина параметра											
1. Относительная длина	ℓ/L_r	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,04	Среднее
2. Число Рейнольдса для дизельного топлива	Re	2721,3	2836,6	2961	3095,6	3241	3398,4	3563,7	3730,4	3910,5	4105	4200	3326,3
3. Число Рейнольдса для дымовых газов	Re_g	8729,9	8506,1	8280,6	8053,6	7825,6	7596,9	7374,5	7166,5	6958	6749	6682	7831
4. Число Нуссельта для дизельного топлива	Nu	19,01	19,06	19,3	19,41	19,56	11,32	11,56	11,8	12,1	12,2	12,24	15,5
5. Число Нуссельта для дымовых газов	Nu_g	25,6	25,4	25,1	24,8	24,5	24	23,8	23,5	23,8	24,2	24,3	24,5
6. Удельная тепловая мощность, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	q	3875	3916	4080	4217	4357	4499	4180	4319	4462	4608	4616	4218
7. Коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	K_t	26	25,8	25,6	25,4	25,2	22,5	22,4	22,3	22,3	22,3	22,3	24,5

Рассмотрим влияние нарастания термического сопротивления от входа нагреваемого дизельного топлива к выходу, когда зависимость термического сопротивления от длины описывается формулой

$$r_s = 0,0001 + i \frac{\Delta \ell}{\ell_r} \cdot 0,0004, \quad (5)$$

где $i = (1 \div 100)$; $\Delta \ell = \frac{\ell_r}{100}$.

В этом случае длину теплообменника необходимо увеличить по сравнению с расчетной интегральной длиной и равной соответствующей $\ell_r = 5,3$ м до $L = 9,43$ м, то есть на 78 %.

Если, наоборот, на входе наибольшие термические сопротивления, и они убывают до минимума $r_{s_m} = 0,0001$ по формуле

$$r_s = 0,0401 - i \frac{\Delta \ell}{\ell_r} \cdot 0,0004, \quad (6)$$

то есть в 100 раз, то длина соответственно должна возрасти с $\ell_r = 5,3$ м до $L = 9,54$ м, то есть в 1,8 раза.

Таким образом, термические сопротивления оказывают одинаково негативное влияние на всей длине теплообменника и очистку от термических загрязнений необходимо проводить одинаково полно на всей длине внутренней трубы как наружной, так и внутренней ее по-

верхности. Особенно серьезное влияние термическое сопротивление оказывает при его увеличении по сравнению с номинальным рекомендуемым в справочниках значением

$$r_s = 0,0004 \left(\frac{Вт}{м^2 \times К} \right)^{-1} \quad [2] \quad \text{в } 10 \text{ раз, когда}$$

$$r_s^* \geq 0,004 \left(\frac{Вт}{м^2 \times К} \right)^{-1}.$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г. С. Борисов [и др.] ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 4-е изд. – М. : Альянс, 2008.
2. 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.
3. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии. Ч. 1 : учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 1994.
4. Голованчиков, А. Б. Моделирование процессов усреднения концентраций в аппаратах с комбинированной структурой потоков / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, В. В. Миняйло // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10 (97). С. 19–22.
5. Голованчиков, А. Б., Воротнева С. Б., Дулькин Б. А. Влияние структуры потоков и термического сопротивления на технологические параметры двухтрубного теплообменника / Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25(152). С. 121–126.

УДК 519.684, 004.42

Р. И. Гуцин, Д. В. Завьялов, В. И. Конченков, М. В. Скачков

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ НА MIC-СИСТЕМЕ

Волгоградский государственный технический университет

romanshadow3@gmail.com, sinegordon@gmail.com, kontchenkov@yandex.ru, skachkov_matvey@mail.ru

Представлена программа, позволяющая моделировать кинетические свойства полупроводниковых материалов с использованием сопроцессора Intel Xeon Phi. Реализован метод численного нахождения вероятности рассеяния носителей заряда на неоднородностях кристаллической решетки. Проведены сравнение результатов работы этой программы с расчетами по явной формуле и оценка эффективности использования сопроцессора в рассматриваемой задаче.

Ключевые слова: Intel Xeon Phi, OpenMP, метод Монте-Карло.

R. I. Gushchin, D. V. Zav'yalov, V. I. Konchenkov, M. V. Skachkov

MODELING OF THE KINETIC PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR MATERIALS BASED ON THE BASE OF MONTE-CARLO METHOD USING PARALLEL NUMERICAL MIC SYSTEM

Volgograd State Technical University

The program that has ability to simulate the kinetic properties of semiconductor materials using a coprocessor Intel Xeon Phi is presented. The method for numerical calculation of the probability of carrier scattering by inhomogeneities of the crystal lattice is implemented. A comparison of the results of this program with the calculations by the explicit formula and assessment of the effectiveness of using a coprocessor in the problem is carried out.

Keywords: Intel Xeon Phi, OpenMP, Monte Carlo method.

Традиционно для исследования транспортных свойств твердых тел используется метод кинетического уравнения – квазиклассического уравнения Больцмана или квантового кинетического уравнения [1]. Этот метод имеет ряд ограничений, главное из которых – необходимость решения очень сложного интегро-дифференциального уравнения при выходе за рамки простейших интегралов столкновений. Поэтому достаточно давно для исследования транспортных явлений в твердых телах используется имитационное моделирование методом Монте-Карло [1–3]. В общих чертах в квазиклассической ситуации моделирование состоит в следующем [2, 3]:

1) задаем начальное распределение квазиимпульсов некоторого набора частиц исходя из равновесной функции распределения [1];

2) на каждом шаге по времени численно решаем квазиклассические уравнения движения частицы и вычисляем вероятность ее рассеяния с новым значением квазиимпульса;

3) зная вероятность рассеяния, разыгрываем момент столкновения частицы с неоднородностями решетки и, исходя из законов сохранения энергии и квазиимпульса, вычисляем новые значения компонент квазиимпульса и скорость;

4) после прохождения достаточно большого числа шагов по времени усредняем значение скорости по всему временному промежутку;

5) повторив расчет для большого числа частиц, усредняем скорость по ансамблю. Зная среднее значение скорости, вычисляем постоянную составляющую плотности электрического тока.

Особенностью метода является возможность проведения расчетов для каждой из частиц в отдельном потоке, что дает широкие возможности для распараллеливания задачи на большое число процессорных ядер [4–5].

Задача осложняется тем, что, как правило, вероятность рассеяния задается довольно слож-

ной формулой, а вызов функции расчета вероятности происходит достаточно часто. Выходом может явиться предварительный расчет вероятности рассеяния и последующая интерполяция по уже известному массиву вероятностей при использовании так называемых МІС-систем (англ. Many Integrated Core Architecture), реализованных в сопроцессорах Intel Xeon Phi [4]. Такой сопроцессор оснащен большим количеством (несколько десятков) вычислительных ядер архитектуры x86, имеющих общую память объемом 8 гигабайт (в отличие от графических сопроцессоров, память которых имеет сложную структуру и сильно ограничена по объему [5]). При исследовании временных зависимостей кинетических коэффициентов приходится хранить и обрабатывать также массивы значения скорости в каждый момент времени, что сильно затруднено на графических сопроцессорах, но вполне осуществимо на МІС-системе.

Целью работы является создание программы, которая, используя минимальные изменения в коде последовательного алгоритма, переносит вычисления средней скорости частиц на сопроцессор. В перспективе эта программа планируется к использованию для исследования кинетических явлений в двумерных низкоразмерных материалах под влиянием сложных конфигураций электрических и магнитных полей. Целью такого моделирования является уточнение результатов, полученных аналитически при помощи различных приближенных методов.

Разрабатываемая программа будет применяться для исследования эффекта генерации постоянного тока в полупроводниковой сверхрешетке (СР) [6] в условиях воздействия на образец эллиптически поляризованной волны и постоянного электрического поля, направленного под углом α к оси СР (рис. 1, а). Подобные задачи в других материалах рассмотрены в [2, 3]. Энергетический спектр СР имеет вид:

$$\varepsilon(\mathbf{p}') = \frac{\hbar^2}{2md^2} \left((p_x' \sin \alpha + p_y' \cos \alpha)^2 + \frac{2\Delta md^2}{\hbar^2} (1 - \cos(p_x' \cos \alpha - p_y' \sin \alpha)) \right). \quad (1)$$

Здесь p_x, p_y – компоненты квазиимпульса; $\Delta \sim 10^{-2}$ эВ – ширина минизоны; $d \sim 10^{-6}$ см – период СР; $m \sim 10^{-28}$ г – компонента тензора эффективной массы.

Выбор полупроводниковой СР в качестве тестового материала для разрабатываемой про-

граммы связан, во-первых, с тем, что для этой структуры при определенных условиях можно получить явные выражения вероятности рассеяния носителей заряда, и, во-вторых, с тем, что в повернутой системе координат возможно обобщить вычисление вероятности рассеяния на случай произвольной формы первой зоны

Бриллюэна (поверхности, ограничивающей область физически неэквивалентных значений квазиимпульса [1]). В исходной системе координат получаем границы первой зоны Бриллюэна

(закрашенный прямоугольник на рис. 1, б), в повернутой против часовой стрелки на угол α системе – прямоугольнике $ABCD$.

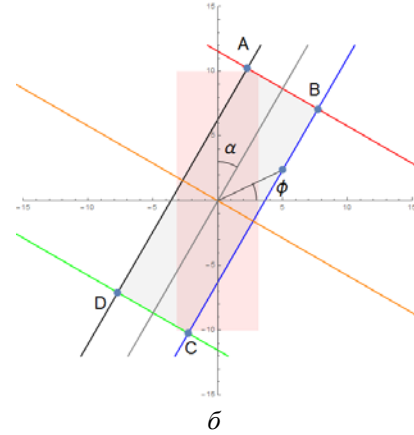
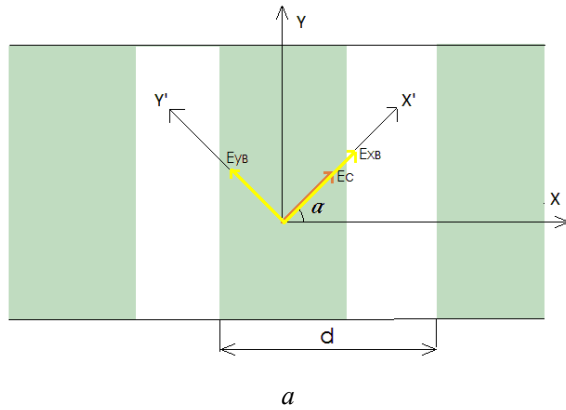


Рис. 1. Постановка задачи:
а – геометрия задачи; б – первая зона Бриллюэна

Вычисление вероятностей рассеяния носителей заряда на фононах сводится к нахождению интеграла следующего вида:

$$W(\mathbf{p}) = \sum_{\mathbf{p}'} W(\mathbf{p}, \mathbf{p}') = C \int d\mathbf{p}' \delta(\varepsilon(\mathbf{p}') - \varepsilon(\mathbf{p}) + \hbar\omega). \quad (2)$$

Здесь $W(\mathbf{p}, \mathbf{p}')$ – вероятность перехода электрона из состояния с квазиимпульсом $\mathbf{p}$ в состояние с квазиимпульсом $\mathbf{p}'$; $\hbar\omega$ – энергия фонона (для оптических фононов считаем эту величину

постоянной, а для акустических фононов полагаем $\hbar\omega = 0$). Интегрируя величину $W(\mathbf{p}, \mathbf{p}')$ по всем возможным значениям $\mathbf{p}'$, получаем $W(\mathbf{p})$ – вероятность рассеяния электрона с квазиимпульсом $\mathbf{p}$. Под знаком дельта-функции стоит закон сохранения энергии. В случае произвольной формы первой зоны Бриллюэна удобнее всего задать в полярной системе координат функцию $p'_{\max}(\varphi')$ и перейти в (2) к интегралу

$$W(\mathbf{p}) = W(p, \varphi) = \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^{p'_{\max}(\varphi')} p' dp' \delta(\varepsilon(p', \varphi') - \varepsilon(p, \varphi) + \hbar\omega). \quad (3)$$

Используя свойства дельта-функции, преобразуем (3) к виду:

$$W(p, \varphi) = \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^{p'_{\max}(\varphi')} p' dp' \sum_i \frac{\delta(p' - p_{0i})}{\left| \frac{\partial \varepsilon(p')}{\partial p'} \right|_{p'=p_{0i}}} = \int_0^{2\pi} d\varphi' \sum_i \frac{p_{0i}}{\left| \frac{\partial \varepsilon(p')}{\partial p'} \right|_{p'=p_{0i}}}; \quad (4)$$

$p_{0i}(p, \varphi)$ - i -й корень уравнения

$$\varepsilon(p', \varphi') - \varepsilon(p, \varphi) + \hbar\omega = 0 \quad (5)$$

на промежутке $p' \in [0, p'_{\max}(\varphi')]$. Интеграл по полярному углу берем методом Симпсона. Решение уравнения (5) можно найти графически – p' соответствует пересечению двумерного

графика энергии (1) плоскостью $\varepsilon' = \varepsilon(p, \varphi) - \hbar\omega$ при заданном φ' (рис. 2). Если для выбранного значения φ' уравнение (5) не имеет ни одного корня, полагаем вклад в интеграл, даваемый этим значением, равным нулю (рис. 2, б). В программе решение уравнения (5) осуществляется при помощи метода Ньютона.

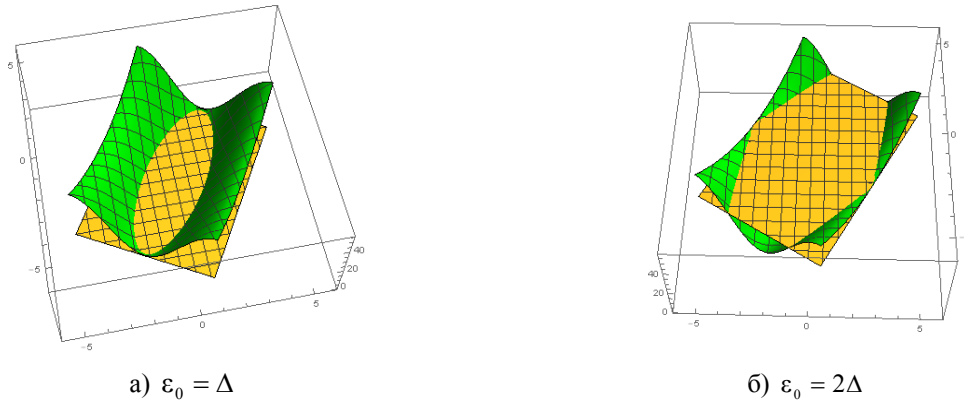


Рис. 2. Сечение графика энергии плоскостью равной энергии $\varepsilon = \varepsilon_0$

Проверка правильности расчетов вероятности проводилась для случая $\alpha = 0$ в выражении (1), для которого известно аналитическое вы-

ражение для полной вероятности рассеяния. В случае акустических фононов

$$W_{ac}(p_x, p_y) = A_{ac} \int_0^\pi \frac{dp'_x}{\sqrt{\cos p'_x - a_{ac}}}, \quad A_{ac} = \frac{D_a^2 kT}{\pi \hbar^2 \rho s^2} \cdot \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2m}{\Delta}}, \quad a_{ac} = -\frac{1}{\gamma} (p_y^2 - \gamma \cos p_x). \quad (6)$$

Здесь D_a – константа деформационного потенциала акустических фононов; ρ – поверхностная плотность материала; s – скорость зву-

ка в материала; T – абсолютная температура; $\gamma = 2m\Delta d^2 / \hbar^2$. В случае оптических фононов

$$W_{opt}(p_x, p_y) = A_{opt} \int_0^\pi \frac{dp'_x}{\sqrt{\cos p'_x - a_{opt}}}, \quad A_{opt} = \frac{D_o^2}{2\pi \hbar \rho \omega_o} \cdot \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2m}{\Delta}}, \quad (7)$$

$$a_{opt} = -\frac{1}{\gamma} (p_y^2 - \gamma \cos p_x - \beta \gamma), \quad \beta = \frac{\hbar \omega_o}{\Delta}.$$

Здесь D_o – константа деформационного потенциала оптических фононов; $\hbar \omega_o$ – энергия оптических фононов.

$$\int_0^\pi \frac{dp'_x}{\sqrt{\cos p'_x - a}} = \begin{cases} 0, & a > 1; \\ \int_0^{\arccos a} \frac{dp'_x}{\sqrt{\cos p'_x - a}} = \frac{2}{\sqrt{1-a}} F\left(\frac{\arccos a}{2}, \frac{2}{1-a}\right), & 0 < a < 1; \\ \int_0^{\pi - \arccos|a|} \frac{dp'_x}{\sqrt{\cos p'_x - a}} = \frac{2}{\sqrt{1-a}} F\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\arccos|a|}{2}, \frac{2}{1-a}\right), & -1 < a < 0; \\ \int_0^\pi \frac{dp'_x}{\sqrt{\cos p'_x - a}} = \frac{2}{\sqrt{1-a}} F\left(\frac{\pi}{2}, \frac{2}{1-a}\right) = \frac{2}{\sqrt{1-a}} K\left(\frac{2}{1-a}\right), & a < -1. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь $F(\varphi|m)$ – эллиптический интеграл первого рода; $K(m)$ – полный эллиптический интеграл первого рода.

Время расчета вероятностей для области 100×300 точек – около 20 минут на ноутбуке с процессором Intel Core i3 4010 и 4 виртуальными ядрами при использовании для распараллеливания

расчетов технологии OpenMP. Для произвольного угла α получить явные формулы вероятности оказывается затруднительным, поэтому разработанный алгоритм является единственной возможностью напрямую рассчитать полную вероятность рассеяния электронов на фононах. Кроме того, данный алгоритм непосредственно обобщается на зону Бриллюэна

произвольной формы – необходимо лишь переопределить функцию $p'_{\max}(\varphi')$. Тестовый массив 100×300 точек рассчитывается за 3 минуты на сопроцессоре Xeon Phi. При этом использовалась выгрузка отдельных функций на сопроцессор. Внутри Xeon Phi для распараллеливания расчетов использовалась технология OpenMP. При таком подходе перенос программы на сопроцессор требует минимальной переделки последовательного алгоритма.

Для проверки правильности моделирования использовалась тестовая задача – расчет вольт-амперной характеристики (ВАХ) сверхрешетки. В выражении (1) полагали $\alpha = 0$, вектор напряженности электрического поля $E = \{E_{xc}, 0\}$ направлен вдоль оси СР. При расчетах значения параметров предполагались следующими: $m = 2 \cdot 10^{-28}$ г, $D_a = 4.5$ эВ, $D_o \sim 0.33 \cdot 10^9$ эВ/см, $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ эВ, $d = 1.0 \cdot 10^{-6}$ см, $\hbar\omega_o = 7 \cdot 10^{-3}$ эВ, $T = 70$ К, $\rho = 3.5 \cdot 10^{-6}$ г/см², $s = 2.0 \cdot 10^5$ см/с. Время измерялось в единицах $\omega = 10^{-11}$ с, скорость – в единицах 10^7 см/с. В этом случае константы $A_{opt} \approx A_{ac} = 1.0$ (в единицах $\cdot 10^{11}$ с⁻¹), компоненты скорости

$$v_x = \frac{\Delta d}{\hbar} \sin p_x = v_{x0} \sin p_x,$$

$$v_y = \frac{\hbar}{md} p_y = v_{y0} p_y, \quad (9)$$

$v_x = 4.8$, $v_y = 0.5$. Длина промежутка времени, в течение которого следим за движением электрона,

составляет 2000, шаг по времени 0.0005. В результате моделирования получается зависимость плотности постоянного тока вдоль оси СР от напряженности постоянного продольного электрического поля, представленная на рис. 3, а. Компонента плотности тока j_x измеряется здесь в некоторых условных единицах, напряженность электрического поля E_{xc} – в единицах $eEd / (\hbar\omega)$ (здесь $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ ед. СГСЭ – заряд электрона). На рис. 3, б представлена зависимость среднего времени свободного пробега τ от напряженности электрического поля. Известно (см., например, [8]), что положение максимума E_0 вольт-амперной характеристики подчиняется условию

$$\frac{eE_0 d}{\hbar} \sim \frac{1}{\tau} \quad (10)$$

(в приближении постоянного времени релаксации τ). В нашем случае $E_0 \sim 30$ (приблизительно 6 ед. СГСЭ), и левая часть соотношения составляет $2.9 \cdot 10^{12}$ с⁻¹, а правая – в соответствии с графиком на рис. 5, б $\tau = 0.014 \cdot 10^{11}$, равна $7.1 \cdot 10^{12}$ с⁻¹, то есть (10) довольно точно выполняется.

В моделировании участвовало 236 частиц (по количеству логических ядер сопроцессора Xeon Phi). Для оценки эффективности распараллеливания построены графики зависимости времени расчета одной точки ВАХ в зависимости от напряженности прикладываемого электрического поля (рис. 4).

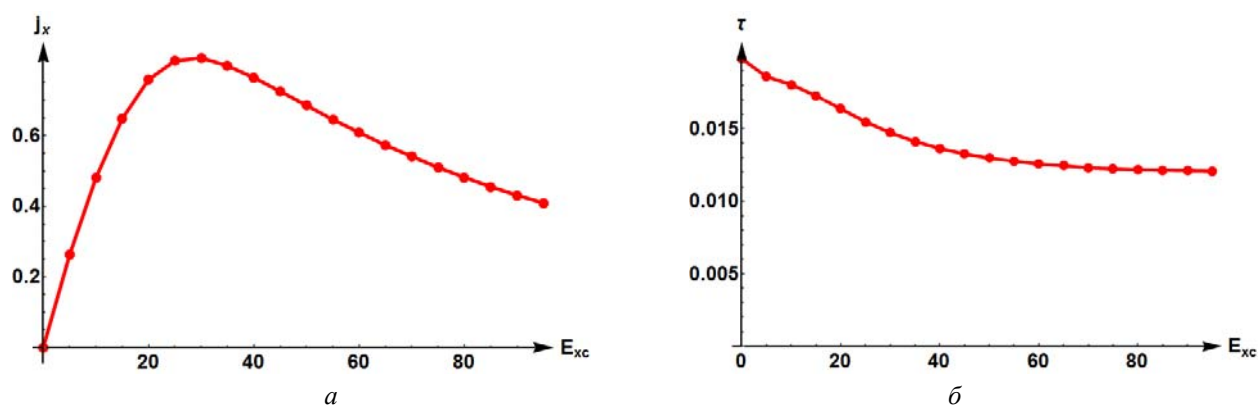


Рис. 3. Результаты моделирования:
а – ВАХ СР; б – среднее время релаксации

Выбор такой оценки связан с тем, что основная вычислительная нагрузка – расчет моментов столкновения электрона с фоном и

нахождение компонент импульса электрона после рассеяния, а количество таких рассеяний растет при разогреве электронного газа электронами.

трическим полем. График 1 соответствует расчету на ноутбуке с процессором Intel Core i3 4010 при распараллеливании на 4 виртуальных ядра. График 2 соответствует расчету на центральном процессоре Intel Xeon E5 (8 ядер с гипертрейдингом) при использовании 12 потоков OpenMP. График 3 соответствует расчету на том же процессоре с числом потоков, равным 236. График 4 соответствует расчету на Xeon Phi с использованием 236 потоков. Видно, что сопроцессор дает результаты, сравнимые с мощным центральным процессором Xeon (ускорение примерно в 2 раза) и на порядок превосходящие результаты настольного процессора, что для тестовой задачи, использующей минимальную переделку алгоритма моделирования, вполне приемлемо. Дополнительное ускорение расчетов можно получить, если использовать векторизацию при расчете вероятности рассеяния [7].

Таким образом, реализована программа, которая позволяет, во-первых, численно находить полную вероятность рассеяния носителей заряда на фонах для материала со сложной формой первой зоны Бриллюэна; проведено сравнение результатов работы этой программы с расчетами по явной формуле; определен по-

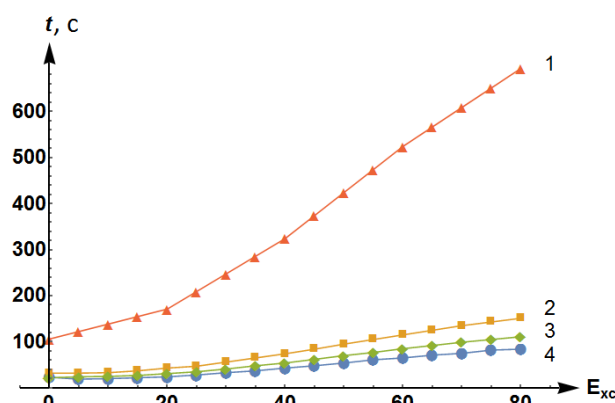


Рис. 4. Зависимость времени расчета от степени разогрева электронного газа электрическим полем

тенциал ускорения разработанной программы с использованием векторных инструкций сопроцессора Xeon Phi.

Во-вторых, реализован метод Монте-Карло для расчета плотности постоянного электрического тока; проведена проверка программы на примере вычисления ВАХ полупроводниковой свехрешетки. Проведенные проверки указывают на соответствие результатов основным физическим закономерностям, программа правильно работает для известных предельных случаев и может быть применена для моделирования кинетических явлений в сложных конфигурациях электрических и магнитных полей. Использовано распараллеливание расчетов на сопроцессоре Xeon Phi с применением технологии OpenMP.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашурников, В. А. Численные методы квантовой статистики / В. А. Кашурников, А. В. Красавин. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 628 с.
2. Завьялов, Д. В. Численное моделирование эффекта выпрямления тока, индуцированного электромагнитной волной в графене / Д. В. Завьялов, С. В. Крючков, Т. А. Тюлькина // ФТП. — 2010. — Т. 44. — Вып. 4. — С. 910–914.
3. Konchenkov, V. I. Influence of constant electric field on circular photogalvanic effect in material with Rashba Hamiltonian / V.I. Konchenkov, S.V. Kryuchkov, D. V. Zav'yalov // J Comput Electron. — 2014. — V. 13. — P. 996–1009.
4. High-Performance Computing on the Intel Xeon Phi / Endong Wang, Qing Zhang, Bo Shen, Guangyong Zhang, Xiaowei Lu, Qing Wu, Yajuan Wang. — NY.: Springer, 2014. — 338 с.
5. Борисков, А. В. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA / А. В. Борисков, А. А. Харламов, Н. Д. Марковский. — М.: Издательство Московского университета, 2012. — 336 с.
6. Басс, Ф. Г. Высоочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками / Ф. Г. Басс, А. А. Булгаков, А. П. Тетервов. — М.: Наука, 1989. — 288 с.
7. Применение векторных инструкций в алгоритмах блочных операций линейной алгебры / А. Е. Андреев, В. А. Егунов, А. А. Насонов, А. А. Новокщёнов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12(139). С. 5–11.

УДК 504.05 : 519.816

Б. Х. Санжапов, Н. В. Стулова

АНАЛИЗ МЕР ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

sbkh@mail.ru, NatalyStulova@yandex.ru

Предложена модель оценки уровня загрязнения окружающей городской территории промышленным предприятием топливно-энергетического комплекса. Разработан подход к формализации исходной качественной информации при использовании аппарата теории нечетких множеств. В статье приведен пример применения предложенного подхода для анализа значений технических параметров систем, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей территории.

Ключевые слова: экологический ущерб, нечеткий вывод, экспертная оценка, эколого-экономическая эффективность.

B. Kh. Sanzhapov, N. V. Stulova

THE MEASURES ANALYSIS OF REDUSING THE GROUNDWATER POLLUTION IN THE IMPACT ZONE OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

The evaluation model for calculation a pollution level by industrial enterprise of the fuel and energy complex is proposed. The approach to the formalization of initial quality information within the framework of the fuzzy sets theory is developed. The article proposes the example of application offered approach to the analysis of technical parameters values of the systems, providing ecological safety of surrounding area.

Keywords: environmental damage, fuzzy conclusion, expert evaluation, ecological and economic efficiency.

Топливо-энергетические комплексы (ТЭК) оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Их деятельность сопровождается существенным поступлением техногенных веществ и тепла в атмосферу, почву, водоемы, грунтовые воды по причине тепловых потерь, сбросов теплообменных вод, газодымовых выбросов, фильтрации сточных вод из шламонакопителей, складирования на поверхности земли твердых отходов тепловых электростанций и др. В связи с этим встает вопрос о разработке мер по обеспе-

чению экологической безопасности окружающей городской среды. Зачастую, шламонакопители на объектах ТЭК не имеют гидроизолирующего слоя, что ведет к инфильтрации загрязненной воды и сказывается на гидрогеологических условиях территории. Подотвальные воды загрязняют поверхностные водоемы, грунтовые воды и почву токсичными соединениями. В подтверждение сказанного рассмотрим в табл. 1 подробнее химический состав грунтовых вод, полученных из контрольных скважин.

Таблица 1

Химический состав грунтовых вод на территории ТЭЦ

Показатель	Скважина 1	Скважина 2	Скважина 3	Скважина 4	ПДК в питьевой воде	Фон
pH	8,5	7,5	8,5	8	6,0–9,0	7,1
Калий (K ⁺)	205,2	167,9	343,6	246,5	–	1,2
Натрий (Na ⁺)	11,2	7,5	14,3	11,6	200	3,6
Кальций (Ca ²⁺)	81,1	61,1	51,1	51,1	–	30,0
Магний (Mg ²⁺)	13,3	31,6	33,6	43,8	–	9,1
Аммонийный азот (NH ₄ ⁺)	5,9	5,3	5,8	5,1	2,6	–
Гидрокарбонаты (HCO ₃ ⁻)	86,5	306,1	537,9	525,7	–	149,3
Карбонаты (CO ₃ ²⁻)	–	–	24,1	26,3	–	–
Хлориды (Cl ⁻)	214,1	143,1	91,1	128,9	350	5,6
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	244,6	181,2	279,2	215,9	500	4,9
Нитраты (NO ₃ ⁻)	–	–	–	–	45	1,1
Нитриты (NO ₂ ⁻)	–	–	2,1	1,8	3	–
Сухой остаток	752	774	1269	998	1000	215,6
Общая минерализация	841,2	885,7	1355,8	1208,4	1000	215,6

Анализ данных табл. 1 показывает, что в грунтовых водах, протекающих на территории теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), в разы превышены значения ПДК по калию, кальцию, магнию, аммонийному азоту, гидрокарбонатам и карбонатам. В среднем, по данным со всех скважин, общая минерализация превышает ПДК. По сравнению с фоновыми значениями содержание химических веществ в грунтовых водах ТЭЦ превышены по всем показателям. Приведенные данные свидетельствуют о значительном загрязнении грунтовых вод на фоне самоподтопления территории и инфильтрации загрязненных вод из шламонакопителя.

Для выявления масштабов изменения подземных вод в районе источника загрязнения, влияющих на экологическую безопасность городской территории, необходимо определение размеров области загрязнения, интенсивности загрязнения подземных вод, скорости продвижения загрязненных вод в пласте и др. Для описания движения растворимых веществ в почве используется уравнение конвективно-диффузионного переноса [1]:

$$\theta \frac{\partial(\rho S + c)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (D\theta \frac{\partial c}{\partial z} - vc) \pm J(z, t), \quad (1)$$

где θ – объемная влажность почвы в долях единицы; c – концентрация растворенного вещества; t – время; z – координата, в направлении которой происходит перенос; v – скорость потока раствора; S – концентрация вещества в адсорбированной фазе; ρ – плотность почвы; D – коэффициент конвективной диффузии.

$$D = D_{\text{эфф}} + D_h,$$

где $D_{\text{эфф}}$ – коэффициент эффективной диффузии, происходящей в заполненном почвенной влагой поровом пространстве почв; D_h – коэффициент гидродинамической дисперсии, характеризующей «размыв» фронта движущегося раствора вследствие неравномерности порового пространства почв; $\pm J(z, t)$ – член, характеризующий возникновение (+) или потребление (–) мигранта, так как при движении вещества могут происходить процессы, связанные с его выпадением в осадок, потреблением растениями (и др.), процессы его расхода, стока. Либо, напротив, его количество может увеличиваться за счет растворения осадков, притока сбоку и пр.

Данное уравнение решается в вычислительной среде MATLAB, при использовании пакета Partial Differential Equations Toolbox (PDETB).

Решение уравнения служит информацией для составления нечеткой базы знаний.

Одной из мер снижения уровня загрязнения почвы на территории шламоотвалов и подотвальных грунтовых вод является установка противифльтрационных экранов.

В качестве материала для противифльтрационного экрана на шламоотвале ТЭЦ рекомендуется сочетание двух видов противифльтрационных экранов: слоя из уплотненной глины и покрытия из полимерного материала. Ширина противифльтрационного экрана зависит от объема шлама в шламоотвале, фильтрационной способности почвы, концентрации загрязняющих веществ в шламоотвале по суммарному показателю [2].

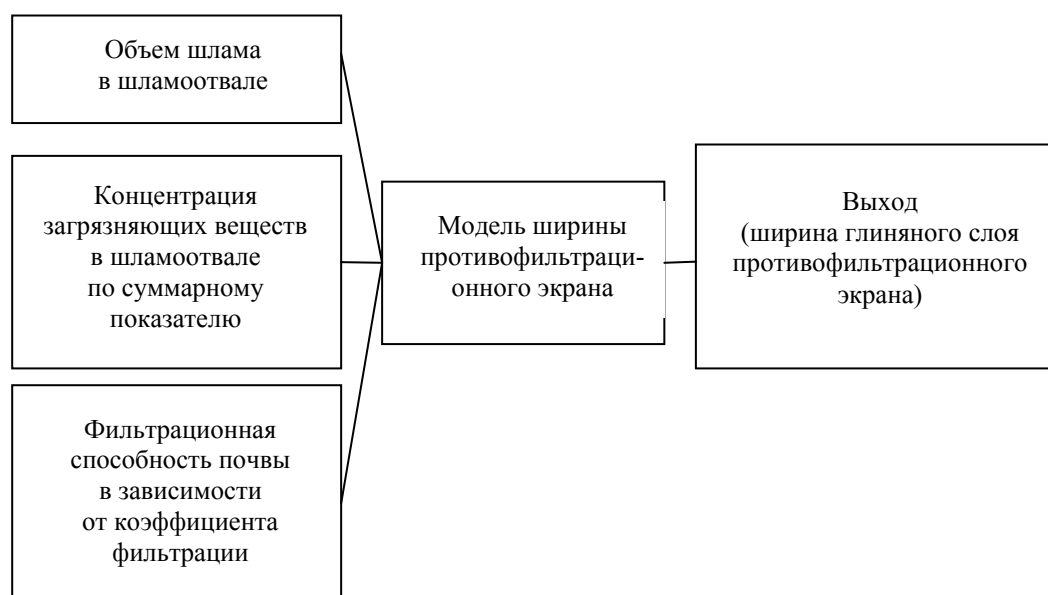
Ввиду наличия качественной информации, для оценки ширины каждого из слоев противифльтрационного экрана на шламоотвале ТЭЦ целесообразно применение аппарата нечетких множеств.

Модель для расчета ширины глиняного слоя противифльтрационного экрана ТЭЦ представлена на рисунке.

В качестве входных переменных для построения модели ширины глиняного слоя противифльтрационного экрана рассматриваются: терм-множество V (объем шлама в шламоотвале) = {Незначительный, Низкий, Средний, Высокий, Очень высокий}; терм-множество C (уровень концентрации загрязняющих веществ в шламе по суммарному показателю) = {Незначительный, Низкий, Средний, Высокий, Очень высокий}; терм-множество F (фильтрационная способность почвы в зависимости от коэффициента фильтрации) = {Незначительная, Низкая, Средняя, Высокая, Очень высокая}. Интегральная оценка ширины глиняного слоя противифльтрационного экрана на шламоотвале описывается лингвистической переменной PfS с термами: «Узкий», «Средний», «Широкий».

На основании экспертных оценок, относительно переменных V , C , F , PfS в вычислительной среде MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox) были построены функции принадлежности для данных переменных.

В данном случае целесообразно применение нечеткого логического вывода по методу Мамдани, так как данный логический вывод осуществляется по нечеткой базе знаний, в которой все значения входных и выходных переменных заданы нечеткими множествами [2, 3].



Модель анализа ширины глиняного слоя противofiltrационного экрана ТЭЦ

Экспертные знания в области оценки риска деятельности ТЭЦ формализуются в виде системы нечетких продукционных правил. Фрагмент базы знаний модели для анализа ширины глиняного слоя противofiltrационного экрана на шламоотвале выглядит следующим образом:

ЕСЛИ [Объем шлама в шламоотвале – Незначительный] И [Уровень концентрации загрязняющих веществ в шламе по суммарному показателю – Незначительный] И [Фильтрационная способность почвы в зависимости от коэффициента фильтрации – Незначительный] ТО [Ширина глиняного слоя противofiltrационного экрана на шламоотвале – Узкий];

ЕСЛИ [Объем шлама в шламоотвале – Высокий] И [Уровень концентрации загрязняющих веществ в шламе по суммарному показателю – Очень высокий] И [Фильтрационная способность почвы в зависимости от коэффициента фильтрации – Высокий] ТО [Ширина глиняного слоя противofiltrационного экрана на шламоотвале – Широкий].

Проиллюстрируем работу модели на количественных показателях. Пусть значения входных переменных следующие: объем шлама в шламоотвале – 1000 м³; уровень концентрации загрязняющих веществ в шламе по суммарному показателю – 50; фильтрационная способность почвы в зависимости от коэффициента фильтрации – 2,5 м/сут, тогда значение ширины глиняного слоя противofiltrационного экрана на шламоотвале, рассчитанного в результате

дефазификации нечеткого множества по методу центра тяжести, полученного при использовании нечеткого вывода по методу Мамдани, будет составлять 2,37 м.

Для оценки эколого-экономической эффективности инвестиционного проекта по установке противofiltrационного экрана на шламоотвале ТЭЦ, в рамках подхода «затраты – выгоды», в качестве основных критериев оценки будем использовать следующие показатели:

- чистая приведенная стоимость (NPV);
- соотношение затрат и выгод.

Определение чистой приведенной стоимости экологических затрат и выгод проекта проводится методом дисконтирования экологических затрат и экологических выгод, включаемых в анализ экономической эффективности проекта. Расчет проводится по формуле [4]:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{Be_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{Ce_t}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

где Be_t – экологические и социальные выгоды; Ce_t – экологические и социальные затраты; t – год оценки; r – ставка дисконтирования; T – период времени, в течение которого будут происходить измеримые последствия от влияния данного проекта на окружающую среду и природные ресурсы, включая социально-экономические.

Следует отметить высокий уровень неопределенности при определении количественных характеристик затрат и выгод, которые, как правило, зависят от взаимодействия социаль-

ных экологических и экономических факторов, закономерность изменения которых трудно спрогнозировать на длительный период времени. В связи с этим, для оценки отдельных пока-

зателей предлагается использовать процедуру экспертного анализа [5].

Оценка эколого-экономической эффективности приведена в табл. 2.

Таблица 2

Оценка эколого-экономической эффективности по критерию NPV

Расчетные показатели	Годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Выгоды, млн. р										
1. Снижение затрат, связанных с очисткой питьевой воды	0	0,1	0,1	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
2. Снижение риска заболеваемости населения	0	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
3. Увеличение стоимости жилой недвижимости	0	0,8	1,2	1,8	1,8	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
4. Увеличение стоимости загородной недвижимости и приусадебных участков	0	0,1	0,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
5. Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур	0	0,01	0,15	0,15	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Затраты, млн. р										
1. Установка противодиффузионного экрана (глина и грунт + геомембрана)	-10									
2. Снижение платы за негативное воздействие на окружающую среду	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
3. Снижение штрафов за нарушение природоохранного законодательства	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
4. Затраты на рекультивацию, санацию и обеззараживание земель	-0,45									
5. Затраты на восстановление растительности на землях	-0,15									
Поток дохода	-12,9	-1,24	-0,05	1,27	1,35	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
Коэффициент дисконтирования	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39
Дисконтированный поток дохода	-14,2	-1,5	-0,07	1,86	2,17	2,53	2,79	3,07	3,37	3,7
NPV	3,74									

Критерии эколого-экономической оценки эффективности проекта по NPV: при $NPV > 0$ проект экологически целесообразен; при $NPV < 0$ проект экологически нецелесообразен; при $NPV = 0$ проект нейтрален, но, возможно, для принятия решений требует рассмотрения качественных характеристик экологических затрат и выгод, не нашедших выражения в денежной форме, и их учета на уровне экспертных оценок [4].

Анализ данных табл. 2 показывает, что данный проект создает положительный денежный поток. Общественная эффективность составляет 3,74 млн. рублей. То есть проект по установке противодиффузионного экрана на шламо-

отвале ТЭЦ является не только экологически эффективным, но и экономически целесообразным, так как $NPV = 3,74 > 0$.

Следующим шагом в рамках подхода «затраты – выгоды» является определение показателя «Отношение выгоды/затраты (В/С)» (табл. 3), который характеризует отношение дисконтированных выгод к дисконтированным затратам. Он определяется по известной формуле:

$$B / C = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{Be_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{Ce_t}{(1+r)^t}}.$$

Таблица 3

Оценка эколого-экономической эффективности по критерию В/С

Расчетные показатели	Годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Выгоды	0	1,06	2,25	3,57	3,65	3,73	3,73	3,73	3,73	3,73
Затраты	12,9	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Коэффициент дисконтирования	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39
Дисконтированный поток выгод	0	1,28	2,99	5,23	5,88	6,61	7,27	7,99	8,79	9,68
Дисконтированный поток затрат	14,2	2,78	3,06	3,37	3,7	4,08	4,48	4,93	5,42	5,97
Отношение В/С	1,17									

При $V/C = 1$ проект будет нейтрален по отношению к окружающей среде. При $V/C > 1$ проект экологически целесообразен. При $V/C < 1$ проект экологически неэффективен. Из табл. 3 следует, что отношение выгоды/затраты (V/C) = $1,17 > 1$. Приходим к выводу, что проект экологически эффективен.

Таким образом, предложенная модель на базе нечетких множеств, при учете качественных показателей физико-химических свойств шламоотвала, позволяет определить ширину противифльтрационного экрана, необходимого для минимизации уровня загрязнения грунтовых вод в зоне влияния предприятий ТЭК и обеспечения тем самым экологической безопасности урбанизированной территории. Также показано, что проект по установке противифльтрационного экрана на шламоотвале ТЭЦ является экологически эффективным и экономически обоснованным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдберг, В. М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В. М. Гольдберг, С. Н. Газда. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
2. Санжапов Б. Х., Стулова Н. В. Оценка экологического риска загрязнения окружающей среды от эксплуатации шламоотвала ТЭЦ // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительная информатика. 2014. Вып. 12(36). Ст. 5. Режим доступа : <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
3. Санжапов Б. Х., Стулова Н. В. Модель поддержки принятия решений в задаче анализа экологического риска загрязнения городской среды объектами топливно-энергетического комплекса // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительная информатика. 2014. Вып. 11(32). Ст. 1. Режим доступа : <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
4. Медведева, О. Е. Методические рекомендации по осуществлению эколого-экономической оценки эффективности проектов намечаемой хозяйственной деятельности [Электронный ресурс] / О. Е. Медведева. – 2015. – Режим доступа : <http://www.ecopolity.ru/upload/File/MetRecEff.doc>
5. Садовникова, Н. П. Оценка эколого-экономической эффективности планов территориального развития // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 16. № 8 (111). С. 72–76.

УДК 517.5

Б. В. Симонов, И. Э. Симонова

О СВОЙСТВАХ СУММ ДВОЙНЫХ РЯДОВ ПО СИНУСАМ*

Волгоградский государственный технический университет
simonov-b2002@yandex.ru, simonova-vstu@mail.ru

Исследованы суммы двойных рядов по синусам с коэффициентами, монотонными по подпоследовательностям. Получены условия принадлежности этих сумм классам L_p ($0 < p < \infty$).

Ключевые слова: монотонность, подпоследовательность, ряды, коэффициенты рядов, сумма, сходимость.

B. V. Simonov, I. E. Simonova

PROPERTIES OF THE SUMS OF THE DOUBLE SINE SERIES

Volgograd State Technical University

Properties of the sums of the double sine series with coefficients monotonic by subsequences, are investigated. Sufficient conditions are got under which these sums belong to L_p classes ($0 < p < \infty$).

Keywords: monotone, subsequence, series, coefficients of series, sum, convergency.

© Симонов Б. В., Симонова И. Э., 2015

* Исследования первого автора проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-01-01236) и программы ведущих научных школ (грант НШ-3682.2014.1).

Введение

Основы теории тригонометрических рядов сформировались в 19 в. в значительной степени в связи с потребностью нахождения методов решения уравнений математической физики. В фундаментальной работе А. Н. Тихонова, А. А. Самарского ([1]) приведены многочисленные математические модели задач математической физики и методы их решения, как аналитические, так и численные.

В радиотехнике при построении моделей каналов связи широко используются методы суммирования тригонометрических рядов. Электрические сигналы, проходящие по каналам связи, имеют в простейшем случае форму гармонических сигналов $A(\omega)\sin(\omega t + \varphi)$. Суммы гармонических колебаний используются в качестве математических моделей более сложных сигналов. В настоящей работе изучаются суммы двойных тригонометрических рядов, обобщающих обычные тригонометрические ряды на двумерный случай. Это представляет особый интерес в теоретических исследованиях в области теории функций и функционального анализа.

Будем рассматривать тригонометрические ряды вида

$$\sum_{n_2=1}^{\infty} \sum_{n_1=1}^{\infty} a_{n_1 n_2} \sin n_1 x_1 \sin n_2 x_2. \quad (1)$$

Скажем, что последовательность $\{a_{n_1 n_2}\}$ удовлетворяет условию А, если $a_{n_1 n_2} \rightarrow 0$ при $n_2 \rightarrow \infty$ и любом фиксированном n_1 и при $n_1 \rightarrow \infty$ и любом фиксированном n_2 .

При изучении сходимости двойных рядов (1) используется их сходимость по Прингсхей-

му, определяемая следующим образом. Для числового ряда

$$\sum_{\nu=0}^{\infty} \sum_{\mu=0}^{\infty} c_{\mu\nu} \quad (2)$$

рассматривается прямоугольная сумма

$$S_{mn} = \sum_{\nu=0}^n \sum_{\mu=0}^m c_{\mu\nu}.$$

Если существует число S и для любого $\varepsilon > 0$ найдутся натуральные числа k и l такие, что $|S_{mn} - S| < \varepsilon$ при любом $n > k$ и любом $m > l$, то говорят, что ряд (2) сходится по Прингсхейму к своей сумме S (см. [2], с. 27).

Будем писать, что $f(x_1, x_2) \in L_p$ ($0 < p < \infty$), если $f(x_1, x_2)$ есть 2π -периодическая по каждой переменной и измерима на $[-\pi, \pi]$ функция и

$$\|f(x_1, x_2)\|_p = \left(\int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f(x_1, x_2)|^p dx_1 dx_2 \right)^{1/p} < \infty.$$

Пусть даны последовательность $\{a_{n_1 n_2}\}$ и натуральные числа r_1, r_2 . Введем следующие обозначения: $\Delta_{10}^{(r_1, 0)}(a_{n_1, n_2}) = a_{n_1, n_2} - a_{n_1+r_1, n_2}$, $\Delta_{01}^{(0, r_2)}(a_{n_1, n_2}) = a_{n_1, n_2} - a_{n_1, n_2+r_2}$, $\Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{n_1, n_2}) = \Delta_{10}^{(r_1, 0)}(\Delta_{01}^{(0, r_2)}(a_{n_1, n_2}))$. В работе [3] доказана следующая

Теорема А ([3]). Пусть последовательность $\{a_{n_1 n_2}\}$ удовлетворяет условию А и монотонна, т. е. $\Delta_{11}^{(1, 1)}(a_{n_1 n_2}) \geq 0$ для любых натуральных n_1 и n_2

Тогда ряд (1) сходится по Прингсхейму всюду и для его суммы $g(x_1, x_2)$ при любом $p \in (0, \infty)$ справедливы неравенства:

$$C_1 \left(\sum_{n_2=1}^{\infty} n_2^{p-2} \sum_{n_1=1}^{\infty} n_1^{p-2} a_{n_1 n_2}^p \right)^{1/p} \leq \|g(x_1, x_2)\|_p \leq C_2 \left(\sum_{n_2=1}^{\infty} n_2^{p-2} \sum_{n_1=1}^{\infty} n_1^{p-2} a_{n_1 n_2}^p \right)^{1/p}, \quad (3)$$

где положительные постоянные C_1 и C_2 не зависят от $\{a_{n_1 n_2}\}$.

Заметим, что все эти и нижеследующие неравенства понимаются таким образом: из конечности правой части следует конечность левой части. Далее, $C_1, C_2, \dots$ — положительные постоянные, не обязательно одинаковые в различных формулах.

В данной работе изучаются тригонометрические ряды (1) с коэффициентами, монотонными по подпоследовательностям. Находятся

условия, при которых их суммы принадлежат классам L_p , а также получены оценки квазинорм этих функций, выраженные через коэффициенты ряда (1). Эта работа продолжает исследования, проведенные для одномерного случая в [4]–[8]. В ней теорема А распространяется на случай монотонных подпоследовательностей.

Пусть даны натуральные числа r_1 и r_2 . Если в одномерном случае последовательность $\{a_n\}$ разбивается на r подпоследовательностей,

то в двумерном последовательность коэффициентов $\{a_{n_1 n_2}\}, n_1 \in N, n_2 \in N$ можно разбить на $r_1 \cdot r_2$ подпоследовательностей $\{a_{r_1 n_1, r_2 n_2}\}, \dots, \{a_{r_1 n_1 - r_1 + 1, r_2 n_2 - r_2 + 1}\}.$

В настоящей работе доказано

Утверждение. Пусть $0 < p < \infty, r_1 \in N, r_2 \in N$, числовая последовательность $\{a_{n_1 n_2}\}$ удовлетворяет условию A и монотонна по подпоследовательностям, т. е. такова, что для каждого значения $k_1 = 1, 2, \dots, r_1$ и для каждого значения $k_2 = 1, 2, \dots, r_2$ $\Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1 + (n_1 - 1)r_1, k_2 + (n_2 - 1)r_2}) \geq 0$ для любых натуральных n_1, n_2 . Тогда ряд (1)

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n+1)^{-\alpha} \left(\sum_{v=0}^n d_v (v+1)^{\lambda} \right)^p \leq C \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)^{-\alpha} \left(d_n (n+1)^{\lambda+1} \right)^p,$$

где положительная постоянная C не зависит от последовательности $\{d_n\}$.

Лемма 2 ([6]). Пусть $r \in N, k = 1, \dots, r, n \in N \cup \{0\}$. Тогда

$$а) \text{ для почти всех } x \quad \bar{B}_{n,r,k}^1(x) = \frac{\cos((2k-r)x/2) - \cos((2k+(2n+1)r)x/2)}{2\sin(rx/2)},$$

$$B_{n,r,k}^1(x) = \frac{\sin(((2n+1)r+2k)x/2)}{2\sin(rx/2)} - \frac{\sin((2k-r)x/2)}{2\sin(rx/2)};$$

$$б) \text{ для любого } x \quad |\bar{B}_{n,r,k}^1(x)| \leq C_1(n+1), \quad |B_{n,r,k}^1(x)| \leq C_1(n+1),$$

$$в) \text{ для любого } x \in \left(0, \frac{\pi}{r}\right) \quad |\bar{B}_{n,r,k}^1(x)| \leq \frac{C_2}{rx}, \quad |B_{n,r,k}^1(x)| \leq \frac{C_2}{rx},$$

где положительные постоянные C_1 и C_2 не зависят от n и x .

Лемма 3. Пусть $r_1 \in N, r_2 \in N, m_1 \in Z, m_2 \in Z$, числовая последовательность $\{a_{n_1 n_2}\}$ удовлетворяет условию A и монотонна по подпоследовательностям, т. е. такова, что для каждого значения $k_1 = 1, 2, \dots, r_1$ и для каждого значения $k_2 = 1, 2, \dots, r_2$ $\Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1 + (n_1 - 1)r_1, k_2 + (n_2 - 1)r_2}) \geq 0$ для любых натуральных n_1, n_2

$$g(x_1 + 2\pi m_1 / r_1, x_2 + 2\pi m_2 / r_2) =$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{k_2=1}^{r_2} \sum_{k_1=1}^{r_1} \sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1 + n_1 r_1, k_2 + n_2 r_2}) (\cos(2\pi k_2 m_2 / r_2) \cos(2\pi k_1 m_1 / r_1) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) + \\ &\quad + \cos(2\pi k_2 m_2 / r_2) \sin(2\pi k_1 m_1 / r_1) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) B_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) + \\ &\quad + \sin(2\pi k_2 m_2 / r_2) \cos(2\pi k_1 m_1 / r_1) B_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) + \\ &\quad + \sin(2\pi k_2 m_2 / r_2) \sin(2\pi k_1 m_1 / r_1) B_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) B_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2)). \end{aligned}$$

Доказательство леммы 3 аналогично доказательству теоремы А из [2].

сходится по Прингсхейму всюду, кроме, может быть, множества плоской меры нуль, и для его суммы $g(x_1, x_2)$ справедливы неравенства (3).

1. Вспомогательные утверждения

Пусть $r \in N, k = 1, \dots, r, n \in N \cup \{0\}$,

$$B_{n,r,k}(x) = \sum_{m=0}^n \cos((k+mr)x),$$

$$\bar{B}_{n,r,k}(x) = \sum_{m=0}^n \sin((k+mr)x).$$

Лемма 1 ([3]). Пусть числовая последовательность $\{d_n\}$ такова, что $d_n \downarrow$ при $n \rightarrow \infty$, числа α, λ и p таковы, что $\alpha > 1, p \in (0, \infty), \lambda \in (-\infty, \infty)$. Тогда

2. Доказательство утверждения

Из леммы 3 следует, что ряд (1) сходится по Прингсхейму всюду, кроме, может быть, множества плоской меры нуль, т. е. существует функция $g(x_1, x_2)$ – сумма ряда (1).

Докажем оценки сверху для ряда (1). Рассмотрим

$$\int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |g(x_1, x_2)|^p dx_1 dx_2 = \sum_{m_2 = -\left[\frac{r_2-1}{2}\right]}^{\left[\frac{r_2-1}{2}\right]} \sum_{m_1 = -\left[\frac{r_1-1}{2}\right]}^{\left[\frac{r_1-1}{2}\right]} \int_0^{\frac{\pi}{r_2}} \int_0^{\frac{\pi}{r_1}} \left| g\left(x_1 + m_1 \frac{2\pi}{r_1}, x_2 + m_2 \frac{2\pi}{r_2}\right) \right|^p dx_1 dx_2,$$

где $[a]$ – целая часть числа a .

Оценим отдельно для каждого $m_1 \in \left\{ -\left[\frac{r_1}{2}\right], \dots, \left[\frac{r_1-1}{2}\right] \right\}$, $m_2 \in \left\{ -\left[\frac{r_2}{2}\right], \dots, \left[\frac{r_2-1}{2}\right] \right\}$

интеграл
$$J_{m_1 m_2} = \int_0^{\frac{\pi}{r_2}} \int_0^{\frac{\pi}{r_1}} \left| g\left(x_1 + m_1 \frac{2\pi}{r_1}, x_2 + m_2 \frac{2\pi}{r_2}\right) \right|^p dx_1 dx_2.$$

Применяя лемму 3 и неравенство $|a+b|^p \leq 2^p (|a|^p + |b|^p)$, будем иметь

$$\begin{aligned} J_{m_1 m_2} &\leq C_1 \sum_{k_2=1}^{r_2} \sum_{k_1=1}^{r_1} \left(\int_0^{\frac{\pi}{r_2}} \int_0^{\frac{\pi}{r_1}} \left| \sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 dx_2 + \right. \\ &\quad + \int_0^{\frac{\pi}{r_2}} \int_0^{\frac{\pi}{r_1}} \left| \sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) B_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 dx_2 + \\ &\quad + \int_0^{\frac{\pi}{r_2}} \int_0^{\frac{\pi}{r_1}} \left| \sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) B_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 dx_2 + \\ &\quad \left. + \int_0^{\frac{\pi}{r_2}} \int_0^{\frac{\pi}{r_1}} \left| \sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) B_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) B_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 dx_2 \right) = \\ &= C_1 \sum_{k_2=1}^{r_2} \sum_{k_1=1}^{r_1} (J_{m_1 m_2}^{(1)} + J_{m_1 m_2}^{(2)} + J_{m_1 m_2}^{(3)} + J_{m_1 m_2}^{(4)}). \end{aligned}$$

Оценим сверху $J_{m_1 m_2}^{(1)}$.

$$J_{m_1 m_2}^{(1)} \leq C_2(p) (J_{m_1 m_2}^{(1,1)} + J_{m_1 m_2}^{(1,2)} + J_{m_1 m_2}^{(1,3)} + J_{m_1 m_2}^{(1,4)}),$$

где $J_{m_1 m_2}^{(1,1)} = \sum_{l_2=0}^{\infty} \int_{\frac{r_2(l_2+1)}{\pi}}^{\frac{\pi}{r_2(l_2+2)}} \left(\sum_{l_1=0}^{\infty} \int_{\frac{r_1(l_1+1)}{\pi}}^{\frac{\pi}{r_1(l_1+2)}} \left| \sum_{n_2=0}^{l_2} \sum_{n_1=0}^{l_1} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 \right) dx_2,$

$$J_{m_1 m_2}^{(1,2)} = \sum_{l_2=0}^{\infty} \int_{\frac{r_2(l_2+1)}{\pi}}^{\frac{\pi}{r_2(l_2+2)}} \left(\sum_{l_1=0}^{\infty} \int_{\frac{r_1(l_1+1)}{\pi}}^{\frac{\pi}{r_1(l_1+2)}} \left| \sum_{n_2=l_2+1}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{l_1} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 \right) dx_2,$$

$$J_{m_1 m_2}^{(1,3)} = \sum_{l_2=0}^{\infty} \int_{\frac{\pi}{r_2(l_2+2)}}^{\frac{\pi}{r_2(l_2+1)}} \left(\sum_{l_1=0}^{\infty} \int_{\frac{\pi}{r_1(l_1+2)}}^{\frac{\pi}{r_1(l_1+1)}} \left| \sum_{n_2=0}^{l_2} \sum_{n_1=l_1+1}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 \right) dx_2,$$

$$J_{m_1 m_2}^{(1,4)} = \sum_{l_2=0}^{\infty} \int_{\frac{\pi}{r_2(l_2+2)}}^{\frac{\pi}{r_2(l_2+1)}} \left(\sum_{l_1=0}^{\infty} \int_{\frac{\pi}{r_1(l_1+2)}}^{\frac{\pi}{r_1(l_1+1)}} \left| \sum_{n_2=l_2+1}^{\infty} \sum_{n_1=l_1+1}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) \bar{B}_{n_1, r_1, k_1}^1(x_1) \bar{B}_{n_2, r_2, k_2}^1(x_2) \right|^p dx_1 \right) dx_2.$$

Применяя лемму 2, получаем

$$J_{m_1 m_2}^{(1,1)} \leq C_1 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{-2} \left| \sum_{n_2=0}^{l_2} \sum_{n_1=0}^{l_1} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) (n_1 + 1)(n_2 + 1) \right|^p.$$

Ввиду того, что $\Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) = (a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2} - a_{k_1+n_1 r_1+r_1, k_2+n_2 r_2}) - (a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2+r_2} - a_{k_1+n_1 r_1+r_1, k_2+n_2 r_2+r_2})$ и $a_{n_1 n_2} \geq 0$, имеем

$$\sum_{n_2=0}^{l_2} \sum_{n_1=0}^{l_1} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) (n_1 + 1)(n_2 + 1) \leq C_2 \sum_{n_2=0}^{l_2} \sum_{n_1=0}^{l_1} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2},$$

где C_2 не зависит ни от $\{a_{n_1 n_2}\}$, ни от l_1 , ни от l_2 . Тогда

$$J_{m_1 m_2}^{(1,1)} \leq C_3 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{-2} \left(\sum_{n_2=0}^{l_2} \sum_{n_1=0}^{l_1} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2} \right)^p.$$

Применяя лемму 1, получаем:

$$J_{m_1 m_2}^{(1,1)} \leq C_4 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{-2} \left(\sum_{n_2=0}^{l_2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2} (l_1 + 1) \right)^p =$$

$$= C_4 \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{p-2} \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{-2} \left(\sum_{n_2=0}^{l_2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2} \right)^p.$$

Еще раз применяя лемму 1, имеем $J_{m_1 m_2}^{(1,1)} \leq C_5 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{p-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{p-2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}^p$,

где положительная постоянная C_5 не зависит от последовательности $\{a_{n_1 n_2}\}$.

Теперь оценим

$$J_{m_1 m_2}^{(1,2)} \leq C_6 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{p-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{-2} \left(\sum_{n_1=0}^{l_1} \sum_{n_2=l_2+1}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) (n_1 + 1) \right)^p \leq$$

$$\leq C_7 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{p-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{-2} \left(\sum_{n_1=0}^{l_1} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2} \right)^p.$$

Применяя лемму 1, получаем: $J_{m_1 m_2}^{(1,2)} \leq C_7 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{p-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{p-2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}^p$,

где положительная постоянная C_7 не зависит от последовательности $\{a_{n_1 n_2}\}$. $J_{m_1 m_2}^{(1,3)}$ оценивается так же, как $J_{m_1 m_2}^{(1,2)}$.

Наконец оценим

$$J_{m_1 m_2}^{(1,4)} \leq C_8 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{p-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{p-2} \left(\sum_{n_1=l_1+1}^{\infty} \sum_{n_2=l_2+1}^{\infty} \Delta_{11}^{(r_1, r_2)} (a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}) \right)^p \leq$$

$$= C_8 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{p-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{p-2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}^p,$$

где положительная постоянная C_8 не зависит от последовательности $\{a_{n_1 n_2}\}$.

Объединяя полученные оценки для $J_{m_1 m_2}^{(1,1)}$, $J_{m_1 m_2}^{(1,2)}$, $J_{m_1 m_2}^{(1,3)}$, $J_{m_1 m_2}^{(1,4)}$, получаем

$$J_{m_1 m_2}^{(1)} \leq C_9 \sum_{l_2=0}^{\infty} (l_2 + 1)^{p-2} \sum_{l_1=0}^{\infty} (l_1 + 1)^{p-2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}^p,$$

где положительная постоянная C_9 не зависит от последовательности $\{a_{n_1 n_2}\}$.

Аналогично оцениваются $J_{m_1 m_2}^{(2)}$, $J_{m_1 m_2}^{(3)}$, $J_{m_1 m_2}^{(4)}$.

Объединяя полученные оценки для $J_{m_1 m_2}^{(1)}$, $J_{m_1 m_2}^{(2)}$, $J_{m_1 m_2}^{(3)}$, $J_{m_1 m_2}^{(4)}$, получаем справедливость оценок сверху в утверждении.

Докажем оценки снизу. В процессе доказательства проверяется, что для каждого $k_1 = 1, \dots, r_1$, $k_2 = 1, \dots, r_2$ верна оценка

$$\|g(x_1, x_2)\|_p \geq C_{10} \left(\sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} (n_2 r_2 + k_2)^{p-2} (n_1 r_1 + k_1)^{p-2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}^p \right)^{1/p}, \quad (4)$$

где положительная постоянная C_{10} не зависит от последовательности $\{a_{n_1 n_2}\}$.

Например, получим оценку (4) для $k_1 = r_1$, $k_2 = r_2$. Введем вспомогательную функцию

$$g_1(x_1, x_2) = g(x_1, x_2) + \frac{1}{2} \sum_{m_2=1}^{r_2-1} (g(x_1, x_2 + 2\pi m_2 / r_2) + g(x_1, x_2 - 2\pi m_2 / r_2)).$$

$$g_2(x_1, x_2) = g_1(x_1, x_2) + \frac{1}{2} \sum_{m_1=1}^{r_1-1} (g_1(x_1 + 2\pi m_1 / r_1, x_2) + g_1(x_1 - 2\pi m_1 / r_1, x_2)) = r_1 r_2 \sum_{n_2=1}^{\infty} \sum_{n_1=1}^{\infty} a_{n_1 r_1, n_2 r_2} \sin(n_1 r_1 x_1) \sin(n_2 r_2 x_2).$$

С одной стороны, ясно, что $\|g_2(x_1, x_2)\|_p \leq C_{11} \|g(x_1, x_2)\|_p$. С другой стороны, к g_2 можно

применить теорему А, в соответствии с которой $\|g_2(x_1, x_2)\|_p \geq C_{12} \left(\sum_{n_2=1}^{\infty} \sum_{n_1=1}^{\infty} n_2^{p-2} n_1^{p-2} a_{n_1 r_1, n_2 r_2}^p \right)^{1/p}$.

Для других значений k_1 и k_2 также вводятся свои вспомогательные функции. Для их норм оценка снизу оказывается верна (по теореме А). Поскольку оценка (4) верна для каждого $k_1 = 1, \dots, r_1$, $k_2 = 1, \dots, r_2$, то она верна и для соответствующей суммы по всем k_1 и k_2 . С другой стороны,

$$\sum_{k_2=1}^{r_2} \sum_{k_1=1}^{r_1} \sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} (k_1 + n_1 r_1)^{p-2} (k_2 + n_2 r_2)^{p-2} a_{k_1+n_1 r_1, k_2+n_2 r_2}^p \geq C_{13} \sum_{n_2=1}^{\infty} \sum_{n_1=1}^{\infty} n_1^{p-2} n_2^{p-2} a_{n_1, n_2}^p,$$

где положительная постоянная C_{13} не зависит от последовательности $\{a_{n_1 n_2}\}$. Тем самым оценка снизу для $\|g(x_1, x_2)\|_p$ в (3) верна.

Утверждение доказано полностью.

Рассмотрим частный случай, когда r_1 равно 1 или 2 и r_2 равно 1 или 2. Проводя рассуждения, аналогичные приведенным в доказательстве утверждения, можно показать, что оценки, аналогичные неравенствам (3), верны не только для неотрицательных значений коэффициентов $a_{n_1 n_2}$. А именно, справедливо следующее

Замечание. Пусть $0 < p < \infty$, r_1 равно 1 или 2, r_2 равно 1 или 2, числовая последовательность

$$C_1 \left(\sum_{n_2=1}^{\infty} n_2^{p-2} \sum_{n_1=1}^{\infty} n_1^{p-2} |a_{n_1 n_2}|^p \right)^{1/p} \leq \|g(x_1, x_2)\|_p \leq C_2 \left(\sum_{n_2=1}^{\infty} n_2^{p-2} \sum_{n_1=1}^{\infty} n_1^{p-2} |a_{n_1 n_2}|^p \right)^{1/p},$$

где положительные постоянные C_1 и C_2 не зависят от $\{a_{n_1 n_2}\}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Изд-во МГУ, 2004.
2. Уиттекер, Э. Т. Курс современного анализа. Ч. 1 / Э. Т. Уиттекер, Дж. Н. Ватсон. – М.: Физматгиз, 1962.
3. Вуколова, Т. М. Оценки норм двойных двойных тригонометрических рядов с кратно монотонными коэффициентами / Т. М. Вуколова, М. И. Дьяченко // Известия вузов. Математика, 1994. – № 7. – С. 20–28.
4. Симонов, Б. В. Ряды по синусам и косинусам из класса OB_r / Б. В. Симонов, И. Э. Симонова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 16. № 8(111). С. 38–45.

$\{a_{n_1 n_2}\}$ удовлетворяет условию А и такова, что для каждого значения $k_1 = 1, \dots, r_1$ и для каждого значения $k_2 = 1, \dots, r_2$ $\Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1 + (n_1 - 1)r_1, k_2 + (n_2 - 1)r_2}) \geq 0$ для любых натуральных n_1, n_2 или $\Delta_{11}^{(r_1, r_2)}(a_{k_1 + (n_1 - 1)r_1, k_2 + (n_2 - 1)r_2}) \leq 0$ для любых натуральных n_1, n_2 . Тогда ряд (1) сходится по Прингсхейму всюду, кроме, может быть, множества плоской меры нуль, и для его суммы $g(x_1, x_2)$ справедливы неравенства

5. Симонов, Б. В. Соотношения между модулями гладкости в разных метриках / Б. В. Симонов, И. Э. Симонова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 16. № 8(111). С. 34–38.
6. Симонов, Б. В. О тригонометрических рядах с (k,s)-монотонными коэффициентами в пространствах с весом // Известия вузов. Математика, 2003. – № 5. – С. 42–54.
7. Симонов, Б. В. О тригонометрических рядах в пространствах Орлича – Лоренца // Известия вузов. Математика, 2007. – № 6. – С. 64–76.
8. Симонов, Б. В. О рядах по синусам и косинусам в классах L_φ // Известия вузов. Математика, 2013. – № 10. – С. 24–42.

УДК 539.193/.194;535/.33.34

П. М. Элькин, В. В. Смирнов, Е. Ю. Степанович, О. М. Алыкова

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТАУТОМЕРОВ МОНОНИТРОЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗОХИНОНА, ГАММА-ПИРОНА, 4-ТИОПИРОНА

Астраханский государственный университет
stepekyr1@mail.ru

В рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP осуществлены модельные квантовые расчеты геометрической структуры и колебательных спектров мононитрозамещенных бензохинона, гамма-пирона, тиопирона. Выявлены признаки спектральной идентификации соединений. Обосновывается возможность использования информационной технологии «Gaussian» в предсказательных расчетах структуры и спектров замещенных шестичленных циклических соединений.

Ключевые слова: нитрозамещенные бензола, бензохинона, гамма-пирона, тиопирона, колебательные спектры, спектроскопическая идентификация.

P. M. Elkin, V. V. Smirnov, E. Yu. Stepanovich, O. M. Alykova

MODELING OF ADIABATIC POTENTIALS FOR α - AND β - CARBOXYLIC SUBSTITUTED OF GAMMA-PYRONES IN CONDENSATED STATION

Astrakhan State University

An analysis of vibrational spectra and geometric structure mononitrosubstituted benzoquinone, gamma-pyrone, thio-pyrone 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 compounds is motivated.

Keywords: nitrosubstituted benzol, benzoquinone, gamma-pyrone, thiopyrone vibrational spectra, spectroscopical identification.

Согласно современным научным взглядам форма адиабатического потенциала определяет основные физико-химические свойства молекулярных объектов.

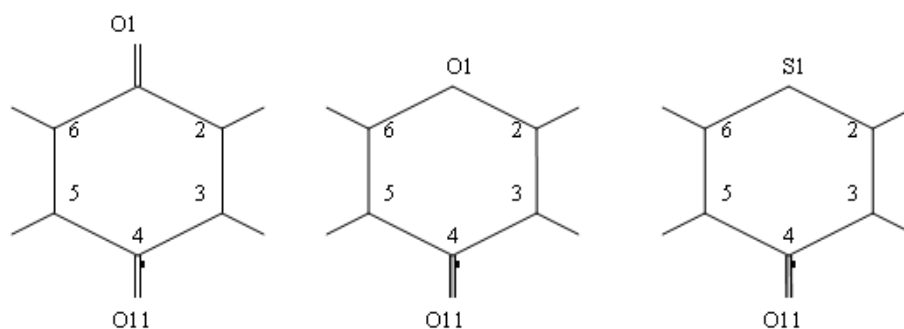
Возможность использования квантовых методов анализа электронной структуры в теории строения молекул [1] для оценки параметров адиабатического потенциала напрямую связана с обоснованием достоверности получаемых расчетных данных.

Основным аргументом принято считать хорошее совпадение результатов теоретической интерпретации спектра фундаментальных колебаний для исследуемого молекулярного объекта с имеющимся экспериментальным отнесением полос в спектрах ИК и КР. Указанный аргумент использовался при классическом подходе в теории молекулярных колебаний, основанном на решении обратных спектральных задач, для оценки гармонических силовых постоянных [2]. При этом приближение для процедуры вариации исходного силового поля заимствовали из родственных по электронной структуре молекулярных фрагментов. Такой подход требовал также и наличия полной информации об экспериментальной интерпретации спектра фундаментальных колебаний не только для базового соединения, но и его изо-

торозамещенных аналогов.

Недостатки классического подхода для оценки параметров адиабатического потенциала молекулярного соединения хорошо известны. Это послужило толчком к привлечению неэмпирических и гибридных методов квантовой химии [1] к построению структурно-динамических моделей молекулярных соединений различных классов.

Сначала квантовые методы использовались для устранения имеющихся разногласий в интерпретации спектров, предлагаемых в периодической литературе. Подробности можно почерпнуть, к примеру, из монографии [3]. Дальнейшее развитие квантовых методов привело к становлению нового перспективного направления в физике молекул, получившего название молекулярного моделирования. Появилась возможность осуществления предсказательных квантовых расчетов структуры и спектров сложных молекулярных соединений. Для обоснования их достоверности стали привлекать физические закономерности в спектроскопических характеристиках отдельных полос, данные по оценке параметров адиабатического потенциала, относящихся к известным молекулярным фрагментам. В этом плане содержание монографии [2] трудно переоценить.



Нумерация атомов в бензохиноне, 4-гамма-пироне, 4-тиопироне

В данной публикации предложена методика обоснования достоверности предсказательных квантовых расчетов структуры и колебательных спектров ряда моонитрозамещенных шестичленных циклических соединений. Построение их структурно-динамических моделей осуществлено в рамках метода функционала плотности DFT/B3LYP [4].

Результаты модельных квантовых расчетов и их обсуждение

Представленные в табл. 1–5 данные по геометрии и спектрам фундаментальных колебаний моонитрозамещенных бензола, бензохинона

(НБХ), гамма-пирона (НГП) и тиопирона (НТП) получены при использовании в модельных квантовых расчетах базиса 6-311G**[4]. Учет диффузных параметров базиса (311+G**, 311G++**) принципиального значения не имеет.

Исходным критерием достоверности модельных расчетов являлось воспроизведение частот крутильных колебаний нитрогруппы, чего можно достигнуть при принадлежности таутомеров 3-НБХ, 3-НГП, 3-НТП к группе симметрии C₁. Значения двугранных углов между плоскостями шестичленных циклических фрагментов и плоскостью нитрогруппы оценивается соответственно

следующими значениями 50, 30 и 40 градусов. Данный факт можно отнести к результату отталкивания атомов кислорода связи C=O циклического фрагмента и нитрогруппы (см. приведенный выше рисунок). Отметим, что для нитро-

группы расчетные значения длин валентных связей C=O располагаются в интервале – 1.21–1.23 Å, для валентных углов CNO таковым является диапазон ~116–118°, для валентного угла ONO – 125–127°. Для связи CN имеем оценки ~ 1.48–1.50 Å.

Таблица 1

Оценка геометрических параметров циклических фрагментов моонитрозамещенных бензохинона (НБХ), гамма-пирона (НГП), тиопирона (НТП)

Валентная связь	БХ	НБХ	ГП	2-НГП	3-НГП	ТП	2-НТП	3-НТП
R(1,2)	1,49	1,49	1,36	1,34	1,34	1,74	1,75	1,72
R(1,6)	1,49	1,48	1,36	1,36	1,37	1,74	1,74	1,74
R(2,3)	1,34	1,33	1,34	1,34	1,35	1,35	1,34	1,35
R(3,4)	1,49	1,50	1,47	1,48	1,49	1,47	1,48	1,48
R(5,6)	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,35	1,35	1,34
R(4,5)	1,49	1,48	1,47	1,47	1,48	1,47	1,47	1,47
A(2,1,6)	117	117	118	117	118	101	99	101
A(1,2,3)	121	121	124	126	124	126	128	126
A(1,2,7)	116	122	111	111	113	113	113	114
A(2,3,4)	121	117	121	120	122	125	125	126
A(2,3,8)	123	122	120	120	116	119	118	115
A(3,4,5)	117	119	113	113	111	117	117	115
A(3,4,11)	121	118	124	123	127	122	121	124
A(4,5,6)	121	123	121	121	123	126	125	127
A(4,5,9)	116	122	119	119	117	115	116	114
A(1,6,5)	121	115	124	123	123	126	127	125
A(1,6,10)	116	123	111	110	111	113	111	113

П р и м е ч а н и е . Значения длин валентных связей – в Å, валентных углов – в градусах.

Методика использования квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала для молекулярных объектов в рамках метода функционала плотности DFT/B3LYP подробно изложена, к примеру, в публикации [5]. Аprobация осуществлена на задачах построения структурно-динамических моделей ряда биомолекул [6, 7].

В табл. 2 сопоставлены результаты интерпретации спектра фундаментальных колебаний циклического фрагмента моонитробензола с аналогичными данными для монодейтеро- и моногалоидозамещенных бензола. Для этих соединений следует констатировать хорошее совпадение результатов теоретической интерпретации колебательных состояний, основанной на результатах квантовых оценок

параметров адиабатического потенциала, с экспериментальными данными из спектров ИК и КР, представленными в монографии [2] и публикации [8]. При этом корреляция частот фундаментальных колебаний дает основание предположить, что влияние нитрогруппы (NO₂) на силовое поле бензольного циклического фрагмента носит локальный характер [3], что проявляется в свойстве характеристичности колебаний по частоте в диапазоне выше 1000 см⁻¹. Смещение полос, отнесенных к деформационным колебаниям валентных углов циклического фрагмента (γ), обусловлено кинематическими параметрами заместителей (длинами связей C-X и массами атомов). Это касается и плоского деформационного колебания связей C-X (β_{CX}).

Таблица 2

Интерпретация колебаний циклического фрагмента нитробензола (НБ)

Форма колебаний	C ₆ H ₅ D		C ₆ H ₅ F		C ₆ H ₅ Cl		C ₆ H ₅ Br		C ₆ H ₅ NO ₂			
	V _{экс}	V _{выч}	V _{экс}	V _{выч}	V _{экс}	V _{выч}	V _{экс}	V _{выч}	V _{экс}	V _{выч}	ИК	КР
Q,γ,β	1591	1578	1603	1602	1583	1586	1585	1582	1612	1606	50	0
Q,γ,β	1574	1561	1595	1598	1580	1582	1577	1577	1608	1579	3	55
β,Q	1480	1479	1496	1487	1479	1471	1475	1467	1482	1463	11	0
β,Q	1450	1451	1460	1450	1443	1440	1441	1437	1460	1443	1	0
β,Q	-	1323	1326	1311	1322	1310	1319	1309	1316	1313	12	1
β,Q	1292	1287	-	1290	1263	1286	1263	1284	1308	1296	1	0
β	1176	1154	1156	1151	1174	1169	1176	1171	1174	1161	2	4
β	1158	1150	1156	1147	1157	1154	1158	1155	1152	1150	0	5
β	1076	1082	1065	1064	1083	1072	1068	1071	1069	1068	10	0
γ,β,Q	1031	1017	1021	1015	1024	1019	1020	1014	1020	1014	5	12
γ	1007	989	1009	995	1002	992	1001	990	1002	991	0	25
γ	980	969	806	805	702	692	673	666	693	680	9	2
γ	601	608	613	615	615	615	614	614	613	612	0	6
γ	603	604	519	514	418	405	315	307	397	387	1	3
β _{СХ}	858	843	407	396	279	292	254	245	265	253	1	1
ρ	995	984	997	968	987	980	990	979	998	991	0	0
ρ	970	960	970	949	965	956	964	955	975	972	0	0
ρ	922	916	896	886	903	896	905	897	936	939	4	1
ρ	849	847	818	813	830	822	832	824	838	837	0	1
ρ	775	777	754	751	740	737	737	733	791	778	20	1
χ	698	693	687	682	682	688	681	686	675	675	13	0
χ,ρ _{СХ}	608	603	519	501	470	470	460	459	425	435	1	0
χ	405	397	407	416	418	409	409	406	399	408	0	0
ρ _{СХ} ,χ	380	383	242	235	196	184	181	164	180	166	1	3

Примечание. Частоты колебаний (ν) – в см⁻¹, интенсивности в спектрах ИК – в км/моль, в спектрах КР – в Å/а.е.м.

Для молекулы нитробензохинона не располагаем экспериментальными данными по спектрам ИК и КР, потому предлагаемая интерпретация спектра фундаментальных колебаний носит предсказательный характер (табл. 3). Обоснованием достоверности результатов может служить характер корреляции частот базовой молекулы – бензохинона, монодейтерозамещенного аналога (БХ-d1) и моногалоидозамещенных бензохинона (F-БХ, Cl-БХ).

Хорошее совпадение результатов теоретической интерпретации спектра фундаментальных колебаний для БХ и БХ-d1 с имеющимся экспериментом [9, 10] подтверждает предсказательные возможности применения метода функционала плотности в задаче построения структурно-динамических моделей для шестичленных циклических соединений.

Таблица 3

Интерпретация колебаний циклического фрагмента нитробензохинона (НБХ)

Форма колебаний	V _{экс} [7]	БХ-d1		F-БХ			Cl-БХ			NO ₂ -БХ		
		V _{экс}	V _{выч}	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР
Q _{C=O} ,γ	1686	1679	1702	1711	225	100	1711	218	57	1715	231	71
Q _{C=O} ,γ	1686	1664	1685	1691	178	151	1690	162	164	1698	132	180
Q,β,γ	1635	-	1624	1659	55	20	1636	2	24	1648	2	39
Q,β,γ	1614	1588	1589	1612	55	0	1591	92	20	1610	30	4

Окончание табл. 3

Форма колебаний	$\nu_{\text{экс}}$ [7]	BX-dI		F-BX			Cl-BX			NO ₂ -BX		
		$\nu_{\text{экс}}$	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР
β, Q	1394	1363	1356	1349	6	16	1347	6	14	1350	3	16
β, Q	1354	1323	1307	1324	48	3	1286	19	6	1304	19	8
Q, β, γ	1299	1284	1250	1261	59	12	1251	102	12	1252	110	7
β, Q	1211	1201	1171	1150	30	20	1171	3	21	1172	2	21
β, Q	1147	1100	1088	1071	94	9	1080	29	11	1085	61	11
γ, Q	942	962	956	874	13	3	828	19	3	805	8	1
γ, Q	770	765	746	770	1	1	763	1	2	774	20	6
γ	728	-	700	669	7	8	626	10	6	585	8	4
$\beta_{\text{C=O}}$	599	595	581	584	4	3	547	11	4	521	7	2
γ	447	-	447	471	3	6	457	5	10	454	3	9
γ	447	445	435	428	8	4	422	20	2	418	20	2
$\beta_{\text{C=O}}$	409	407	404	385	13	1	335	2	2	301	1	2
β_{CX}	1051	875	859	301	0	1	227	0	3	187	2	2
ρ	996	988	1002	996	0	0	999	0	0	1002	0	1
ρ, χ	969	933	949	888	75	0	907	53	0	925	36	1
ρ, χ	882	850	856	832	5	4	831	19	2	850	31	2
$\chi, \rho_{\text{C=O}}$	793	792	783	761	0	6	772	0	5	706	1	2
χ, ρ	747	670	678	613	3	1	591	0	3	462	1	1
ρ_{CX}, χ	505	474	478	404	0	0	386	2	0	321	1	1
χ	310	300	325	270	0	2	259	0	2	240	0	3
χ	244	238	224	170	2	1	149	3	1	130	8	1
χ	89	108	92	90	9	0	83	9	0	83	5	1

Подтверждается свойство характеристичности фундаментальных колебаний по частоте в диапазоне свыше 1000 см^{-1} . Смещение полос, отнесенных к плоским деформационным колебаниям валентных углов шестичленного цикла,

объясняется кинематическими параметрами (длиной связи C-X и массой заместителя X). Характерна низкая интенсивность для большинства полос неплоских колебаний (ρ, χ) монозамещенных BX.

Таблица 4

Интерпретация колебаний циклического фрагмента нитрогамма-пирона (НГП)

Форма колебаний	ГП		2d	2F	2Cl	2-NO ₂			3d	3F	3Cl	3-NO ₂		
	$\nu_{\text{экс}}$	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	$\nu_{\text{выч}}$	ИК	КР
$Q_{\text{C=O}}$	1700	1696	1695	1701	1699	1702	376	85	1691	1702	1706	1723	398	45
Q, β, γ	1637	1628	1617	1664	1628	1645	0	54	1624	1645	1628	1639	46	42
Q, β	1593	1580	1561	1591	1566	1580	22	19	1573	1584	1565	1562	71	6
β	1417	1392	1386	1374	1375	1377	10	2	1385	1388	1377	1372	9	3
β, Q, γ	1398	1386	1355	1357	1321	1347	114	12	1369	1361	1335	1356	6	16
β	1216	1198	1236	1230	1223	1228	30	4	1304	1292	1298	1291	234	4
β	1197	1180	1198	1177	1189	1185	0	0	1185	1161	1190	1190	4	6
β, Q, γ	1029	1017	1067	1026	1013	1025	9	14	1099	1094	1081	1103	19	2
γ, Q	1004	997	987	928	918	933	74	4	1002	968	951	945	41	5
γ, Q	922	917	951	912	856	883	44	2	917	862	836	862	59	4
γ, Q	790	799	841	743	699	680	3	4	760	722	666	657	6	3
γ	474	491	491	532	501	499	2	3	488	577	538	530	0	5

Окончание табл. 4

Форма колебаний	ГП		2d	2F	2Cl	2-NO ₂			3d	3F	3Cl	3-NO ₂		
	V _{эсп}	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	ИК	КР
$\gamma, \beta_{C=O}$	638	631	623	513	472	438	11	2	627	538	517	439	3	1
γ	453	447	444	481	405	363	0	5	436	440	373	341	0	2
β_{CX}	1319	1305	880	360	258	208	4	0	851	290	225	210	1	0
ρ	969	954	947	944	951	956	0	0	947	946	948	953	0	0
ρ, χ	922	947	900	847	867	900	32	2	911	861	881	931	10	2
ρ	857	855	775	811	818	830	34	2	846	831	835	837	54	1
$\rho_{C=O}, \chi$	790	819	734	707	709	704	1	4	765	737	740	707	2	3
ρ_{CX}, χ	724	719	709	648	586	509	10	1	628	503	481	463	16	2
χ	430	436	423	404	403	403	5	0	429	401	401	375	0	1
χ	-	395	364	202	160	151	9	0	388	296	253	214	4	1
χ	-	155	155	155	151	145	0	1	152	132	119	102	1	1

Предсказательная интерпретация спектра фундаментальных колебаний 2- и 3-таутомеров нитрогамма-пирона предложена в табл. 4. Для подтверждения достоверности модельных квантовых расчетов приведено сопоставление полученных результатов с отнесением 2- и 3-монодейтерогамма-пионов. При этом силовое поля для них заимствовано из базового соеди-

нения, достоверность оценочных значений которого наглядно подтверждается наличием эксперимента [11]. Имеющуюся корреляционную зависимость положения полос в различных спектральных диапазонах при монозамещении можно использовать в качестве аргумента для обоснования достоверно предложенного отнесения для НГП.

Таблица 5

Интерпретация колебаний циклического фрагмента нитротииопирона

Форма колебаний	ТП	2d	2F	3Cl	2-NO ₂			3d	3F	3Cl	3-NO ₂		
	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	V _{выч}	ИК	КР
Qc=о,γ	1687	1687	1685	1682	1673	360	95	1683	1689	1691	1694	371	58
Q,β	1597	1590	1626	1595	1608	59	29	1592	1608	1586	1593	98	37
Q,β	1558	1548	1573	1554	1554	7	5	1548	1564	1546	1544	19	9
β,Q	1361	1350	1353	1354	1351	12	7	1349	1370	1353	1347	53	21
β,Q	1350	1295	1287	1271	1280	42	1	1333	1337	1316	1319	45	7
β,Q	1235	1233	1213	1230	1217	1	3	1215	1199	1207	1198	14	9
β,Q	1173	1148	1149	1146	1145	19	15	1127	1110	1124	1117	23	2
γ,Q	899	949	892	839	874	26	3	973	885	828	890	8	1
γ,Qs	746	738	757	755	771	6	1	742	786	764	756	17	12
γ,Qs	733	674	703	698	701	27	5	705	738	730	715	28	3
γ	684	665	640	609	617	3	7	670	637	593	586	2	4
γ,β _{C=O}	557	552	478	449	441	6	5	553	538	517	533	12	3
γ	427	425	456	429	416	5	6	420	440	418	417	4	9
γ	408	406	390	343	316	3	3	407	390	337	310	1	3
β _{CX}	1123	848	324	230	197	6	0	858	306	236	210	0	1
ρ,χ	973	965	956	958	960	0	0	965	954	958	959	0	0
ρ,χ	964	920	857	879	913	26	2	892	834	848	875	26	1
ρ,ρ _{C=O} ,χ	843	812	788	787	804	38	2	828	803	807	820	39	2
χ,ρ _{C=O}	734	719	644	637	631	22	4	697	679	677	648	19	4
χ,ρCN	613	592	513	482	413	0	0	546	426	406	368	1	1
χ	365	365	358	358	361	0	0	363	355	361	344	1	2
χ	361	332	191	159	151	5	1	353	247	209	179	3	2
χ	113	112	109	105	109	2	2	111	101	91	79	2	2

Для тиопирона не располагаем даже отдельными данными эксперимента по ИК- и КР-спектрам, поэтому в табл. 5 приводим предсказательные результаты интерпретации спектров фундаментальных колебаний для ТП и его 2- и 3-дейтеротаутомеров. Методика таких модельных расчетов выбиралась как и для гамма-пирона.

Если согласиться с достоверностью результатов для ТП, ТП-2d, ТП-3d, то характер корреляционной зависимости частот фундаментальных колебаний для них и 2- и 3-таутомеров НТП следует использовать в качестве аргумента достоверности представленной интерпретации ТП и его замещенных аналогов.

Таблица 6

Интерпретация колебаний нитрофрагмента

Форма колебаний	$\nu_{\text{экс}}$ [7]	НБ		НБХ		НГП-2-NO ₂		НГП-3-NO ₂		НТП-2-NO ₂		НТП-3-NO ₂	
		$\nu_{\text{выч}}$	Инт	$\nu_{\text{выч}}$	Инт	$\nu_{\text{выч}}$	Инт	$\nu_{\text{выч}}$	Инт	$\nu_{\text{выч}}$	Инт	$\nu_{\text{выч}}$	Инт
ИК спектр													
$Q_{N=O}$	1527	1552	192	1588	225	1604	286	1584	106	1580	191	1577	89
$Q_{N=O}$	1351	1339	280	1362	133	1341	259	1341	213	1336	216	1338	186
γ_{ONO}	852	848	38	870	21	808	23	807	22	779	24	806	40
β_{CNO}	531	515	1	633	3	533	2	559	12	468	2	453	3
ρ_{NC}	704	696	69	768	0	751	4	763	2	719	0	725	1
X_{ONO}	62	52	0	47	1	48	1	55	1	54	2	57	0
Спектр КР													
$Q_{N=O}$	1527	1552	11	1588	7	1604	14	1584	3	1580	35	1577	19
$Q_{N=O}$	1351	1339	138	1362	25	1341	66	1341	32	1336	61	1338	32
γ_{ONO}	852	848	9	870	3	808	10	807	15	792	6	806	3
β_{CNO}	531	515	3	633	3	533	1	559	3	460	3	453	2
ρ_{NC}	704	696	2	768	5	751	1	763	2	724	0	725	6
X_{ONO}	62	52	0	47	3	48	0	55	2	54	0	57	2

Остальные выводы относительно характеристичности и свойств параметров полос в модельных квантовых расчетах для различных диапазонов совпадают с таковыми для рассмотренных выше соединений НБ, НБХ, НГП (табл. 2–4).

Интерпретация фундаментальных колебаний нитрогруппы представлена в табл. 6. Экспериментальные данные заимствованы из публикаций [6]. За исключением положения полос, отнесенных к деформационным колебаниям валентных углов ONO (γ_{ONO}) и CNO (β_{CNO}), относительное смещение остальных полос не превышает величины $\sim 50 \text{ см}^{-1}$. К характеристичным по частоте, форме колебаний и интенсивности можно отнести симметричные валентные колебания связей $C=O$ ($Q_{N=O}$), неплоские колебания типа ρ_{NC} и X_{ONO} [2]. В качестве признака спектроскопической идентификации таутомеров НГП и НТП можно использовать интенсивность (ИК) полосы антисимметричного валентного колебания связи $N=O$ ($Q_{N=O}$).

К валентным колебаниям связи CN можно отнести (по форме колебаний) полосы из диапазона $980 - 1078 \text{ см}^{-1}$. Однако для таутомеров такое расхождение не превышает величины $\sim 30 \text{ см}^{-1}$. Интенсивность указанных полос, согласно расчетам, незначительна. Использовать параметры этих полос в качестве признака спектроскопической идентификации затруднительно.

Заключение

Сопоставление результатов теоретической экспериментальной интерпретации спектра фундаментальных колебаний ряда монодейтеро- и мононитрозамещенных шестичленных циклических соединений дает основание для следующих выводов:

- метод функционала плотности DFT/B3LYP позволяет осуществлять достоверные предсказательные расчеты колебательных состояний исследуемых;
- монозамещение оказывает локальное влияние на силовое поле шестичленного цикла со-

единений. Это проявляется в свойствах характеристичности ряда частот фундаментальных колебаний; закономерностях кинематического смещения полос, отнесенных к колебаниям шестичленного фрагмента;

– полученные результаты могут иметь практическое значение для обоснования достоверности результатов предсказательных расчетов монозамещенных шестичленных циклических соединений, поскольку снимают трудности в интерпретации полос, отнесенных фрагменту-заместителю для различных позиционных таутомеров и их возможных конформеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минкин, В. И. Теория строения молекул / В. И. Минкин, Б. Я. Симкин, Р. М. Мендяев. – Ростов н / Д : Феникс, 1997. – 560 с.
2. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука, 1970. – 550 с.
3. Пулин, В. Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В. Ф. Пулин, М. Д. Элькин, В. И. Березин. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2002. – 530 с.
4. Frisch, M. J. Gaussian / M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel // Pittsburg PA: Inc. et al. 2003.
5. Программно-аналитическая поддержка задач молекулярного моделирования / Е. А. Эрман, М. Д. Элькин, Г. П. Стефанова, Н. А. Равчеева // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10(97). С. 63–67.
6. Моделирование структуры дофимина и адреналина / М. Д. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова, А. Р. Гайсина, О. М. Алыкова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10(97). С. 47–55.
7. Элькин, П. М. Структурно-динамические модели и спектроскопическая идентификация таутомеров 5-карбоксицитозина в конденсированном состоянии / П. М. Элькин, О. Н. Гречухина, Д. Д. Кочергина, А. М. Лихтер // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12(139). С. 26–31.
8. Элькин, П. М. Структурно-динамические модели и колебательные спектры нитробензола и нитропиридинов / П. М. Элькин, В. Ф. Пулин, Э. К. Костерина // Журнал Прикладной Спектроскопии. – 2005. – Т. 72, № 4. – С. 459–453.
9. Giraldo, A. Vibrational analysis of chlorinated p-benzoquinone / A. Giraldo, C. Pecile // J. of Mol. Spectroscopy, 1979. – Vol. 77. – P. 347–384.
10. Lanelli, B. The vibrational spectra of quinines. Infrared spectra of single crystals of 1,4-benzoquinone and 1,4-benzoquinone-d4 / B. Lanelli, C. Pecile // Spectrochim. Acta. 1973. – Vol. 29A. – P. 1989–1999.
11. Fausto, R. Vibrational spectroscopy and ab initio MO study of molecular structure and vibrational spectra of α - and γ -pyrones / R. Fausto, G. Quinteiro, S. Breda // J. of Mol. Structure. – 2001. – Vol. 598. – P. 287–303.
12. Giraldo, A. Vibrational analysis of chlorinated p-benzoquinone / A. Giraldo, C. Pecile // J. Mol. Spectroscopy. 1979. Vol. 77. – P. 347–384.
13. Lanelli, B. The vibrational spectra of quinines. Infrared spectra of single crystals of 1,4-benzoquinone and 1,4-benzoquinone-d4 / B. Lanelli, C. Pecile // Spectrochim. Acta. 1973. – Vol. 29A. – P. 1989–1999.
14. Fausto, R. Vibrational spectroscopy and ab initio MO study of molecular structure and vibrational spectra of α - and γ -pyrones / R. Fausto, G. Quinteiro, S. Breda // J. of Mol. Structure. 2001. Vol. 598. – P. 287–303.
15. Элькин, П. М. Математическое моделирование структуры и динамики димеров урацила и азаурацилов / П. М. Элькин, М. А. Эрман, В. М. Карташов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10(97). С. 55–63.
16. Эрман, Е. А. Компьютерное моделирование внутри-молекулярного взаимодействия в эхинохроме / Е. А. Эрман, П. М. Элькин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 8. № 6(66). С. 41–46.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК656.61.052: 011.56
ББК39.471.55

И. В. Адерихин¹, М. Г. Воротынцева², Л. В. Цветкова¹

МЕТОД УЧЕТА БОРТОВОЙ КАЧКИ СУДНА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

¹ФГБОУ ВО «Московская государственная академия водного транспорта» (МГАВТ)

²Каспийский институт морского и речного транспорта (филиал)

ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта» (ВГУВТ)

a7963180@yandex.ru, marina.ast@bk.ru, niceorca@bk.ru

Предложен метод учета бортовой качки судна при определении его местоположения с использованием спутниковых навигационно-информационных систем, позволяющий обеспечить повышение точности определения места судна, находящегося под влиянием бортовой качки.

Ключевые слова: повышение точности определения места судна, бортовая качка, период качки, антенна, приемоиндикатор спутниковой навигации, спутниковая информационно-навигационная система.

I. V. Aderikhin¹, M. G. Vorotynceva², L. V. Tsvetkova¹

THE METHOD OF ACCOUNTING ROLL OF A VESSEL IN DETERMINING ITS LOCATION WITH THE USE OF INFORMATIONAL NAVIGATION SYSTEMS

*Federal budget educational institution IHE “Moscow State Academy of Water Transport” (MSAWT)

**Caspian Institute of Sea and River Transport – Branch of VSUWT

The method of accounting roll of a vessel in determining its location using satellite navigational information systems, which allows to provide increase accuracy of the location of the vessel, under the influence of roll.

Keywords: Improving the accuracy of determining the location of a ship, the rolling, the period rolling, the angle of heel, antenna, receiver-satellite navigation system, informational navigation systems.

1. Актуальность решаемой задачи

Анализ информационных источников, посвященных рассмотрению влияния качки на судно, показал [2, 3, 5], что все они, в основном, касаются вопросов, связанных с решением следующих задач:

- оценка влияния на параметры различных видов качки скорости хода судна, трехмерности обтекания его корпуса, направления движения судна по отношению к направлению бега волн;
- изучение вопросов устойчивости стационарных режимов бортовой качки большой амплитуды и обнаружения так называемых хаотических колебаний, существенно влияющих на динамическую устойчивость судна на регулярном волнении;

– учет влияния на характеристики качки особенностей формы корпуса судов и технических средств освоения океана практически с любой точностью при помощи методы компьютерного расчета и др.

Как показывает практика эксплуатации судов в сложных навигационных условиях, включая и бортовую качку [1, 4], снижается точность определения места судна. Одной из важнейших задач обеспечения безопасности судо-вождения в условиях бортовой качки является высокоточное определение места судна, поэтому учет влияния бортовой качки необходим при оценивании местоположения судна. Во время бортовой качки судна появляются статический крен и переменный крен (динамический

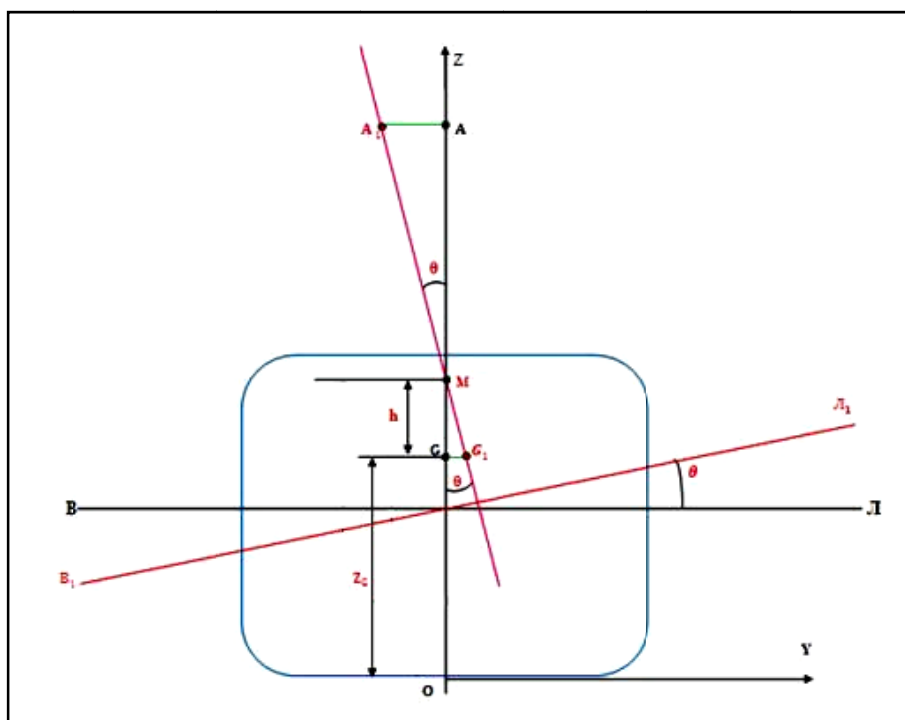
крен), вызывающие смещение антенны судового приемоиндикатора спутниковой навигации (СП СН). В зависимости от значения угла крена и расстояния от киля до кончика антенны смещение антенны может достигать несколько метров (т. е. изменяется высота антенны и местоположение ее кончика), что влечет появление погрешности в точности определении места судна. Поэтому при исследовании влияния бортовой качки на точность определения местоположения судна целесообразно располагать методом ее учета, который позволил бы повысить точность определения местоположения судна, находящегося под воздействием качки.

2. Сущность метода повышения точности определения местоположения судна, находящегося под влиянием бортовой качки

Учитывая, что современные суда оснащены судовой аппаратурой спутниковых навигационно-информационных систем, позволяющей получать информацию о местоположении судна с дискретностью 1-й секунды, то появляется возможность разработки метода повышения

точности определения местоположения судна, находящегося под влиянием бортовой качки, с использованием этих систем. Основные положения этого метода включают следующие процедуры:

1) введение до наступления события (бортовой качки) в СП СН (судовую автоматическую идентификационную систему (АИС)) следующих исходных данных перед выполнением рейса: фактическая осадка судна – $T_{гр}$; водоизмещение судна водоизмещения в грузу или в балласте – $D_{гр}$; аппликата центра тяжести судна в грузу или балласте Z_G ; метациентрическая высота – h . Эти данные берутся из судовой грузовой программы (например, «Loadstar» – грузовая программа для контейнеровозов; Язык: ENG Год: 2007; Версия: 1.0), которая адаптирована для судна «Лузон Стрейт» [6]. С помощью нее грузовой офицер рассчитывает эти параметры каждый раз перед выходом из порта. Также заносится расстояние между килем судна и кончиком антенны – AO ; данные величины приведены на рисунке;



Величины, используемые для расчета погрешности места судна

2) определение при наступлении бортовой качки и введение в СП СН (АИС) значений: длины волны – λ , курсового угла волны – q и высоты волны – h_B . Курсовой угол и высоту волны дает нам программа Ship Performance

Optimisation System (SPOS) [7], которая учитывает погодные условия для всего мира, а длина волны высчитывается при помощи навигационного калькулятора «Расчет характеристик волны» [8];

3) после ввода значений h , AO и z_G в приемоиндикаторе происходит вычисление значения расстояния между метацентром и кончиком антенны по формуле

$$AM = AO - h - z_G, \quad (1)$$

где AM – расстояния между метацентром и кончиком антенны; AO – расстояние между килем и кончиком антенны; h – значение метацентрической высоты; z_G – аппликата центра тяжести судна в грузу;

4) введение угла крена в СП СН. Угол крена может поступать на СП СН АИС несколькими способами:

- например, от датчиков учета параметров морской качки, имеющихся на судах;
- судовых СП СН ГНСС ГЛОНАСС/GPS с функцией выдачи координат, углов курса, крена и дифферента и др.;

5) после введения параметров волны, таких как длина и курсовой угол волны, происходит расчет периода вынужденных колебаний судна на регулярном волнении τ_c :

$$\tau_c = \frac{\lambda}{1,25\sqrt{\lambda} + 0,514V \cos q}, \quad (2)$$

где λ – длина волны; V – скорость судна (берется из приемоиндикатора); q – курсовой угол волны.

Также при помощи гидростатических таблиц или грузовой программы, мы можем получить период вынужденных колебаний судна;

6) вычисление значения смещения антенны в данный момент времени, для получения модуля вектора поправки местоположения судна по формуле

$$A_1A(\tau_c) = AM \sin \theta, \quad (3)$$

где $A_1A(\tau_c)$ – смещение антенны (модуль вектора поправки местоположения судна); AM – расстояние от метацентра до кончика антенны [формула (1)]; θ – значение угла крена в градусах; τ_c – период вынужденных колебаний судна на регулярном волнении;

7) рассчитанные значения смещения антенны $A_1A(\tau_c)$, исправляются переводным коэффициентом ($K_p = 0,0005399568$) в морские мили и поступают на блок коррекции.

Потом $A_1A(\tau_c)$ раскладывается на составляющие:

$$\Delta\varphi = A_1A(\tau_c) \cos(K), \quad (4)$$

$$\Delta\lambda = A_1A(\tau_c) \sin(K), \quad (5)$$

где $\Delta\varphi$ – составляющая корректировки широты (погрешность по широте); $\Delta\lambda$ – составляющая корректировки долготы (погрешность по долготе); K – курс судна.

Итак, скорректированные координаты местоположения судна с учетом бортовой качки будут определяться следующими выражениями:

$$\varphi_{\text{скор}} = \varphi_0 + (\pm\Delta\varphi), \quad (6)$$

$$\lambda_{\text{скор}} = \lambda_0 + (\pm\Delta\lambda), \quad (7)$$

где φ_0 , λ_0 – координаты судна, выдаваемые СП СН (АИС) без учета влияния качки.

Полученные координаты при наличии соответствующего программного обеспечения можно вывести на индикаторе АИС или СП СН. Авторами разработано программное обеспечение, реализующее предложенный метод и использованное при проведении натурного эксперимента. Оно может быть включено в программное обеспечение судовой АИС или СП СН.

Таким образом, реализация предлагаемого метода обеспечит повышение точности определения места нахождения при воздействии бортовой качки судна с использованием спутниковых навигационно-информационных систем в сложных условиях.

3. Результаты натурного эксперимента и их анализ

Для исследования возможности практической реализации предложенного метода был проведен натурный эксперимент в штормовых условиях. Для этого фиксировались исходные данные: фактическая осадка судна, водоизмещение судна с грузом или в балласте, аппликата центра тяжести судна с грузом или в балласте, метацентрическая высота и расстояние между килем судна и кончиком антенны. При появлении крена судна регистрировались координаты, выдаваемые СП СН (АИС), угол крена, время, скорость и курс судна. Все данные сводились в таблицу и для каждого местоположения судна обрабатывались по формулам (1)–(3). Рассчитывались смещения антенны (модулей векторов поправки) в метрах с использованием угла крена и периодом вынужденных колебаний судна $A_1A(\tau_c)$, которые с учетом переводного коэффициента ($K_p = 0,0005399568$) переводились в морские мили. Затем $A_1A(\tau_c)$ раскладывается на составляющие для получения поправок к координатам судна по формулам (4–5). Скорректированные координаты судна определяются выражениями (6 и 7).

В один из бланков заносились данные по загрузке судна (табл. 1).

В бланк измерений записывались погодные условия, динамические данные судна на момент обсерваций (табл. 2).

Полученные данные по окончании испытаний использовались для расчета $A_1A(\tau_c)$ к определяемому месту судна. Рассчитав его величину и зная курс судна при каждой обсервации,

возможно внести поправки $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ к координатам (табл. 3).

Основные параметры для оценки влияния бортовой качки на местоположение судна представлены в табл. 4.

Обсервованные координаты без учета качки и скорректированные координаты с учетом качки по предложенному методу приведены в табл. 5.

Таблица 3

Расчет поправок

	Т/х «Лузон Стрейт»									
	θ	5,2	3,8	7,1	6,4	3,2	7,3	-7,1	-6,4	-8,2
АО = 32,48	AM	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27
	AA1	1,93	1,41	2,63	2,37	1,19	2,70	-2,63	-2,37	-3,03
	ΔNM	0,00104	0,00076	0,00142	0,00128	0,00064	0,00146	-0,00142	0,00128	-0,00164
	$\Delta\varphi$	-0,00077	-0,00057	-0,00106	-0,00095	-0,00049	-0,00110	-0,00107	-0,00098	-0,00109
	$\Delta\lambda$	-0,00069	-0,00051	-0,00095	-0,00085	-0,00041	-0,00095	-0,00093	-0,00082	-0,00109

Таблица 4

Показатели угла крена и соответствующие поправки

№	Угол крена, град	Модуль вектора поправки, морские мили	$\Delta\varphi$, морские мили	$\Delta\lambda$, морские мили
1	5,2	0,00104	-0,00077	-0,00069
2	3,8	0,00076	-0,00057	-0,00051
3	7,1	0,00142	-0,00106	-0,00095
4	6,4	0,00128	-0,00095	-0,00085
5	3,2	0,00064	-0,00049	-0,00041
6	7,3	0,00146	-0,00110	-0,00095
7	-7,1	-0,00142	0,00107	0,00093
8	6,4	0,00128	-0,00098	-0,00082
9	-8,2	-0,00164	0,00122	0,00109

Таблица 5

Обсервованные координаты без учета и с учетом качки

N	Координаты						Скорректированные Координаты					
	Широта			Долгота			Широта			Долгота		
1	13	38,3015	N	79	48,2762	W	13	38,3007	N	79	48,2755	W
2	13	38,2287	N	79	48,3414	W	13	38,2281	N	79	48,3409	W
3	13	38,1258	N	79	48,4435	W	13	38,1247	N	79	48,4426	W
6	13	37,6449	N	79	48,8518	W	13	37,6438	N	79	48,8508	W
7	13	37,5492	N	79	48,9474	W	13	37,5485	N	79	48,9461	W
8	13	37,2941	N	79	49,1682	W	13	37,2931	N	79	49,1674	W
9	13	37,2455	N	79	49,2013	W	13	37,2467	N	79	49,2024	W

Таким образом, в зависимости от района плавания и погодных условий, высоты расположения антенны СП СН, угла крена, курса и загрузки судна поправки к координатам

места судна в условиях бортовой качки могут быть существенными.

Результаты натурного эксперимента и их анализ подтверждают необходимость учета

влияния бортовой качки на точность определения места при практической эксплуатации судов и свидетельствуют о правомерности предложенного метода и его работоспособности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Благовещенский, С. Н. Справочник по статике и динамике корабля. В 2 т. Т. 2. Динамика (качка) корабля / С. Н. Благовещенский, А. Н. Холодилин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1976.
2. Луговский, В. В. Качка корабля : учеб. / В. В. Лу-

говский. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 1999. – 425 с.

3. Маков, Ю. Л. Качка судов : учеб. пособие / Ю. Л. Маков. – Калининград : Изд-во КГТУ, 2007. – 321 с.

4. ОСТ 5.1003–80 Методика расчета качки водоизмещающих кораблей и судов.

5. Чижиумов, С. Д. Основы динамики судов на волнении : учеб. пособие / С. Д. Чижиумов. – Комсомольск-на-Амуре : КнАГТУ, 2010. – 110 с.

6. Loadstar – грузовая программа для контейнеровозов. Язык: ENG. Год: 2007. Версия: 1.0.

7. <http://www.globalnavigationsolutions.com/> – SPOS.

8. <http://planetcalc.ru/4406/> – Навигационный калькулятор.

УДК 004.8

А. В. Аникин, А. М. Дворянкин, И. Г. Жукова, М. Б. Кульцова

МЕТОД ПОИСКА И ИНТЕГРАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ОНТОЛОГИЯХ*

Волгоградский государственный технический университет

anton@anikin.name

В работе представлен метод поиска электронных образовательных ресурсов (ЭОР) и их интеграции в персонализированные электронные образовательные коллекции (ЭОК) на основе онтологий. Для реализации предложенного подхода разработан набор онтологий (онтологии предметной области учебной дисциплины, электронного образовательного ресурса, профиля обучаемого и персонализированной электронной образовательной коллекции), интегрированных посредством метаонтологии, а также семантические правила и алгоритмы для поиска и интеграции распределенных образовательных ресурсов в персонализированные коллекции. На основе разработанного метода и алгоритма реализовано приложение для создания персонализированных ЭОК. Предложенный подход использовался для создания персонализированных ЭОК в рамках курса «Основы программирования» в ВолгГТУ.

Ключевые слова: Semantic Web, онтологии, OWL-DL, E-Learning, адаптивное обучение.

Anikin A. V., Dvoryankin A. M., Zhukova I. G., Kultsova M. B.

ONTOLOGY-BASED METHOD OF ELECTRONIC LEARNING RESOURCES RETRIEVAL AND INTEGRATION

Volgograd State Technical University

This paper presents an ontology-based method of electronic learning resources retrieval and integration to create the personal learning collections. To implement proposed ontology-based approach the set of ontologies (ontologies of learning course domain, electronic learning resources, learner's profile and personal collections) integrated via meta-ontology was elaborated as well as the semantic rules and algorithms for retrieval and integration of distributed learning resources into personal collections. Developed method and algorithms were implemented in form of application for creating the personal learning collections. Suggested approach was applied for creation of personal collections for the course "Programming Languages. C++" in Volgograd State Technical University.

Keywords: Semantic Web, Ontology, OWL-DL, E-Learning, adaptive learning.

Ранее в работах [1, 2] авторами был предложен подход для поиска электронных образовательных ресурсов (ЭОР) и их интеграции в персонализированные электронные образовательные коллекции (ЭОК) для поддержки образовательного процесса и управления им.

Подход основан на использовании онтологий для моделирования предметной области учебной дисциплины, профиля обучаемого, ЭОР и персонализированной ЭОК. Разработанные онтологии интегрированы посредством метаонтологии и рассмотрены подробно в работе [1].

© Аникин А. В., Дворянкин А. М., Жукова И. Г., Кульцова М. Б., 2015

* Работа поддержана грантами РФФИ 13-07-00219 «Интеллектуальная поддержка задач стратегического планирования на основе интеграции когнитивных и онтологических моделей» и 15-07-03541 «Интеллектуальная поддержка принятия решений по управлению сложными системами на основе интеграции различных типов рассуждений на знаниях, представленных онтологической моделью».

На модели поставлена задача создания персонифицированной ЭОК.

Заданы онтология O_M и профиль обучаемого в виде поискового запроса Q (рис. 1): $Q = \langle I_q, R_q \rangle$, где I_q – множество экземпляров классов, определенных на онтологии O_M ; R_q – множество отношений, определенных на онтологии O_M .

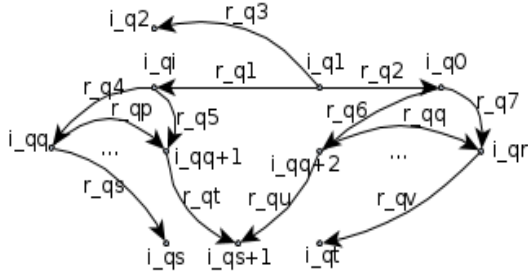


Рис. 1. Фрагмент запроса на онтологии

Множество I_q определяется как

$$I_q = \{i_{q1}, i_{q2}, \dots, i_{qn}\},$$

где $i_{q1} \in C_{L1}$, i_{q1} – обучаемый, экземпляр класса C_{L1} онтологии O_L ; $\{i_{q2} \dots i_{qp}\} \in C_{L2}$, $i_{q2} \dots i_{qp}$ – предпочитаемые языки представления информации, экземпляр класса C_{L2} онтологии O_L ; $i_{qi} \in C_{L4}$ – текущее поле знаний и компетенций обучаемого, экземпляр класса C_{L4} онтологии O_L ; $i_{q0} \in C_{L4}$ – целевое поле знаний и компетенций обучаемого, экземпляр класса C_{L4} онтологии O_L ; $\{i_{q1} \dots i_{qr}\} \in C_{DD2}$ – текущие и целевые компетенции, экземпляры класса C_{DD2} онтологии O_{DD} ; $\{i_{qs} \dots i_{qt}\} \in C_{L3}$ – уровень усвоения компетенций, экземпляры класса C_{L3} онтологии O_L .

Множество отношений R_q определяется как

$$R_q = \{r_{q1}, r_{q2}, \dots, r_{qm}\},$$

где $r_{q1} = r_{L2}$ – отношение, определенное на онтологии O_L , задающее текущее поле знаний и компетенций обучаемого – $r_{q1}(i_{q1}, i_{qi})$; $r_{q2} = r_{L3}$ – отношение, задающее целевое поле знаний и компетенций обучаемого – $r_{q2}(i_{q1}, i_{q0})$; $r_{q3} = r_{L6}$ – отношение, задающее предпочитаемый язык представления информации – $r_{q3}(i_{q1}, i_{q2}) \dots r_{q3}(i_{q1}, i_{qp})$; $r_{q4} = r_{DD9} \dots r_{qp} = r_{DD9}$ – отношения, задающие компетенции текущего и целевого поля знаний обучаемого; $r_{qp} \dots r_{qr}$ – отношения, задающие отношения между компетенциями, из множества отношений R_{DD} ; $r_{qs} \dots r_{qt}$ – отношения r_{L4} , задающие уровень владения текущими компетенциями; $r_{qu} \dots r_{qv}$ – отношения r_{L5} , задающие уровень владения целевыми компетенциями.

Необходимо построить ЭОК в виде фрагмента семантической сети, представленного

кортежем: $E_{COL} = \langle ER, R \rangle$, где R – множество отношений $\{r_{COL3}\}$, а ER – множество ЭОР, удовлетворяющих поисковому запросу Q . Данная задача декомпозируется на две следующие подзадачи:

1) найти на семантической сети O_M подсеть O_R , соответствующую поисковому запросу Q (текущим компетенциям и параметрам адаптации), содержащую множество ЭОР LR_1 экземпляров класса C_{ELR1} ;

2) для ЭОР с входными компетенциями c_i заданными отношениями $r_{ELR1}(ER, c_i)$, не входящими в множество текущих компетенций обучаемого $\{i_{q1} \dots i_{qr}\}$, доопределить подсеть ресурсами с целевыми компетенциями c_i с длиной цепочки дополнительных ресурсов не более 3. Для этого задать отношения $r_{COL2}(COL, ER)$, где COL – экземпляр класса C_{COL2} ; ER – экземпляр класса C_{ELR1} , входящий в подсеть O_R ; задать отношения $r_{COL3}(ER_i, ER_j)$ последовательности изучения ресурсов.

Для решения рассмотренных задач предложен новый двухэтапный метод для поиска ЭОР и их интеграции в персонифицированные ЭОК, включающий следующие этапы (рис. 2):

этап 1: поиск подсети O_R , релевантной поисковому запросу Q . Поиск выполняется с использованием машины вывода на основе семантических правил, определенных в онтологии в виде клауз Хорна и описанных на языке SWRL. Для реализации данного этапа разработаны семантические правила для параметрического поиска с использованием следующих параметров: предпочитаемый язык представления информации, целевые компетенции обучаемого, уровень овладения компетенциями, синонимия терминов в данной предметной области;

этап 2: доопределение подсети O_R . Для реализации данного этапа были сформулированы семантические правила для поиска дополнительных и вспомогательных ЭОР на основе текущих компетенций обучаемого, а также правила для определения логических связей между ресурсами ЭОК. Вспомогательные ЭОР представляют собой ресурсы, не включенные во множество дополнительных ресурсов из-за превышения длины образовательной последовательности ресурсов, но при этом позволяющие получить компетенции, не покрываемые дополнительными ЭОР.

Разработанное множество семантических правил позволяет создавать персонифицированные ЭОК в соответствии с образовательными

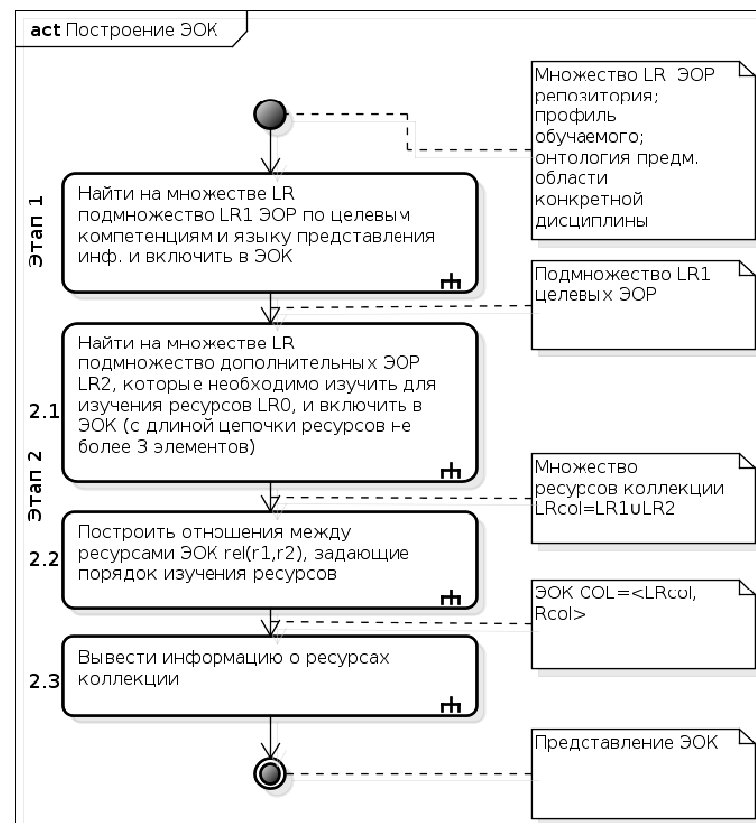


Рис. 2. Двухэтапный метод поиска и интеграций ЭОР в персонализированные ЭОК (UML activity диаграмма)

целями, текущим уровнем знаний и другими характеристиками обучаемого. ЭОК включают в себя отношения между ресурсами для управления процессом обучения. Для представления правил вывода на онтологии использован язык SWRL, расширяющий OWL-DL, основанный на

логике предикатов первого порядка и позволяющий представлять правила вывода в виде множества клауз Хорна. В частности, SWRL-правило для поиска ЭОР по языку представления имеет вид:

$$COL:hasStudent(?c, ?u) \wedge L:hasLanguage(?u, ?l) \wedge ELR:hasLanguage(?r, ?l) \rightarrow COL:hasResourceByLanguage(?c, ?r), \quad (1)$$

где $?c, ?u, ?l, ?r$ – переменные SWRL-правила, $COL:hasStudent, L:hasLanguage, ELR:hasLanguage, COL:hasResourceByLanguage$ – отношения онтологий с соответствующими префиксами онтологий.

SWRL-правило для поиска ЭОР по целевым компетенциям имеет вид:

$$COL:hasStudent(?c, ?u) \wedge L:hasIntentionalDataDomain(?u, ?d) \wedge DD:hasCompetence(?d, ?cmp1) \wedge ELR:hasOutputCompetence(?r, ?cmp2) \wedge DD:is(?cmp2, ?cmp) \wedge DD:is(?cmp1, ?cmp) \rightarrow COL:hasResourceByIntentionalCompetences(?c, ?r). \quad (2)$$

Таким образом, правила (1) и (2) определяют подмножество ЭОР, соответствующих профилю обучаемого по языку представления ин-

формации и целевым компетенциям.

SWRL-правило для поиска ЭОР на основе целевого поля знаний обучаемого имеет вид:

$$COL:hasStudent(?c, ?u) \wedge COL:hasResourceByIntentionalCompetences(?c, ?r) \wedge L:hasIntentionalDataDomain(?u, ?d) \wedge DD:hasCompetence(?d, ?cmp1) \wedge ELR:hasOutputCompetence(?r, ?cmp2) \wedge DD:is(?cmp2, ?cmp) \wedge DD:is(?cmp1, ?cmp) \wedge L:hasIntentionalComplexity(?cmp1, ?level) \wedge ELR:hasOutputComplexity(?cmp2, ?level) \rightarrow COL:hasResourceByOutputDomain(?c, ?r). \quad (3)$$

Аналогично правилу (3) определены два дополнительных правила для поиска ресурсов с уровнем сложности на один выше и ниже целевого уровня. Данные правила определяют подмножество ЭОР, соответствующее целевым компетенциям обучаемого с учетом уровней сложности.

$$COL:hasResource(?c, ?r1) \wedge COL:hasResource(?c, ?r2) \wedge ELR:hasOutputCompetence(?r1, ?cmp1) \wedge ELR:hasInputCompetence(?r2, ?cmp2) \wedge DD:is(?cmp1, ?cmp) \wedge DD:is(?cmp2, ?cmp) \rightarrow COL:hasNextResource(?r1, ?r2). \quad (4)$$

Процесс логического вывода на онтологии с использованием разработанных SWRL-правил может быть представлен в форме недетерминированного алгоритма. Например, алгоритм по-

Персонализированная ЭОК определяется через множества R_0 и R_1 (определенные отношением $COL:hasResource$) целевых и дополнительных ЭОР и множеством R_2 вспомогательных ЭОР с логическими отношениями между ними, заданными следующим SWRL-правилом:

иска ЭОР по целевым компетенциям обучаемого с учетом синонимии (правило (2)) может быть представлен в следующем виде (рис. 3).

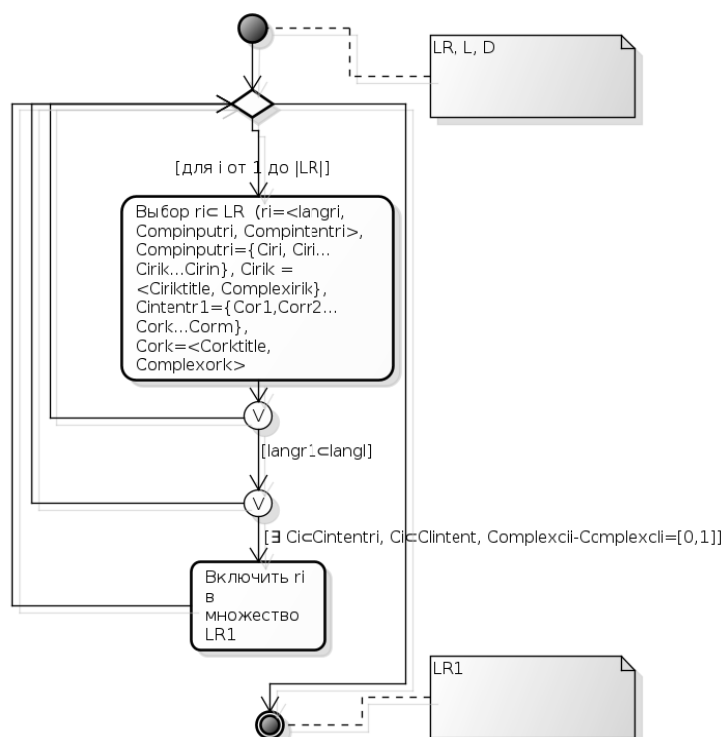


Рис. 3. Недетерминированный алгоритм поиска ЭОР по целевым компетенциям обучаемого с учетом синонимии

Разработанный двухэтапный метод позволяет эффективно решать задачу создания персонализированных ЭОК посредством поиска и интеграции релевантных ЭОР с использованием онтологической модели представления знаний и семантических правил для вывода на онтологии.

Предложенный авторами онтологический подход для создания персонализированных ЭОК включает в себя следующие этапы:

1) создание или изменение онтологии конкретной учебной дисциплины, созданные онтологии могут быть сохранены в репозитории для

повторного использования;

2) аннотирование ЭОР на основе онтологии ЭОР и онтологии конкретной учебной дисциплины, создание открытого репозитория ЭОР;

3) создание или изменение профиля обучаемого на основе онтологии профиля обучаемого и онтологии конкретной учебной дисциплины. Текущие и целевые компетенции могут быть определены как самим обучаемым, так и на основе истории его обучения в соответствующей системе управления обучением и результатов оценки;

4) создание персонифицированной ЭОК на основе онтологии конкретной учебной дисциплины, онтологии ЭОК, репозитория ЭОР и профиля обучаемого.

В качестве критериев качества ЭОК использовалась релевантность поисковому запросу, определенная через следующие метрики, используемые в задачах информационного поиска:

$$r = \frac{|RL'_{col}|}{|RL|}$$

Полнота определяется как

$$p = \frac{|RL'_{col}|}{|RL'_{col}| + |RL''_{col}|}$$

Точность определяется как

$$F\text{-мера: } F = \frac{2}{\frac{1}{p} + \frac{1}{r}},$$

где RL'_{col} – включенные в ЭОК релевантные ЭОР; RL''_{col} – включенные в ЭОК нерелевант

ные ЭОР; RL' – релевантные ЭОР в репозитории; RL'' – нерелевантные ЭОР в репозитории; RL_{col} – ЭОР, включенные в ЭОК; RL – ЭОР репозитория;

$$RL' \cup RL'' = RL,$$

$$RL'_{col} \cup RL''_{col} = RL_{col}.$$

Точность и полнота являются базовыми метриками, F -мера – одной из производных метрик.

Разработана архитектура и реализовано программное средство Collection Builder для построения персонифицированных ЭОК, позволяющие создавать коллекции на основе профиля обучаемого и аннотированных ЭОР. Коллекция представляется в виде набора ссылок на ЭОР, структурированного в виде дерева в соответствии с предметной областью учебной дисциплины (рис. 4).

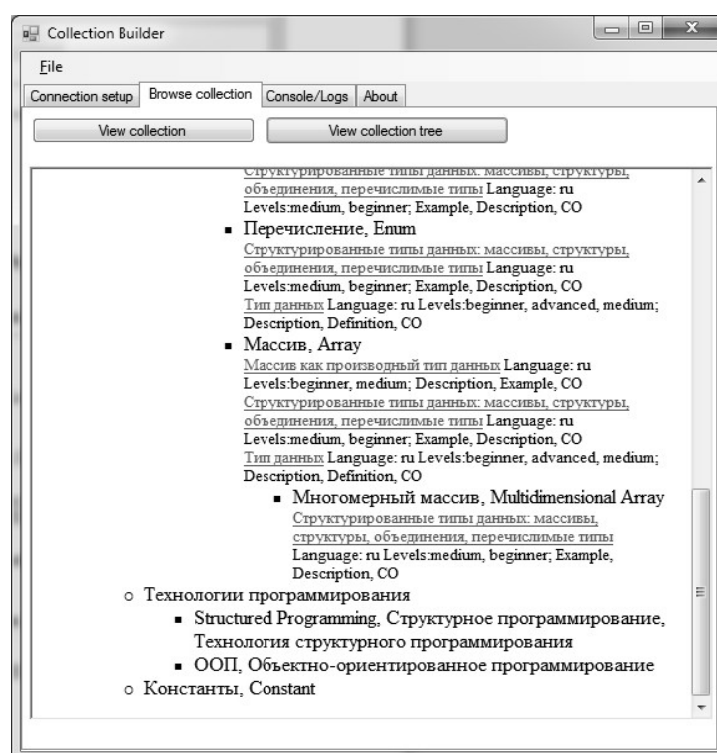


Рис. 4. Collection Builder

Разработанное программное средство было протестировано для создания персонифицированных ЭОК в рамках курса «Основы программирования» в ВолгГТУ. Тестирование включало в себя следующие шаги: создание персонифицированных ЭОК студентами самостоятельно с использованием Collection Builder; создание ЭОК для студентов преподавателями-экспертами; сравнительный анализ созданных

коллекций, измерение качества ЭОК, оценка времени создания коллекций.

Результаты тестирования показали:

1) что среднее время создания коллекций сократилось до 99 %;

2) коллекции, созданные с использованием программного средства, содержали 100 % ЭОР, полученных пересечением коллекций, созданных преподавателями для каждого студента,

и 91 % ЭОР, полученных пересечением таких коллекций;

3) среднее значение полноты увеличилось на 29 %, точности – на 2,9 %, *F*-меры – на 16,3 % по сравнению с неавтоматизированным процессом.

Такие результаты позволяют сделать вывод о том, что разработанные модели, метод и программное средство эффективны для создания нового персонифицированного образовательного контента.

Таким образом, разработана концепция создания персонифицированных электронных образовательных коллекций в открытых образовательных сетях на основе поиска и интеграции электронных образовательных ресурсов с использованием онтологий. Разработана онтологическая модель представления знаний, включающая онтологии предметной области учебной дисциплины, ЭОР, профиля обучаемого и персонифицированной ЭОК. Онтология ЭОК также включает в себя набор семантических правил для создания коллекций. Разработан новый двухэтапный метод поиска и интеграции

ЭОР в персонифицированные ЭОК. Разработано программное средство для создания персонифицированных ЭОК, реализующее предложенный подход.

В дальнейшем предполагается разработка инструментальных средств для создания предметных онтологий учебных дисциплин и аннотирования ЭОР; расширение репозитория ЭОР для предметной области «Программная инженерия» с целью дальнейшего создания персонифицированных ЭОК для различных учебных дисциплин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аникин, А. В. Онтологическая модель представления знаний для поиска и интеграции образовательных ресурсов в открытых образовательных сетях / А. В. Аникин, И. Г. Жукова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12(139). С. 74–80.
2. Knowledge Based Models and Software Tools for Learning Management in Open Learning Network / A. Anikin, M. Kultsova, I. Zhukova, N. Sadovnikova, D. Litovkin. // Knowledge-Based Software Engineering. 11th Joint Conference, JCKBSE 2014, Volgograd, Russia, September 17-20, 2014. Proceedings. Series: Communications in Computer and Information Science. Springer, Vol.466. 2014. – Pp. 156–171.

УДК 004.912:004.81

В. Л. Бердник

ШИНГЛОВАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ*

Волгоградский государственный технический университет

bwlg@inbox.ru

В работе исследуется природа знаний методами системного анализа и выделяются их системные закономерности. В статье рассматривается принципиально новый подход к анализу и проектированию семантических систем.

Ключевые слова: системный анализ природы знаний, среда развертывания системы, острова истинности знаний, принцип относительности знания.

V. L. Berdnik

SHINGLED MODEL OF KNOWLEDGE REPRESENTATION

Volgograd State Technical University

This paper is to provide a system analysis the nature of knowledge and its main system regularities. The article discusses a fundamentally new approach to building semantic systems.

Keywords: systematic analysis of the nature of knowledge, the deployment environment of the system, the Islands of the validity of knowledge, the principle of relativity of the knowledge.

Как и любая наука, искусственный интеллект в своем развитии проходит итеративно этапы эволюционного развития, привлекая в ряды своих новых исследователей, накапливая разнообразие взглядов в форме научных

публикаций, и этапы революционных изменений, когда появляется и развивается наиболее сильная идея, кристаллизующая в настоящий бриллиант большинство научных идей эволюционного этапа. Действительно, система может

доминировать, только удовлетворяя наибольший круг потребностей своих потребителей, как научная идея – объясняя как можно больше явлений и вопросов, способная разрешить как можно больше проблем. В таком процессе поиска происходит рекомбинация отдельных идей, слияние и выделение подходов, выстраивание устойчивых связей между отдельными взглядами и теориями и т. п. Происходит, как бы, комбинаторный перебор различных вариантов строения на максимально возможной страте, пока не сформируются наиболее сильные связи между элементами, пока не появится искомая система. Рассмотрим такой процесс более подробно.

Как известно, понятие «знание» не имеет завершенной и полной дефиниции [1]. Характерно, что неопределенность дефиниции понятий встречается при описании таких систем, развитие которых не завершено, или таких, внутренние механизмы которых не полностью исследованы. Понимание тех или иных новых качеств термина «знание» приводит к появлению новых направлений в науке, и наоборот, новые открытия в науке уточняют дефиницию знания. Так, логические модели знания легли в основу экспертных систем [2]; понимание недоопределенных множеств и НЕ-факторов [3] сформировалось в направлении нечеткой логики, лингвистические модели привели к появлению семантических сетей и сценариев [1], а идеи синергетики являются основой для развития многоагентного подхода [4]. Однако понятие «знание» остается недостаточно исследованным [5].

Итак, для того чтобы у будущей системы появились интегративные качества, элементы системы (например, материя) должны войти в особое взаимодействие (образовать структуру системы) [6]. Теоретически, в бесконечно долгом переборе вариантов структур, могут случайно образоваться эмерджентные свойства. На практике экспозиция такого перебора может существенно превышать время существования среды, а такой подход сделать невыполнимым. Существенно сокращается время системообразования при наличии в среде различных аттракторов [7]. При отсутствии выраженных аттракторов элементы могут продолжительное время оставаться несвязанными, без образования системы, или формировать хаотическую систему. Непосредственное получение (или наследование) информации о структуре позволяет сокра-

тить время системообразования вплоть до времени развертывания в среде, ограниченной инерционностью носителя системы (виртуального или метрического пространства). Таким образом, генетическая информация – это способ селекции успеха (системообразования) системы, привнесения в нее негэнтропии.

Введем следующие термины. Под *генетической информацией* будем понимать вносимую в некоторую среду информацию для целей создания новой системы. Под *системообразующей энергией* будем понимать управляемый генетической информацией процесс изменений связей и состояний элементов среды. Под *средой развертывания системы* (далее, СРС) будем понимать такую систему, которая при поступлении генетической информации способна реализовать новую систему с заданными интегративными качествами.

В вычислительной системе элементами среды является содержимое ячеек памяти, системообразующая энергия – процесс обработки информации процессором, генетическая информация – это написанная человеком программа на языке программирования.

Следует отметить, что количество и энтропия вносимой информации не связаны напрямую со сложностью создаваемой СРС системой. Часть информации о создаваемой системе хранится непосредственно в СРС, и только часть – в генетической информации. Примечательны наблюдения отдельных авторов о природе знаний [8], где вносимая информация расценивается как выключатель действий СРС.

Известно, что знания – это инструмент адаптации (отражения) к окружающей среде живых организмов и человека. Также [6] системность – это категория познающего субъекта и, одновременно, объективное свойство объектов познаваемого мира. Действительно, происходящие в среде процессы имеют различную степень полезности для человека и различны по глубине осмысления. Произвольную систему можно рефлексировать лишь созданием другой, более простой системы – модели, вне зависимости, каким способом происходит отражение системы на физическую модель, систему уравнений, дискретный автомат или задается словесным описанием (языковой системой).

Таким образом, искусственная система, основанная на знаниях, при обучении новому знанию должна порождать модель-отражение в своей среде. Та информация, которую обычно

принято называть обучающей выборкой или знаниями, является генетической информацией для интеллектуальной среды развертывания системы. Отнесение информации к генетической зависит от особенностей СРС, и информация соотносена с СРС как «ключ с замком». Информация становится знанием, только при наличии такой СРС, которая создаст на основе информации адекватную реальности модель. Среда развертывания систем исключительно ориентированную на генерацию знаний, будем называть средой развертывания знаний (далее, СРЗ). СРЗ эндогенно селективна к входящему потоку, и любое знание относительно к СРЗ. Сформулируем принцип относительности знания. Информация становится знанием тогда и только тогда, если существующая СРЗ способна создать рефлексивную модель с эмерджентными качествами, имеющими потребителя в СРЗ.

Очевидно, что законы одной системы, заданные особенностями строения и степенями ее свободы, не применимы или слабо применимы к системам с иной структурой. Отражение систем индивидуально, следовательно, знания об этих системах индивидуальны и истинны только в пределах описания такой системы. Истинность знания локальна в пределах модели-отражения. Такую локальность истинности знания будем называть островом истинности знания или шинглом. Шингл – это система-продукт среды развертывания знаний на основе привнесенной информации. Можно найти множество аналогий для рассматриваемого в данной статье шингла. Это семантические пятна [9], фреймы [10], семантические сценарии [1] и т. д.

Отражение в пределах шингла детерминировано истинно, до тех пор, пока отражает закономерности основной системы, и недетерминировано истинно, если отражает закономерности более одной системы. Элементы системы знаний шингла, которые недетерминировано истинны, будем называть факторными точками. Факторными точками могут быть: системные выходы (функции) системы, системные входы (условия истинности) и т. д. Факторные точки организуют системный интерфейс между взаимодействующими системами (подсистемами).

При инкапсуляции шинглом других шинглов, верхний шингл обеспечивает детерминированность факторных точек инкапсулированных шинглов. Способ такой инкапсуляции определяется либо привлеченной информацией,

полученной при обучении, либо является результатом творческого поиска, пример которого описан в первом абзаце этой статьи.

Частичное пресечение шинглов по принципу черепицы на доме позволяет создавать сколько угодно широкие внутренние семантические пространства, в том числе семантические миры [5]. Соединение шинглов по факторным точкам в этом случае сходно с незаполненными слотами фреймов [10], и активация шингла из факторной точки осуществляется при заполнении слота.

Саморефлексия на внутреннем семантическом пространстве СРЗ позволяет создавать шинглы метайнформации, такие как обобщение, абстрагирование и т. д.

Описанная в данной статье модель используется для совершенствования информационной системы, основанной на знаниях ASTEND [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Люгер, Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем : пер. с англ. / Джордж В. Люгер. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
2. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин [и др.] ; под. ред. В. Н. Вагина, Д. А. Поспелова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 704 с.
3. Нариньяни, А. С. НЕ-факторы и инженерия знаний: от наивной формализации к естественной прагматике / А. С. Нариньяни // Сборник трудов Национальной конференции по ИИ КИИ-94 (Рыбинск, сентябрь 1994). В 2 т. Т. 1. – Тверь : АИИ, 1994. – С. 9–18.
4. Тарасов, В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
5. Петренко, В. Ф. Основы психосемантики / В. Ф. Петренко. – 2-е изд., доп. – СПб.: Питер, 2005. – 480 с.
6. Месарович, М. Основания общей теории систем : Общая теория систем / М. Месарович. – М.: Мир, 1966.
7. Википедия. Свободная энциклопедия. Аттрактор [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аттрактор/>
8. Древаль, А. В. Интеллект ХХХ. Интеллектуальное чтение в жанре «Научная фантазия» / А. В. Древаль. – М.: Торус Пресс, 2004.
9. Бердник, В. Л. Модель «семантическое пятно» в сложнотренируемых задачах интеллектуальной обработки информации / В. Л. Бердник, А. В. Заболеева-Зотова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 116–121.
10. Минский, М. Фреймы для представления знаний : пер. с англ. / М. Минский. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
11. Бердник, В. Л. Задача идентификации сущности, заданной слабоструктурированным текстом / В. Л. Бердник, А. В. Заболеева-Зотова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. Т. 2. № 2(28). С. 26–28.

УДК 004.42

*М. В. Бирюкова, О. А. Сычев***ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ
ДЛЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ C++ ОШИБОК
В ОТВЕТЕ СТУДЕНТА НА ТЕСТОВЫЙ ВОПРОС****Волгоградский государственный технический университет**

mariabirvg@gmail.com, oasychev@gmail.com

В статье рассматривается метод поиска специфических для языка C++ ошибок в ответах на тестовый вопрос открытого типа. На основе предложенного метода был реализован модуль определения специфических ошибок в ответах студента в вопросе CorrectWriting для СДО Moodle.

Ключевые слова: специфические ошибки, вопросы с открытым ответом.

*М. V. Biryukova, O. A. Sychev***DETECTION OF MISTAKES, SPECIFIC FOR C++ PROGRAMMING
LANGUAGE IN THE QUIZ QUESTION ANSWERS****Volgograd State Technical University**

The paper describes method of detection of the mistakes, specific for C++ programming language in the answers for the questions with open answers. A specific error correction module for the CorrectWriting question type (for Moodle LMS) was developed using proposed methods.

Keywords: specific error, questions with open answer.

Введение

Дистанционное образование – это процесс получения знаний, который подразумевает обучение на расстоянии, без коммуникации вживую между преподавателем и студентом. Дистанционное образование имеет ряд преимуществ перед обычным: индивидуальный график обучения, доступность образования, использование достижений информационных технологий. Кроме того, средства дистанционного образования могут использоваться как дополнение к традиционным технологиям очного обучения для совершенствования самостоятельной работы обучающихся. Основным недостатком дистанционного образования является отсутствие контроля над обучающимися и затрудненность проверки знаний студентов. Moodle – бесплатная система дистанционного образования (СДО), широко используемая во многих учебных заведениях [1].

В СДО Moodle подсистема проверки знаний имеет широкие функциональные возможности. Особое внимание уделяется модулю тестирования как ключевому для систем дистанционного образования. Большое количество типов вопросов для тестирования студентов позволяет полностью покрыть целевые потребности преподавателя. Большое значение имеет возможность добавления в систему новых типов вопросов в виде плагинов, что позволяет преподавателям

расширять возможности системы тестирования вопросами собственной разработки.

Кафедра ПОАС ВолгГТУ ведет разработки типов вопросов, которые могут оказать помощь в подготовке IT-специалистов [2]. Одним из типов вопросов, разработанных на кафедре, является CorrectWriting. CorrectWriting – это вопрос с открытым ответом [3] с расширенным анализом ответа студента в виде последовательности лексем на естественном или формальном языке и определением возможных ошибок. Данный тип вопроса позволяет определять такие ошибки студента, как пропуск лексемы, вставка лишней лексемы, перемещение лексемы, опечатки внутри лексемы, пропущенный и лишний разделитель. Данные вопросы используются в учебном процессе кафедры в виде тренировочных тестов для обучения языкам программирования С и C++ на курсе «Основы программирования», изучаемом на 1 и 2 курсах факультета электроники и вычислительной техники.

Однако применение классических методов анализа опечаток с подсчетом редакционного расстояния [4] не всегда является корректным для сравнения ответов на языках С (C++). Имея на многих функций библиотеки времени управления языка С (а также стандартной библиотеки шаблонов языка C++) являются сокращениями, что привело к значительному ко-

личеству пар имен функций, отличающихся одной редакционной операцией. При этом некоторые из них имеют одинаковое количество и типы параметров (например, пары `sin` и `asin`, `strspn` и `strcspn`). В этом случае, вместо сообщения о неверно выбранной функции, студент получит сообщение об опечатке в имени функции, что нежелательно. Существуют и другие формы ошибок, которые можно определить по последовательности лексем и вывести более специфические сообщения вместо обычных сообщений об отсутствии правильных лексем и присутствии неправильных.

Кроме этого, в языках C и C++ некоторые грамматические конструкции можно записать различными способами. В настоящий момент преподаватель должен вводить все варианты правильного ответа на вопрос (с описаниями каждой лексемы), и при наличии в нем нескольких зон с различными вариантами написания количество вариантов правильных ответов растет мультипликативно. Если код в типе вопроса сможет самостоятельно находить различные типы записи правильного ответа, это уменьшит трудозатраты преподавателя и даст ему возможность использовать в качестве ответа такие конструкции на языке, которые раньше были бы отвергнуты из-за слишком большого количества вариантов написания.

Специфические ошибки и аналогичные написания в языках C и C++

Таким образом, мы имеем три направления для исследования языка программирования. Первое состоит в определении пар стандартных функций, в которых неверный выбор функции может быть принят за опечатку. Второе – в определении специфических ошибок для студентов, изучающих язык C++, которые приводят к неверной интерпретации лексем. Третье – это

определение альтернативных способов написания одинаковых ответов.

Ограничения в данном случае задаются тем фактом, что только одна из двух сравниваемых строк (представляющая правильный ответ от учителя) является гарантированно синтаксически корректной (и, соответственно, может иметь корректные типы лексемы и успешно пройти синтаксический разбор). Также нельзя полагаться на корректность положения лексем в ответе студента, так как она может быть нарушена.

При проведении анализа стандартных библиотек языков C и C++ было выявлено, что многие противоположные по смыслу или обратные функции имеют схожие написания. Если в правильном ответе встречается название одной из таких функций, а в ответе студента – другой, то вместо сообщения об опечатке должно выдаваться сообщение о неверном выборе функции. Всего было найдено 42 таких пар названий функций.

Примеры функции, имеющие похожее написание, представлены в табл. 1.

Также по результатам тестирования прошлых лет был проведен анализ типичных ошибок студентов, которые наиболее часто встречаются при их обучении. Например, частой ошибкой для начинающих программистов на языке C является использование операции присваивания (записывается одним знаком равенства) вместо операции эквивалентности (двумя знаками равенства). Другим примером ошибки такого рода может служить использование запятой вместо точки в дробных числах (что соответствует их математической форме записи). Подобная ошибка приводит к тому, что вместо одной лексемы будут обнаружены три или даже пять (в случае экспоненциальной формы), что порождает большое количество сообщений о лишних лексемах, сбивающих с толку студента. Всего было составлено 22 таких правила.

Таблица 1

Примеры функций, имеющих похожие написания

Функция	Функция с похожим написанием	Редакционное расстояние	Аргументы
<code>Acos</code>	<code>Cos</code>	1	Совпадают
<code>Itoa</code>	<code>Ltoa</code>	1	Совпадают
<code>Strcmp</code>	<code>Strncmp</code>	1	Не совпадают
<code>Calloc</code>	<code>Malloc</code>	1	Не совпадают

Также, после анализа языка C++ [5], был составлен перечень аналогичных написаний в

языках C/C++ из 16 правил. Фрагмент представлен в табл. 2. При этом из рассмотрения

исключались вопросы эквивалентности выражений, а также ситуации, которые отличались

только порядком лексем (этими проблемами занимается отдельный модуль).

Таблица 2

Примеры правил аналогичного написания

Варианты написания	Правило преобразования	Возможные ошибочные варианты ответов
Signed int Int Signed	Если в правильном ответе встречается последовательность signed int, то она может быть эквивалентна лексеме int или signed проверяемого ответа	Signed signed int Signed int int Unsigned signed int Signed signed Int int
Signed short int Short int Short	Если в правильном ответе встречается последовательность signed short int, то она может быть эквивалентна лексеме short int или short проверяемого ответа	Signed short int int Signed int int Short int int Short short

Реализация поиска специфических ошибок и аналогичных написаний

Для нахождения ошибок в отдельных лексемах в типе вопроса CorrectWriting ответ студента и ответ преподавателя разбивались на отдельные лексемы. Далее лексемы из ответа преподавателя сопоставлялись с каждой лексемой (или несколькими лексемами, в случае ошибок лишнего или пропущенного разделителя) из ответа студента на предмет возможного полного или частичного соответствия. В итоге получался перечень пар, каждая из которых имела свое редакционное расстояние Дамерау – Левенштейна [6], соответствующее мере ошибки (при превышении редакционным расстоянием определенного порога пара не генерировалась).

Далее данный перечень всех пар обходился по алгоритму поиска в глубину для определения набора, который наилучшим образом характеризует ответ студента. Наилучшим образом характеризует ответ студента набор пар лексем, в котором лексемы ответов студента и преподавателя встречались бы не более одного раза, количество лексем из ответа студента было максимальным, а суммарное редакционное расстояние – минимальным. На основе такого набора генерировалась исправленная версия ответа студента, которая использовалась для дальнейшего анализа последовательности лексем [3].

Для того чтобы в типе вопроса CorrectWriting определялись специфические ошибки и аналогичные формы написания, было внесено изменение на этапе поиска пар для каждого вида лексем. В общий перечень пар были добав-

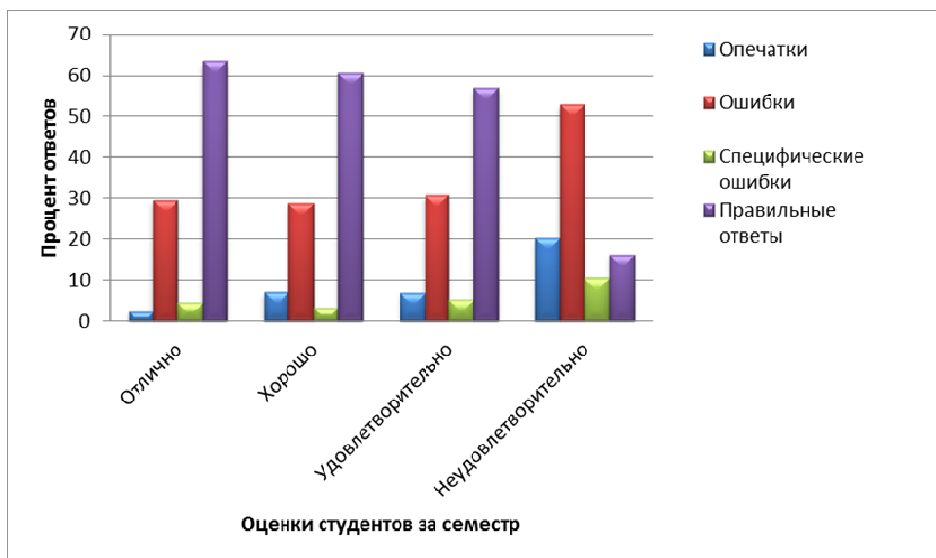
лены пары, построенные в соответствии с правилами, описанными в предыдущем разделе. При этом для похожих имен функций (табл. 1) пары специфических ошибок генерируются вместо пар опечаток, а пары аналогичных написаний (табл. 2) имеют вес ошибки, равный 0 (не ошибка).

Также было решено выделить при создании вопроса поле, в которое преподаватель заносил бы перечень имен функций, которые могли бы попасть под определение «специфическая ошибка» из-за сходства с употребляемыми в ответе, что может быть полезно в случае использования дополнительных библиотек функций и классов.

Проверка эффективности разработанного решения

Для проверки эффективности разработанного решения были использованы вопросы тренировочных тестов по дисциплине «Основы программирования» для студентов первого курса ФЭ и ВТ ВолгГТУ. Точные и понятные сообщения об ошибках наиболее важны в случае тренировочных тестов, так как студенты часто выполняют их во время самоподготовки и не имеют возможности задать вопрос преподавателю сразу в случае проблем.

Для анализа использовались данные тренировочного тестирования студентов четырех групп. Анализировались лишь попытки ответить на вопрос – из рассмотрения были исключены пустые ответы. На основе анализа более 1000 ответов студентов выявлено, что 50,75 % ответов были с ошибками, а 49,25 % – правильными. Диаграмма распределения ответов по оценкам студентов представлена на рисунке.



Распределение ответов по оценкам студентов

Среди ошибочных ответов 11,72 % приходилось на специфические ошибки, 18,22 % – на опечатки, 70,06 % – на другие ошибки. Таким образом, использование разработанного модуля позволило выдать более информативные сообщения для студентов при самоподготовке в 11,72 % случаев, что улучшает условия подготовки студентов к занятиям и уменьшает время, затрачиваемое преподавателем на объяснения во время консультации.

Кроме того, работа по генерации пар альтернативного написания позволила уменьшить работу преподавателя по созданию вопросов, избавляя от необходимости ввода дополнительных правильных ответов (с описаниями каждой лексемы на естественном языке). Так, если для 78 тренировочных вопросов необходимо было ввести 111 правильных вариантов ответов, то после реализации возможности автоматической генерации пар альтернативного описания – на 13 ответов меньше, что составляет около 12 %. Учитывая, что в каждом ответе вводятся описания всех его лексем на естественном языке для подстановки в сообщения об

ошибках, это значительная экономия трудозатрат на составление вопросов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт СДО Moodle [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://moodle.org>
2. 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 Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 15. № 15(102). С. 99–104.
3. Сычев, О. А. Архитектура модулей автоматизированного определения ошибок в вопросах с открытым ответом, использующих языки, описываемые контекстно-свободными грамматиками в СДО Moodle / О. А. Сычев, Д. П. Мамонтов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 17. № 14(117). С. 95–101.
4. Гасфилд, Д. Строки, деревья, последовательности в алгоритмах. Информатика и вычислительная биология / Д. Гасфилд. – СПб.: Невский Диалект, БХВ-Петербург, 2003.
5. Полный справочник по C++ = C++: The Complete Reference, 4th Edition. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2011. – 800 с.
6. Damerau, F. J. A technique for computer detection and correction of spelling errors // Communications of the ACM, 1964. Vol. 7. Issue 3. P. 171–176.

УДК[004.42:004.451.9Android]:005.5:621.31

*Е. О. Волобуева, Д. Л. Качалов, М. В. Щербаков***МОБИЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**

maxim.shcherbakov@gmail.com, kachalov@volgograd.ru, katrinka011@gmail.com

Данная статья посвящена рассмотрению применения мобильных технологий для мониторинга электроэнергии. С помощью мобильных компонент на базе Android можно просто сфотографировать счетчик, получить после распознавания изображения наш показатель, а затем напрямую отправить его на сервер для дальнейшей обработки. Таким образом, мобильные компоненты мониторинга позволяют моментально получать результат измерения и передавать данные даже при низком интернет-соединении за счет малого объема данных, а также исключить человеческий фактор при формировании результата.

Ключевые слова: распознавание образов, мобильные технологии, Android, мобильный приложения, энергетические ресурсы, потребление энергии, энергетический менеджмент, большие данные.

*Е. О. Volobueva, D. L. Kachalov, M. V. Scherbakov***MOBILE COMPONENTS AND BIGDATA TECHNOLOGIES
FOR MONITORING ENERGY CONSUMPTION****Volgograd State Technical University**

This paper is dedicated to the mobile technologies for monitoring energy consumption. Using mobile components for Android Operating System, we can just take a photo of the electricity meter, the software automatically recognizes the data, and then send the result to the server for the further processing. All things considered, the mobile monitoring components allow instantly receive the measurement result, transmit data immediately even at low Internet connection due to the small amount of data to eliminate the human factor in the formation of the result.

Keywords: image recognition, mobile technology, Android, mobile applications, energy resources, energy consumption, energy management, big data.

Введение

У каждого человека в доме есть, по крайней мере, один электроприбор. Потребители, которые живут в квартирах, – основные категории потребителей электроэнергии. Снятие показателей со счетчиков в квартирах предоставляет сложность тогда, когда счетчики расположены в труднодоступных местах (а это случается зачастую), поэтому вероятность ошибки в данных возрастает, что снижает их точность.

Но развитие мобильной составляющей энергетического менеджмента является актуальной, так как многие объекты географически удалены (дачные поселки, деревни и т. д.) и развертывание SCAD'a систем в этих местах требует больших денежных вложений. Кроме того, это поможет уменьшить стоимость сбора данных при сохранении эффективности и надежности.

Достоверные данные об энергопотреблении формируют основу для качественного прогноза потребления, который необходим ее поставщикам и потребителям. На основе прогноза поставщиками формируются планы по загрузке генерирующих предприятий и распределению нагрузки. Конечные потребители, у которых данные об их энергопотреблении всегда будут в их мобильных телефонах, могут оценить объ-

ем своих затрат на электроэнергию и корректировать объем ее потребления [14].

Проблема сбора данных может быть решена эффективно, однако после сбора, данные еще требуется обработать. Собирая данные со счетчиков, системы энергоменеджмента формируют существенные массивы данных, для обработки и хранения которых требуются технологии больших данных.

По оценке аналитической компании IDC коммунальный сектор находится на начальных стадиях освоения технологий Big Data.

Big Data и аналитика могут применяться в сфере коммунальных услуг для решения целого ряда задач. Эти технологии могут помочь оптимизировать производство энергии, операционную эффективность и работу с клиентами; аналитику – заблаговременно подготовиться к отключениям, а также оценивать энергетический рынок, прогнозировать спрос и вести подсчет финансовых показателей [17].

Объект исследования – процесс сбора информации об электроэнергии и ее последующий анализ при помощи технологии bigdata. Предмет исследования – методы распознавания изображений показаний счетчика и выявление паттернов в больших данных.

Существуют эффективные методы распознавания образов в мобильных системах, которые могут, в совокупности с методами анализа больших данных, применяться в энергетическом менеджменте для снижения затрат на электроэнергию.

1. Энергетический менеджмент

Энергетический менеджмент – это постоянно действующая система управления энергопотреблением, позволяющая значительно оптимизировать объемы энергозатрат, прогнозировать и контролировать процессы выработки, транспортировки и использования необходимого количества энергоресурсов для обеспечения деятельности объектов [2], [1].

Энергетический менеджмент – процесс мониторинга, контроля и сохранения энергии.

Обычно «цикл управления энергией» включает в себя следующие шаги:

- замер потребления энергии и сбора данных;
- поиск возможностей для экономии энергии и оценка количества энергии, которое можно «спасти»;
- осуществление мер для экономии;
- отслеживание прогресса на основе анализа данных счетчика, чтобы увидеть, насколько хорошо ваши энергосберегающие усилия работали.

А потом обратно к этапу 2, и цикл продолжается [1], [3].

Мобильные компоненты энергетического менеджмента могут помочь контролировать потребление энергии (первый шаг в «цикле управления энергией») и в будущем – прогресс.

2. «Умный дом» как основа внедрения мобильных компонент в энергетический менеджмент

«Умный дом» можно определить как хорошо продуманную структуру с достаточным доступом к активам, связи, управлению, данным и информационным технологиям для повышения качества жизни жильцов путем повышения комфорта, удобства, снижения затрат и увеличения связи [4], [5], [6].

«Умный дом» функционирует как коммутатор для потока данных между приборами и участниками, таких как конечный пользователь, электрические утилиты и агрегатор с третьей стороны [7], [8].

Тепловые нагрузки, такие как кондиционер и электрический обогреватель могут контролироваться «умными» термостатами [9]. Тогда термостат адаптирует комнатную температуру

эффективно (например, путем автоматического планирования отопления в зависимости от времени прибытия и ухода [11], [15]). Эти стратегии могут помочь снизить потребление энергии, особенно когда традиционные или программируемые термостаты не настроены должным образом [12], [13].

Таким образом, применение мобильных компонент энергетического менеджмента может стать первым шагом на пути перехода к «умным домам».

3. Обработка больших данных в системах энергоменеджмента

По умолчанию, стандартом работы с большими данными является фреймворк Apache Hadoop, позволяющий в концепции MapReduce обрабатывать большие данные и хранить большие данные в файловой системе HDFS [15]. Задача обработки больших данных сейчас встречается во многих сферах, и, прежде всего, при проектировании баз данных, как например в [16]. Данный фреймворк является универсальным решением для обработки больших объемов данных. Кроме того, он может быть успешно адаптирован к непосредственной задаче.

4. Разработка системы

4.1. Цель и задачи

Для того чтобы создать мобильный компонент для мониторинга потребления энергии, мы решили разработать мобильное приложение для ОС Android, так как это платформа широко распространена во многих странах.

Функции системы:

- делать фотографию счетчика, сохранять ее и удалять в случае ошибочного снимка;
- распознавать фотографию счетчика;
- показать вам результат распознавания и фото для того, чтобы сравнить их;
- сохранить результат распознавания в локальной базе данных;
- отправить результат на сервер для дальнейшей обработки;
- получить ответ от сервера.

Данное мобильное приложение должно быть установлено на мобильный телефон или на планшет на операционной системе Android. После этого пользователь делает фотографию счетчика, сохраняет ее, а затем уже происходит автоматическое распознавание. Результат распознавания отображается на дисплее, под фотографией счетчика. Пользователь сравнивает результаты для того, чтобы избежать ошибок

в данных. Пользователь должен нажать кнопку, если он хочет отправить данные на сервер (перед этим пользователь должен быть авторизован). В противном случае, он не сможет отправить данные на сервер, но они будут храниться на устройстве пользователя. Затем происходит обратная связь: пользователь получает сообщение с сервера об имеющихся задолженностях или их отсутствии (рис. 1).



Рис. 1. Принцип действия системы

4.2. Библиотеки распознавания образов для мобильных устройств

Основными библиотеками распознавания образов для операционной системы Android являются: OpenCV, BoofCV, Tess-two.

BoofCV, в отличие от OpenCV, написана на чистом Java; алгоритмы, используемые внутри,

хорошо оптимизированы и, как показывает практика, по скорости в некоторых случаях не уступают реализации на C++ OpenCV.

Tess-two представляет из себя ответвление от TESSERACT Tools, которое специально разработано для Android (tesseract-android-tools) и содержит дополнительные функции. Tesseract Tools для операционной системы Android – это набор API функций, который строит файлы для библиотек обработки изображений Tesseract OCR и Leptonica. Подкаталог Tess-two содержит инструменты для компиляции библиотеки TESSERACT и Leptonica для использования на платформе Android. Он содержит проект библиотеки Android, которая обеспечивает JavaAPI для доступа к изначально скомпилированным TESSERACT и LeptonicaAPI [17].

Разработанный прототип с использованием библиотеки Tess-two показал, что применения лишь библиотек для распознавания данных со счетчиков недостаточно, так как распознаются не только данные со счетчика, но и сторонняя информация на счетчиках, поэтому алгоритм распознавания данных со счетчиков требует доработки.

4.3. Сравнение с существующими системами

На данный момент нашу систему можно сравнить лишь с ручным сбором информации со счетчиков (см. таблицу) [10].

Сравнение мобильных компонент энергетического менеджмента с ручным сбором данных

Технико-экономический показатель	Аналог	Инновационный продукт	Новые качества
	Ручной сбор данных	Мобильные компоненты ЭМ	
Время сбора информации	~2–3 минуты	~30 с	Данные поступают на сервер мгновенно, не требуется сначала фиксировать данные на бумаге, а затем переносить в протоколы. Не нужно терять время на замеры в труднодоступных местах
Потеря информации	~10–15 %	0 %	Данные хранятся на сервере, передаются мгновенно, результаты сохраняются в локальной БД на телефоне
Количество ошибок	~15–20 %	0 %	Данные распознаются автоматически, отсутствует человеческий фактор

Как видно из таблицы, наша система работает быстрее и надежнее, чем сбор данных вручную. Мы уверены, что данная система может помочь решить такие проблемы, как расход

энергетических ресурсов, а пользователям стать более осведомленным о том, сколько они тратят за оплату счетов за потребление энергии и тратить меньше, чем сейчас.

4.4. Механизм обработки энергетических данных

Система для обработки больших данных, поступающих от счетчиков с помощью мобильных компонентов, разрабатывается на основе ApacheHadoop. Приложение, использующее Hadoop, запускается удаленной командой через веб-интерфейс [15]. Веб-интерфейс реализуется на основе Javасервлетов, веб-сервера ApacheWebserver и связывающего компонента ApacheTomcat. Архитектура приложения представлена на рис. 2.

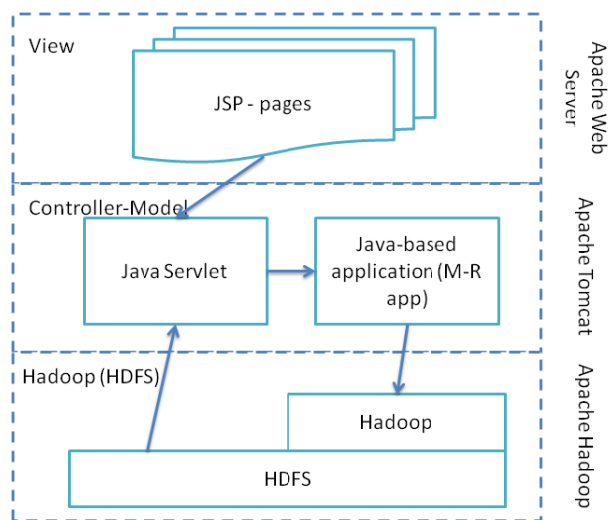


Рис.2. Архитектура системы

Заключение

В данной работе мы рассмотрели существующие подходы к современным ИТ-технологиям, которые помогают контролировать наше потребление энергии. Мы также поставили своей целью разработать мобильный компонент для мониторинга потребления электроэнергии. Для того чтобы достичь поставленной цели, мы представили схему функционирования системы, установили требования к системе и ее функциям, сравнили нашу систему с существующими методами сбора информации со счетчиков. Также мы кратко рассмотрели концепцию «умного дома», которая в дальнейшем при включении нашего компонента мониторинга электроэнергии поможет сделать «умные дома» более распространенными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future», European Communities (2006).

2. ISO 50001:2012 «Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use».

3. The What, Why, and How of Energy Management [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.energylens.com/articles/energy-management>

4. R. Harper, Inside the Smart Home. Springer. – 2003.

5. Beyond the Numbers : Pricing and Spending, U.S. Bureau of Labor Statistics. – 2012.

6. Spending on Newspapers and Magazines Slides as Spending for Internet Access Soars, United States Department of Labor Bureau of Labor Statistics, Feb-2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bls.gov/ceh/newspapers.htm>.

7. W. LeBlanc, Customer Priorities and Behavior: kWhs, iPads, and Lattes, Fort Collins, Colorado, 25-Sep-2012.

8. W. Mert, Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy Systems – Consumer Acceptance and Restrictions / W. Mert, M. Watts, W. Tritthart // Proceedings of the ECEEE 2009 Summer Study.

9. A Proposed Framework for Heuristic Approaches to Resource Allocation in the Emerging Smart Grid / T. Hansen, R. Roche, S. Suryanarayanan, H. J. Siegel, D. Zimmerle, P. Young, and A. Maciejewski // presented at the IEEE PES International Conference on Power Systems and Technology (POWERCON 2012), Auckland, New Zealand. – 2012, pp. 1–6.

10. S. Gupta, ElectriSense: Single-Point Sensing Using EMI for Electrical Event Detection and Classification in the Home / S. Gupta, M. S. Reynolds, S. N. Patel // UbiComp 2010, Copenhagen, Denmark. – 2010, pp. 139–148.

11. M. Erol-Kantarci, Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid / M. Erol-Kantarci, H. T. Mouftah // Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 2, no. 2. P. 314–325. – 2011.

12. Chopra, Modeling a Green Energy Challenge after a Blue Button, The White House [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.whitehouse.gov/blog/2011/09/15/modeling-green-energy-challenge-after-blue-button>.

13. Making Smartphones Brilliant: Ten Trends / Atluri V., Cakmak U., Lee R., Varanasi S. // McKinsey & Company, 20. – 2012.

14. Яновский, Т. А. Методика предварительного анализа данных в автоматизированных системах прогнозирования потребления электроэнергии / Т. А. Яновский, М. В. Щербаков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 3. – С. 21–26.

15. Щербаков, М. В. Intelligent Data Processing in Energy Management Systems: from data to energy savings / М. В. Щербаков // Sustainable Energy Policy through Digital Innovations: Synergy of Energy Efficiency and Renewable Energy : the 32nd ISTC-Korea Workshop 2014. Russia-Asia-Korea Investment Cooperation Opportunities in Sustainable Energy Field / EurasTech Corp, ISTC (International Science and Technology Center). – Seoul (Korea), 2014. – P. 1–9.

16. 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.

17. M. Fitzgerald, E. Dwoskin, BigDatacutsbuilding'senergyuse [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.wsj.com/articles/big-data-cuts-buildings-energy-use-1411937794>

18. H. Wenhui, Library integrity verification for android applications / H. Wenhui, D. Oceau // WiSec'14 Proceedings of the 2014 ACM conference on Security and privacy in wireless mobile networks. – 2014. – P. 141–152.

УДК 004.89

*Д. В. Козлов, И. Г. Жукова, М. Б. Кульцова, Д. В. Литовкин***ГЕНЕРАЦИЯ OWL-ОНТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ КОНФАЙНМЕНТ-МОДЕЛИ*****Волгоградский государственный технический университет**

mrdiko4@gmail.com

В статье рассматривается метод автоматической генерации OWL-онтологий на основе маппинга. В данном методе структура генерируемой онтологии определяется на основе данных и знаний, полученных в результате построения конфайнмент-модели (КМ), а соответствие структурных частей КМ структурным частям OWL-онтологии определяется на основе разработанных правил. Такой подход позволяет повысить качество разрабатываемой онтологии и сократить трудоемкость и время ее создания.

Ключевые слова: когнитивные методы извлечения знаний, конфайнмент-моделирование, OWL-онтология, маппинг.

*D. V. Kozlov, I. G. Zhukova, M. B. Kultsova, D. V. Litovkin***GENERATION OF OWL-ONTOLOGIES FROM CONFINEMENT MODELS****Volgograd State Technical University**

A proposal is presented for integration between a cognitive model, such as confinement model and ontologies codified in the OWL languages. Confinement models are a special form of knowledge representation, very useful for knowledge discovery and knowledge representation; OWL is a language of knowledge representation oriented to semantic analysis and processing carried out by machines. Generation of OWL-ontologies from confinement models consists of a set of formal transformation (rules) applied to confinement model concepts and the semantic analysis of the relations linking concepts.

Keywords: cognitive models, cognitive methods of knowledge discovery, confinement model, owl-ontology, mapping.

Введение

На сегодняшний день онтологии де-факто являются стандартом представления знаний в интеллектуальных системах поддержки принятия решений в различных предметных областях. Результаты, полученные в таких системах, напрямую зависят от качества знаний, которые используются в процессе поддержки принятия решений и содержатся в онтологиях. Разработка онтологий является сложной и трудоемкой задачей, в процессе которой инженер по знаниям должен выполнить ряд действий, направленных на извлечение, структуризацию и формализацию знаний в исследуемой предметной области.

Одним из способов повышения качества создаваемых онтологий является применение когнитивных методов извлечения знаний на начальных этапах разработки онтологии. Сократить трудоемкость и время создания онтологий можно за счет применения методов автоматической генерации онтологий. Таким образом, комбинация этих методов при создании онтологий, с одной стороны, позволит сокра-

тить время и трудоемкость создания онтологий, а с другой – повысить их качество.

Текущее состояние вопроса

Онтология – формализованное представление некоторой концептуальной модели представления знаний, явно описывающее последнюю в терминах классов, экземпляров, атрибутов и связей между ними. Онтологии, как правило, проектируются инженерами по знаниям или экспертами. Существует два основных подхода для построения онтологий [1]: построение онтологий с помощью специализированных систем: Protege, Ontolingua, OntoEdit, Fluent Editor и т. п.; построение онтологий на основе интерпретации когнитивных моделей используемых в процессе извлечения знаний и разработки концептуальной модели предметной области [3, 4, 2].

Одним из перспективных методов построения модели представления знаний предметной области является метод, основанный на построении когнитивных моделей специального

© Козлов Д. В., Жукова И. Г., Кульцова М. Б., Литовкин Д. В., 2015

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проект 13-07-00219 «Интеллектуальная поддержка стратегического планирования на основе интеграции когнитивных и онтологических моделей»; проект 15-07-03541 «Интеллектуальная поддержка принятия решений по управлению сложными системами на основе интеграции различных типов рассуждений на знаниях, представленных онтологической моделью».

вида так называемых конфайнмент-моделях. Конфайнмент моделирование – это процедура системно-когнитивного анализа, которая позволяет более рационально и системно строить модель знаний предметной области [5, 6]. Одним из преимуществ конфайнмент-моделирования является возможность отсеять незначимые для решаемой задачи факторы и сосредоточиться на тех, которые действительно влияют на достижение сформулированной цели. В работах [7–10] описано применение КМ для извлечения и структуризации знаний в различных предметных областях.

Для ускорения процесса построения онтологической модели представления знаний результаты конфайнмент-моделирования необходимо интерпретировать в OWL-онтологию. Необходимо отметить, что OWL-Ontology Web Language является наиболее распространенным на сегодняшний день языком описания онтологий [11]. Ряд из подходов к интерпретации когнитивных моделей и автоматической генерации онтологий на их основе рассмотрены в работах [2, 4]. Так, в работе [2] описан процесс генерации OWL-онтологии на основе концептуальных карт. В работе [4] предложен механизм построения UML-диаграмм и их дальнейшая интерпретация в онтологию.

Перспективным направлением в этой области является разработка метода интерпретации когнитивных моделей в онтологические модели представления знаний на основе маппинга, позволяющего задавать правила преобразования когнитивной модели в онтологию и генерировать онтологии автоматически.

Структура конфайнмент-системы

Конфайнмент-система представляет собой многоуровневую конфайнмент-модель. Каждый из уровней КС может быть представлен одной или несколькими конфайнмент-моделями следующих типов [6, 7]: концептуальная КМ – ККМ (рис. 1, а); гиперонимическая КМ – ГКМ (рис. 1, б), меронимическая КМ – МКМ (рис. 1, в) и атрибутивная КМ – АКМ (рис. 1, г). Гиперонимическая, меронимическая и атрибутивная конфайнмент-модели относятся к иерархическим КМ и предназначены для классификации видов понятий предметной области.

Каждая из КМ состоит из множества элементов и отношений между ними. Элементы в КМ – это факторы, влияющие на сформулированную цель. Элементы КМ могут быть связаны различными типами отношений: в ККМ –

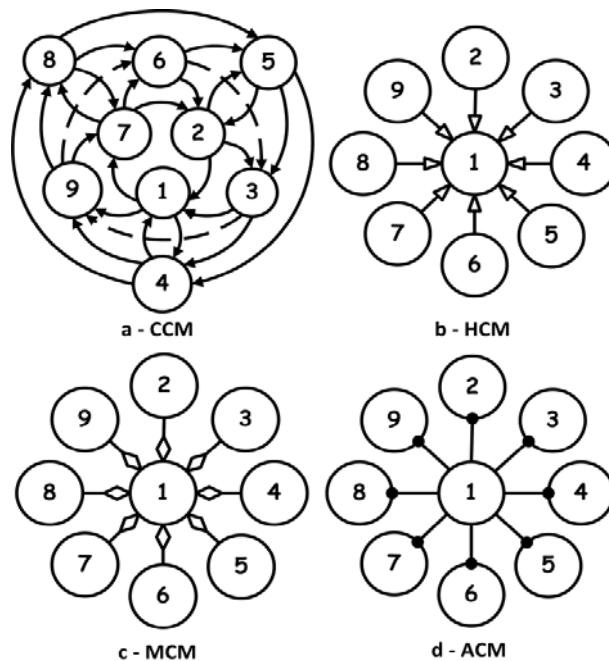


Рис. 1. Виды конфайнмент-моделей

это отношения «вызывает / зависит от»; в ГКМ – отношение «является»; в МКМ – отношение «является частью»; в АКМ – отношение «имеет свойство». На первом уровне КС всегда располагается ККМ, а каждый из последующих уровней представляет собой детализацию элемента (любого, кроме центрального) предыдущего уровня КМ, на модель любого из описанных четырех типов. При этом детализируемый элемент предыдущего уровня на новом уровне становится центральным элементом.

Концептуальная КМ позволяет выделять эксперту основные факторы предметной области, имеющие наибольшее влияние на достижение сформулированной цели. Выделяют три основных структурных элемента любой КМ: центральный элемент КМ (элемент с порядковым номером 1), периферийные элементы КМ (элементы с номерами 2–9), отношения между элементами. ККМ имеет фиксированную структуру, где каждый элемент имеет свое семантическое значение. Также на ККМ определен логический порядок заполнения структурных элементов. Это дает возможность сделать процесс извлечения знаний направленным и не позволяет эксперту пропустить наиболее важные факторы модели предметной области, а также – включать в модель второстепенные факторы, слабо влияющие на достижение сформулированной цели.

В результате построения КС эксперт получает возможность определить множество фак-

торов, имеющих наибольшую значимость для достижения цели и множество отношений между ними.

Интерпретация конфайнмент-модели в OWL-онтологию

Для построения OWL-онтологии на основе КС необходимо интерпретировать полученную КС в онтологию в терминах классов, экземпляров, атрибутов и связей между ними при помощи языка OWL. Для интерпретации КС в OWL-онтологию используется метод маппинга, который на основе разработанных правил ставит в соответствие структурным частям OWL-онтологии структурные части КС. Для реализации данного метода необходимо разработать правила интерпретации структурных частей КС в структурные части онтологической модели представления знаний.

Формальное описание конфайнмент-системы

$$CS = \langle E, CM, R, I \rangle,$$

где E – элементы конфайнмент-системы; CM – конфайнмент-модель; R – отношения между элементами конфайнмент-системы; I – множество правил интерпретации.

$$E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\},$$

где E_i – элемент КС, где $E_i = \langle EID, EN \rangle$, где EID – индекс элемента; EN – имя элемента.

$$CM = \{CM_1, CM_2, \dots, CM_n\},$$

где $CM_i = \langle CMT_k, LN \rangle$, где CMT_k – тип конфайнмент-модели; $CMT_k \in \{\text{Концептуальная, Меронимическая, Гиперонимическая, Атрибутивная}\}$, LN – номер уровня в конфайнмент-системе; $LN \in \{1, \dots, n\}$.

$$R = \{CMR \cup ER\},$$

где $CMR = \{CMR_1, CMR_2\}$ – отношения между элементами КМ и конфайнмент-моделями: CMR_1 – *elementBelongsCM* (элемент принадлежит к КМ); CMR_2 – *elementUnfoldsToCM* (элемент раскрывается в КМ); $ER = \{ER_1, ER_2, ER_3, ER_4\}$ – множество отношений между элементами конфайнмент-модели:

$$ER_1 - \text{cause}(a, b),$$

где $a \in E$, $b \in E$ – фактор a является причиной фактора b ;

$$ER_2 - \text{partOf}(a, b),$$

где $a \in E$, $b \in E$ – фактор a является частью фактора b ;

$$ER_3 - \text{is}(a, b),$$

где $a \in E$, $b \in E$ – a является b ;

$$ER_4 - \text{hasProperty}(a, b),$$

где $a \in E$, $b \in E$ – фактор a имеет свойство b .

Формальное описание онтологии

Формальное описание онтологии можно представить в виде:

$$O = \langle X, R, F \rangle,$$

где X – конечное множество концептов предметной области; R – конечное множество отношений между концептами; F – конечное множество функций интерпретации, заданных в онтологии.

При этом выделяются следующие типы концептов: $XC \subset X$ – конечное множество классов онтологии; $XI \subset X$ – конечное множество экземпляров классов онтологии; $XA \subset X$ – конечное множество атрибутов классов онтологии.

Обозначим также основные типы отношений между концептами:

$$RS(a, b) \in R,$$

где $a \in XC$, $b \in XC$ – концепт a является подклассом концепта b ;

$$RI(a, b) \in R,$$

где $a \in XI$, $b \in XC$ – концепт a является экземпляром концепта b ;

$$RA(a, b) \in R,$$

где $a \in XA$, $b \in (XC \cup XI)$ – концепт a является атрибутом концепта b .

Правила интерпретации КМ в OWL-онтологию

На основе анализа структуры КС и онтологии, а также отношений между их элементами были разработаны правила отображения структурных частей КМ на структурные части OWL, представленные в табл. 1.

Необходимо отметить, что вариант отображения АКМ на OWL зависит от типа КМ предыдущего уровня: первый вариант – если АКМ была раскрыта из ККМ или МКМ; второй – если АКМ была раскрыта из ГКМ. В табл. 1 приведены оба варианта.

Таблица 1

Маппинг КМ и OWL

КМ	Онтология	OWL
Концептуальная КМ		
$x \in E$	$x \in XC$	<code><owl:Class rdf:ID=x:EN /></code>
$cause(x,y) \& x,y \in E$	$RS(x,z) \& RS(y,z) \& x,y,z \in XC$	<code><owl:Class rdf:ID=z:EN/></code> <code><owl:Class rdf:ID=x:EN/></code> <code><rdfs:subClassOf rdf:resource= z:EN /></code> <code></owl:Class></code> <code><owl:Class rdf:ID=y:EN/></code> <code><rdfs:subClassOf rdf:resource= z:EN /></code> <code></owl:Class></code>
Гиперонимическая КМ		
$x \in E \& x.EID = 1$	$x \in XC$	<code><owl:Class rdf:ID=x:EN /></code>
$y \in E \& y.EID > 1$	$y \in XI$	<code><owl:NamedIndividual></code> <code><rdf:type rdf:resource=y:EN /></code> <code><rdfs:label>x:EN</rdfs:label></code> <code></owl:NamedIndividual></code>
$is(y,x) \& x,y \in E$	$RI(y,x) \& x \in XC \& y \in XI$	
Меронимическая КМ		
$x \in E \& x.EID = 1$	$x \in XC$	<code><owl:Class rdf:ID=x:EN /></code>
$y \in E \& y.EID > 1$	$y \in XC$	<code><owl:Class rdf:ID=y:EN/></code> <code><rdfs:subClassOf rdf:resource= x:EN /></code> <code></owl:Class></code>
$partOf(y,x) \& x,y \in E$	$RS(y,x) \& x \in XC \& y \in XI$	
Атрибутивная КМ		
$x \in E \& x.EID = 1$	$x \in (XC \cup XI)$	<code><owl:Class rdf:ID=x:EN /></code> <code><!--or--></code> <code><owl:NamedIndividual rdf:ID=x:EN /></code>
$y \in E \& y.EID > 1$	$RS(y,x) \& x \in (XC \cup XI) \& y \in XA$	<code><owl:DatatypeProperty rdf:ID=y:EN /></code> <code><owl:Class rdf:ID=x:EN /></code> <code><y:EN df:datatype=type></code> <code>value</code> <code></y:EN></code> <code></owl:Class></code> <code><!-- or --></code> <code><owl:NamedIndividual rdf:ID=x:EN /></code> <code><!-- ...--></code> <code><y:EN df:datatype=type></code> <code>value</code> <code></y:EN></code> <code></owl:Class></code>
$hasProperty(x,y) \& x,y \in E$	$RA(y,a) \& x \in (XC \cup XI) \& y \in XA$	

**Метод интерпретации
конфайнмент-системы в OWL**

На основании правил интерпретации был разработан метод интерпретации КС в OWL. Для интерпретации конфайнмент-системы

в OWL-онтологию необходимо выполнить следующие шаги:

1. Выделить уровни КС.
2. Выделить все конфайнмент-модели КС.
3. Выделить структурные части каждой из КМ.

4. Отобразить структурные части КМ на OWL-онтологию с помощью разработанных правил.

Алгоритм интерпретации КМ в OWL-онтологию, реализующий данный метод, представлен на рис. 2. Входными данными алгоритма являются структурные элементы КС и отноше-

ния между ними. Выходные данные – онтология, описанная в нотации OWL.

Рассмотрим пример построения концептуальной модели предметной области с помощью КМ и генерации OWL-онтологии на основе маппинга для решения задачи контроля качества работы персонала.

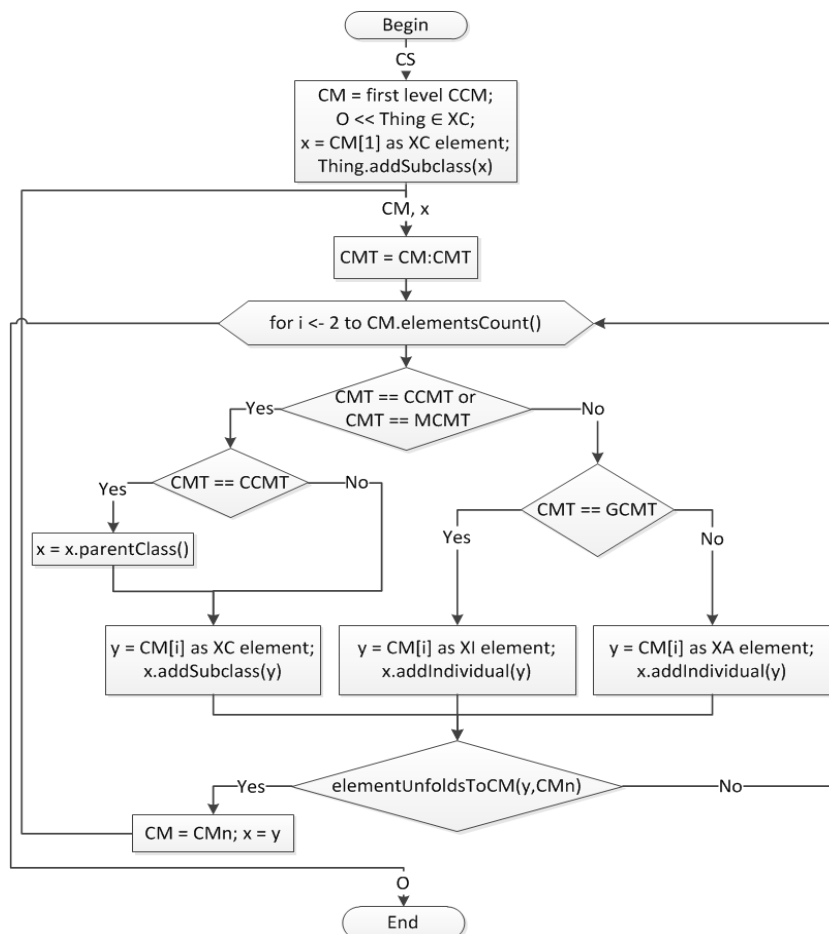


Рис. 2. Блок-схема алгоритма интерпретации КМ в OWL-онтологию

Шаг 1. Построить первый уровень КС – ККМ, в котором описывается способ получения магазином максимальной выручки за счет принятия эффективных решений по управлению персоналом (рис. 3).

Шаг 2. Провести анализ построенной ККМ. Как видно из модели, максимальная выручка достигается за счет контроля качества работы персонала (элемент 6 в КМ.) В свою очередь, контроль качества работы персонала осуществляется с помощью системы штрафов и поощрений сотрудников (элемент 8), а также за счет

установления плана и метрик качества работы персонала (элемент 7).

Шаг 3. Для уточнения факторов, описанных в элементах 7 и 8 первого уровня КС, необходимо раскрыть эти факторы на две МКМ (рис. 4 и 5), представляющие собой второй уровень конфайнмент-системы.

Шаг 4. На основе полученной КС, предложенного алгоритма и правил интерпретации сгенерировать OWL-онтологию. На рис. 6 представлена диаграмма классов сгенерированной OWL-онтологии.

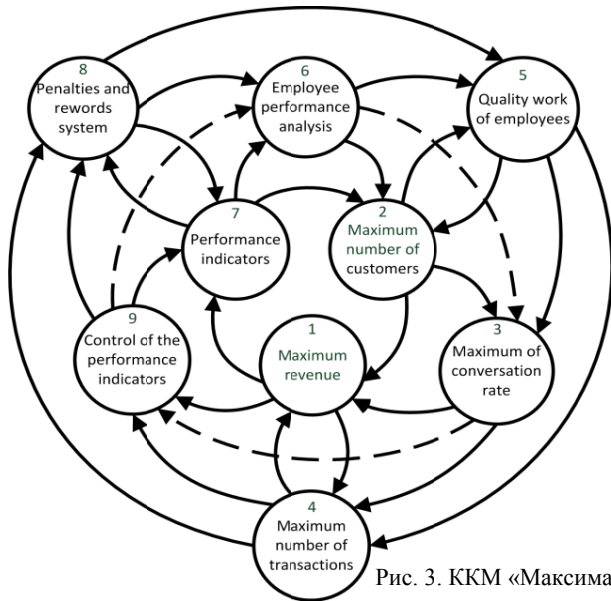


Рис. 3. ККМ «Максимальная выручка магазина»

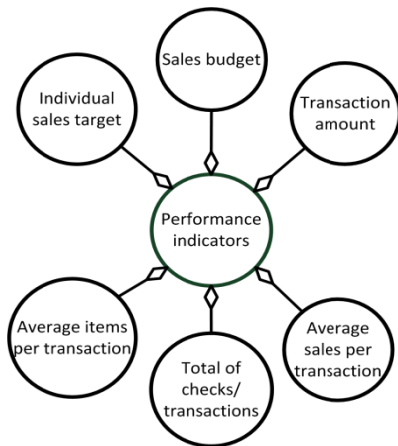


Рис. 4. МКМ «Метрики качества работы персонала»

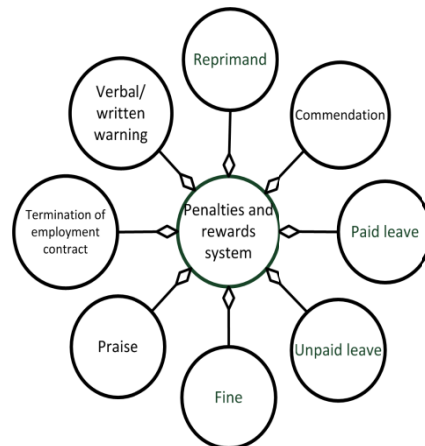


Рис. 5. МКМ «Система штрафов и поощрений»

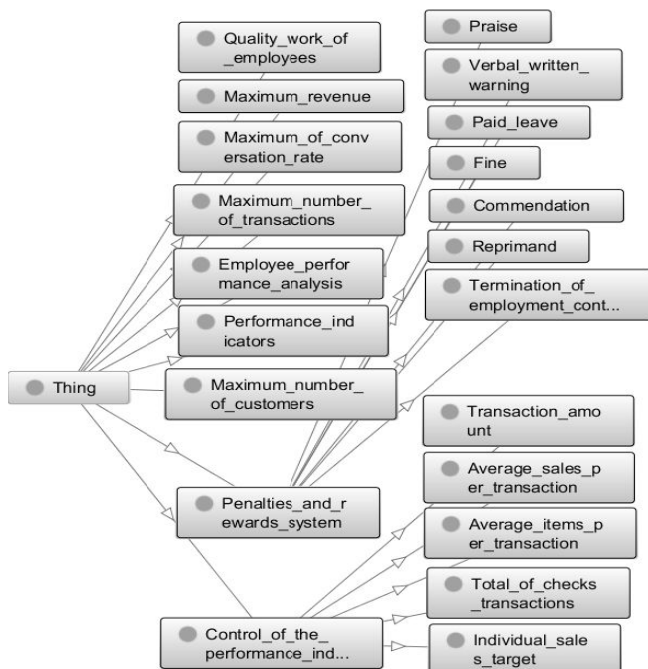


Рис. 6. Диаграмма классов OWL-онтологии

При создании иерархических КМ следует понимать, что они предназначены для детализации элементов ККМ, и все их элементы (кроме центрального) связаны только с центральным элементом (а не между собой). Следовательно, нецентральные элементы иерархической КМ определяются экспертом субъективно, исходя из имеющихся у него экспертных знаний о предметной области и его субъективных представлениях о степени важности тех или иных факторов при достижении поставленной цели. Поэтому необходимость существования каждого из нецентральных элементов иерархических КМ, а также степень их важности в КС требуют дополнительной проверки. Также необходимо отметить, что процесс разработки онтологии предметной области является итерационным и предполагает последовательное включение новых элементов в онтологическую модель представления знаний. Включение новых элементов в онтологию реализуется путем детализации элементов КМ.

Автоматизация метода генерации OWL-онтологии на основе КС

Для автоматизации процесса построения КС и автоматической генерации на ее основе OWL-онтологии был разработана программа, состоящая из следующих модулей:

1. Модуль сериализации и десериализации КС.
2. Модуль ввода и редактирования данных в КС.
3. Модуль анализа построенной КС на корректность, содержащий набор правил построения корректной КС и контролирующий их выполнение в процессе работы пользователя с программой.
4. Модуль генерации построенной КС в OWL-онтологию, реализующий процесс интерпретации OWL-онтологии на основе КС.
5. Модуль экспорта сгенерированной онтологии в файл системы Protégé формата .owl.

Архитектура программы включает в себя основные модули программы и связи между ними (см. рис. 7 и табл. 2). Процесс работы в программе состоит из следующих шагов:

1. Создание / редактирование / сохранение конфаймент-системы.
2. Проверка созданной КС на корректность.
3. Генерация OWL-онтологии на основе разработанной КС.
4. Экспорт сгенерированной OWL-онтологии в систему Protégé.

Таблица 2

Связи между модулями программы

Связь	Описание
1	Данные из построенной КМ
2	OWL скрипт

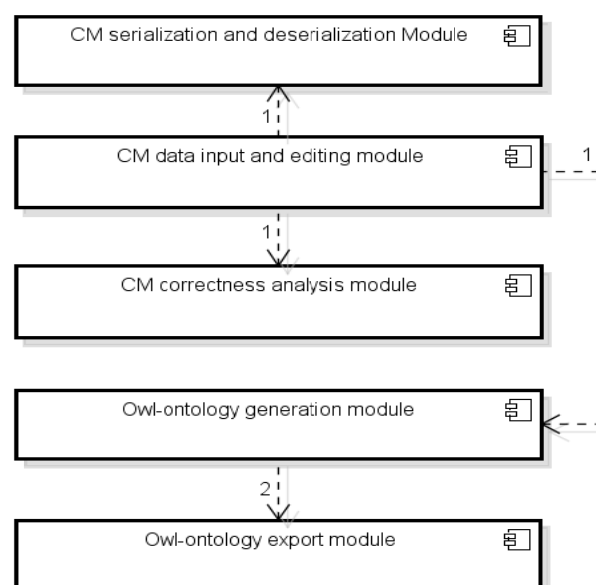


Рис. 7. Архитектура программы (диаграмма компонент, UML)

Программа реализована с использованием технологии WPF на языке C#, платформа .Net Framework 4.5.

Заключение

В статье описаны метод автоматической генерации OWL-онтологии на основе маппинга и алгоритм его реализации, программа автоматизации построения КС и автоматической генерации Owl-онтологии. В рассмотренном методе структура генерируемой онтологии определяется на основе данных и знаний, полученных в результате конфаймент-моделирования, а соответствие структурных частей КС структурным частям OWL-онтологии – на основе разработанных правил. Такой подход позволяет повысить качество разрабатываемой онтологии и сократить трудоемкость и время ее создания. В дальнейшем планируется интеграция разработанного программного модуля в систему интеллектуальной поддержки принятия решений в области управления персоналом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технологии применения онтологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://bigc.ru/theory/km/onto_tech-nologies.php#1 (дата обращения 08.05.2014).
2. *Simón, A.* Et al, 2007. Generation of OWL Ontologies from Concept Maps in Shallow Domains, in D. Borrajo, L. Castillo, and J.M. Corchado (Eds.): CAEPIA 2007, LNAI 4788, pp. 259–267.
3. Подход к прогнозированию энергопотребления в жилищном секторе на основе качественного и имитационного моделирования / М. Б. Кульцова, Н. П. Садовникова, А. Ф. Ушаков, О. А. Хржановская // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 5(119). – С. 38–44.
4. *Мещерин, С. А.* Использование UML для эффективного построения кризисных онтологий / С. А. Мещерин, И. А. Кириллов, С. В. Клименко // MEDIAS2011 Труды Международной научной конференции / Лимассол, Республика Кипр : ИФТИ, 2011. – С. 149–153.
5. Конфайнмент®-моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gagin.tv/index.php?page=9/> (дата обращения 24.02.2015).
6. *Gagin T., Borodina S., Kelyin A.* Manual Guide for the Confinement Modeling, <http://www.gagin.tv/files/texts/Confinement-guide.pdf>, 2003–2006.
7. *Попов Д. В.* Математическое и программное обеспечение конфайнмент-моделирования сложных систем / Д. В. Попов, С. Ю. Поляковский, Н. Н. Мухачева // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Вып. 4. Уфа : УГАТУ, 2007. С. 19–26.
8. *Мухачева, Н. Н.* Системно-когнитивный подход к построению онтологических баз знаний информационно-интеллектуальных ресурсов / Н. Н. Мухачева, Д. В. Попов // Вестник РГРТУ. № 4. Вып. 30. 2009.
9. *Ризванов, Д. А.* Онтологический подход к поддержке принятия решений по управлению компетенциями организации / Д. А. Ризванов, Г. В. Сенькина // Вестник РГРТУ. № 4. Вып. 30. 2009.
10. *Бадамшин, Р. А.* Поддержка принятия решений по управлению НИРС на основе моделирования информационно-интеллектуальных ресурсов / Р. А. Бадамшин, Н. Н. Мухачева // Вестник УГАТУ. Т. 15. № 5 (45). 2011. С. 227–240.
11. OWL Web Ontology Language Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.w3.org/TR/owl-guide/> (дата обращения 24.02.2015).

УДК 004.946

В. М. Константинов, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MS KINECT

Волгоградский государственный технический университет

konstantinovr1@gmail.com

В статье описывается программная система для сканирования и трехмерной реконструкции человеческого тела с помощью двух устройств MS Kinect. Рассмотрены основные этапы преобразования частичных фреймов глубины в полигональную сетку общей модели тела человека. Предложен и описан метод построения поверхности в «пустых зонах».

Ключевые слова: трехмерная реконструкция, модель тела человека, Kinect, ICP, билатеральная фильтрация, кривые Безье.

V. M. Konstantinov, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev

THE DEVELOPMENT OF 3D HUMAN BODY MODEL USING MS KINECT

Volgograd State Technical University

This article describes a software system for scanning and three-dimensional reconstruction of the human body using the two MS Kinect devices. The article describes the main stages of the conversion of partial frames of depth in the general polygon mesh model of the human body. Also, we propose and describe a method for constructing the surface in the «empty zones».

Keywords: 3D reconstruction, human body model, Kinect, ICP, bilateral filtering, Bezier curve.

Введение

Трехмерные модели объектов реального мира, в особенности модели человеческого тела в настоящее время применяются во многих прикладных областях, таких как приложения дополненной и виртуальной реальности, видеоиграх, в процессе реинжиниринга [1]. Такие модели создаются при помощи дорогостоящего специализированного аппаратного и программного обеспечения.

В данной работе предлагается и описывается метод получения трехмерной модели человеческого тела с использованием двух устройств MS Kinect без дополнительного снаряжения. Устройство Kinect значительно дешевле специализированных сканеров и предоставляет поток глубины, который может быть преобразован сначала в набор трехмерных вершин, а затем в полигональную сетку, которая описывает геометрию поверхности тела.

© Константинов В. М., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л., 2015

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 13-07-97042, 14-07-97016, 15-07-06322, 15-07-05440).

1. Описание функционирования системы

В качестве входных данных система принимает два потока от двух камер глубины сенсора Kinect. Система обрабатывает каждый кадр (R'_k) потоков, который представляет собой изображение с разрешением 640×480 «пикселей». Каждый «пиксель» характеризует расстояние до участка сканируемой поверхности. Это расстояние выражается в миллиметрах.

Перед обработкой кадров потока глубины необходимо провести их фильтрацию. Это проблема связана с тем, что данные глубины, возвращаемые устройством, достаточно сильно зашумлены. Эти шумы носят случайный аддитивный характер, статистически независимый от сигнала. В данном случае необходимо удалить шум из кадров глубины и в то же время сохранить четкость границ. Это обусловлено тем, что границы на кадре глубины выражают переход между уровнями поверхности. Сглаживание границ недопустимо и приведет к потере информации. Сгладить изображение с сохранением четких границ позволяет использование билатерального фильтра.

Далее отфильтрованные кадры глубины (R_k, R_{k-1}) обрабатываются для получения набора трехмерных точек (V_k) и нормалей (N_k) к ним. Так как разрешение камеры глубины невелико, имеет смысл сканировать поверхность тела человека по частям. Для совмещения частичных фреймов поверхности используется вариация алгоритма ICP. На выходе получается полный фрейм поверхности (V^g, N^g) передней и задней части тела человека.

Далее, ввиду того, что существуют участки поверхности, которые не могут попасть в поле зрения ни одной из камер глубины («пустые зоны») необходимо достроить поверхность внутри этих зон. Для этого разработан алгоритм построения вершин на основе квадратичных кривых Безье. На выходе этого этапа будет получена общая поверхность (V', N') человеческого тела, объединенная добавленными вершинами между передней и задней поверхностью. После вычисления общей поверхности необходимо получить полигональную модель ($M_{x,y,z}$). Для этого используется специальный алгоритм реконструкции, основанный на решении уравнения Пуассона (Poisson Surface Reconstruction) [2].

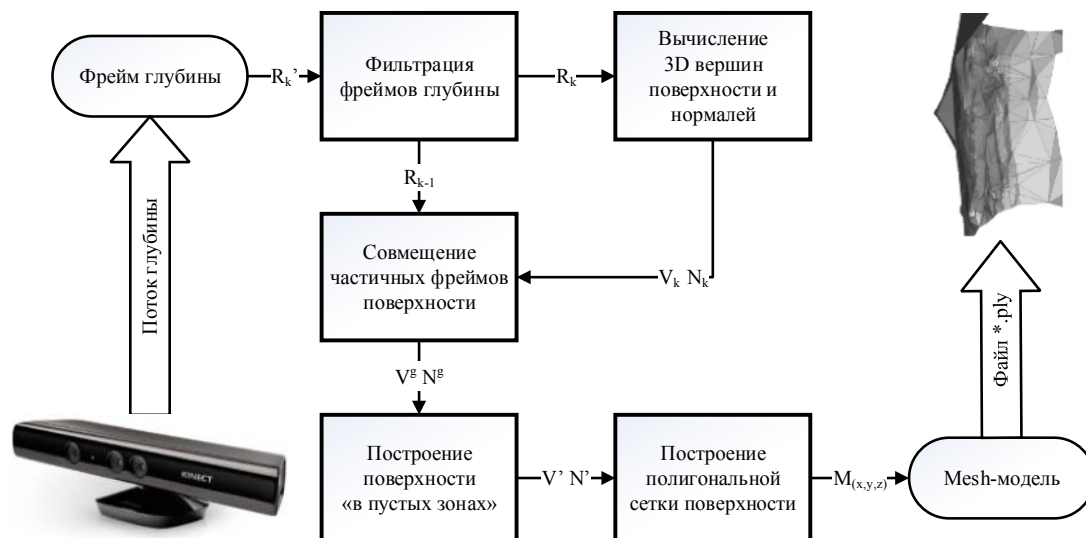


Рис. 1. Общая схема работы системы

В качестве выходных данных система предоставляет файл *.ply, который содержит полигональную модель поверхности тела человека. На рис. 1 представлена схема общего функционирования системы.

2. Описание метода построения модели поверхности

Перед запуском системы необходимо разместить устройства MS Kinect и выделить про-

странство для сканирования сцены. Два устройства расположены перед человеком и за ним и направлены в противоположные стороны. Расстояние между двумя устройствами зависит от роста сканируемого человека. Высота, на которой расположены устройства равна, половине роста сканируемого человека.

Во время процесса сканирования человек должен стоять неподвижно точно в центре (т. е. на одинаковом удалении от обоих устройств)

виртуального куба, ограниченного плоскостями камер устройств MS Kinect. В общем, пользователь может принять любую неподвижную позу. Однако при этом никакая часть передней или задней поверхности не должна перекрывать обзор камеры.

Угол обзора камеры MS Kinect ограничен и составляет 43° по вертикали. Это значит, что дистанция захвата поверхности в полный рост сканируемого человека ограничена. Однако, если условно разделить поверхность на три части (верхнюю, среднюю и нижнюю) с достаточно большими последовательными перекрытиями, дистанцию можно сократить. Это увеличит точность измерения расстояния до уча-

стков поверхности, так как теперь каждый частичный кадр будет иметь разрешение 640×480 pix, а не фрейм всей поверхности.

После установки и настройки системы таким образом подготовительный этап закончен. Схема физического размещения системы представлена на рис. 2.

Перед обработкой кадров потока глубины необходимо провести их фильтрацию. В данной работе для фильтрации использован билатеральный фильтр [3]. К качеству интенсивности цвета пикселей принимается расстояние до участка поверхности. Таким образом, формула нового значения глубины (R_k) в конкретном пикселе (q) выражается формулой

$$R_k(q) = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in u} \mathcal{N}_{\sigma_s}(\|u - q\|_2) \mathcal{N}_{\sigma_r}(\|R'_k(u) - R'_k(q)\|_2) R'_k(q),$$

где R'_k – значение расстояния в конкретной точке кадра глубины; u – центральная точка уровня по-

верхности; $\mathcal{N}_{\sigma}(t) = \exp(-t^2 \sigma^{-2})$ – функция Гаусса; W_p – некоторый весовой коэффициент.

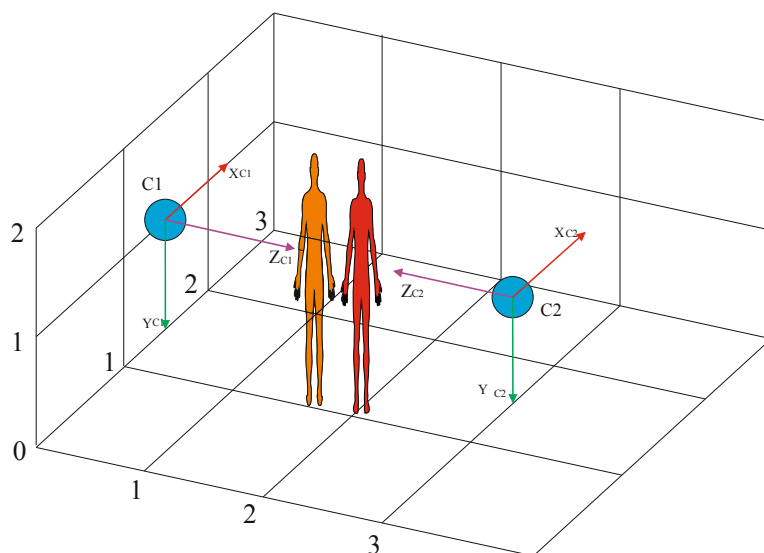


Рис. 2. Иллюстрация установки системы

После обработки билатеральным фильтром будет получен сглаженный кадр глубины. Результат сглаживания представлен на рис. 3. Как видно из иллюстрации, использование рангового оператора позволяет сохранить переходы между уровнями поверхностей.

Для преобразования фрейма глубины в облако трехмерных точек необходимо первым шагом вычислить матрицу перспективной проекции камеры (K). Она может быть получена на основе внутренней калибровочной матрицы камеры MS Kinect.

Каждый пиксель фрейма глубины представляет собой вектор-столбец

$$Q = [x \ y \ z]^T,$$

где x – координата «пикселя» по ширине кадра; y – координата по высоте кадра; z – значение глубины.

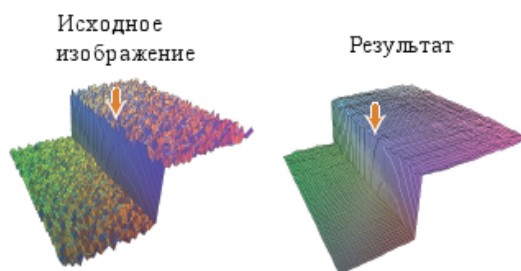


Рис. 3. Иллюстрация работы фильтра

Для получения набора трехмерных вершин (V_k) необходимо умножить вектор (Q) на обратную внутреннюю матрицу для каждого пикселя кадра глубины по формуле

$$V_k(q) = D_k(q)K^{-1}.$$

Следующий шаг – вычисление нормали для каждой вершины. Вектор нормали (N_k) вычисляется на основе координат соседних вершин по следующей формуле:

$$N_k(q) = (V_k(x+1, y) - V_k(x, y)) \times (V_k(x, y+1) - V_k(x, y)).$$

Передняя и задняя поверхности должны быть построены путем совмещения частичных фреймов. Верхний, средний и нижний фреймы имеют взаимные перекрытия, поэтому для их совмещения воспользуемся алгоритмом ICP (Iterative Closest Point) [7]. Последовательно совмещаются верхний и средний фрейм, затем – средний и нижний фреймы. На последнем шаге совмещаются получившиеся фреймы в единую поверхность (переднюю и заднюю). Схема перекрытий в частичных фреймах представлена на рис. 4.

Первый шаг алгоритма заключается в нахождении совпадающих вершин в двух частичных фреймах. Сравниваются текущий фрейм (R_k) и предыдущий фрейм (R_{k-1}). Если известна матрица трансформации камеры с предыдущего шага (предыдущего частичного кадра глубины), можно спроецировать вершины в глобальных координатах (V_{i-1}).

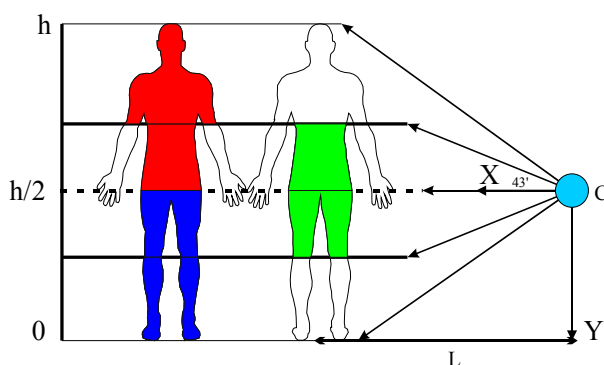


Рис. 4. Схема перекрытий частичных кадров глубины

Так как камера Kinect закреплена в одной точке и обладает только одной степенью свободы (вращение вокруг оси X), матрица трансформации имеет вид:

$$T_{i-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_{i-1} & -\sin \varphi_{i-1} \\ 0 & \sin \varphi_{i-1} & \cos \varphi_{i-1} \end{bmatrix}.$$

Таким образом, формула проекции вершин на карту глубины (p) имеет вид

$$V_{i-1} = T_{i-1}^{-1}V_{i-1}^g.$$

Далее, если проекция содержит вершины (V_i), тогда необходимо вычислить новые значения нормали (n) для каждой вершины согласно формуле

$$n = T_i N_i(p).$$

Координаты вершин пересчитывать не нужно, так как камера в новом кадре не смещается по пространственным осям. Если будет превышено пороговое значение (ts) то текущая точка будет признана совмещенной. Если нет, то точка считается новой (из фрейма нового кадра глубины).

$$n \times n_{i-1}^g < ts.$$

Значение порога (ts) определяет по следующей формуле:

$$\arg \min \sum_u \|(TV_i(u) - V_{i-1}^g(u)) \times n_{i-1}^g(u)\|^2.$$

На выходе этого этапа будут получены задняя и передняя поверхности в виде облаков трехмерных точек и нормалей к ним.

После попарного совмещения частичных фреймов получим отдельные заднюю и переднюю поверхности тела. Между этими поверхностями будет находиться тонкая полоса «пустых зон». Эти зоны образуются из-за недоступности для сканирования ввиду физического расположения камер.

Основная идея метода заполнения пустых зон изображена на рис. 5. Для нахождения граничных вершин используется пороговое значение глубины с помощью оператора Собеля (3×3) [5]. Из набора граничных вершин для передней поверхности (P_f) последовательно выбирается вершина (P_1). Для каждой такой вершины выбирается ближайшая вершина (P_2) из набора для задней поверхности (P_b). Далее строится линия нормали для обеих вершин и рассчитывается точка пересечения (P_c). На основе полученных вершин строится квадратичная кривая Безье по следующей формуле:

$$B(t) = (1-t)^2 P_1 + 2t(1-t) P_c + t^2 P_2,$$

где $B(t)$ – вспомогательная вершина; t – параметр $[0, 1]$.

Таким образом, «пустые зоны» будут заполнены набором вершин $B(t)$, как показано на рис. 5.

На выходе будет получена общая модель человеческого тела в виде совмещенных облаков трехмерных вершин. Последний этап – построение полигональной сетки методом, основанным

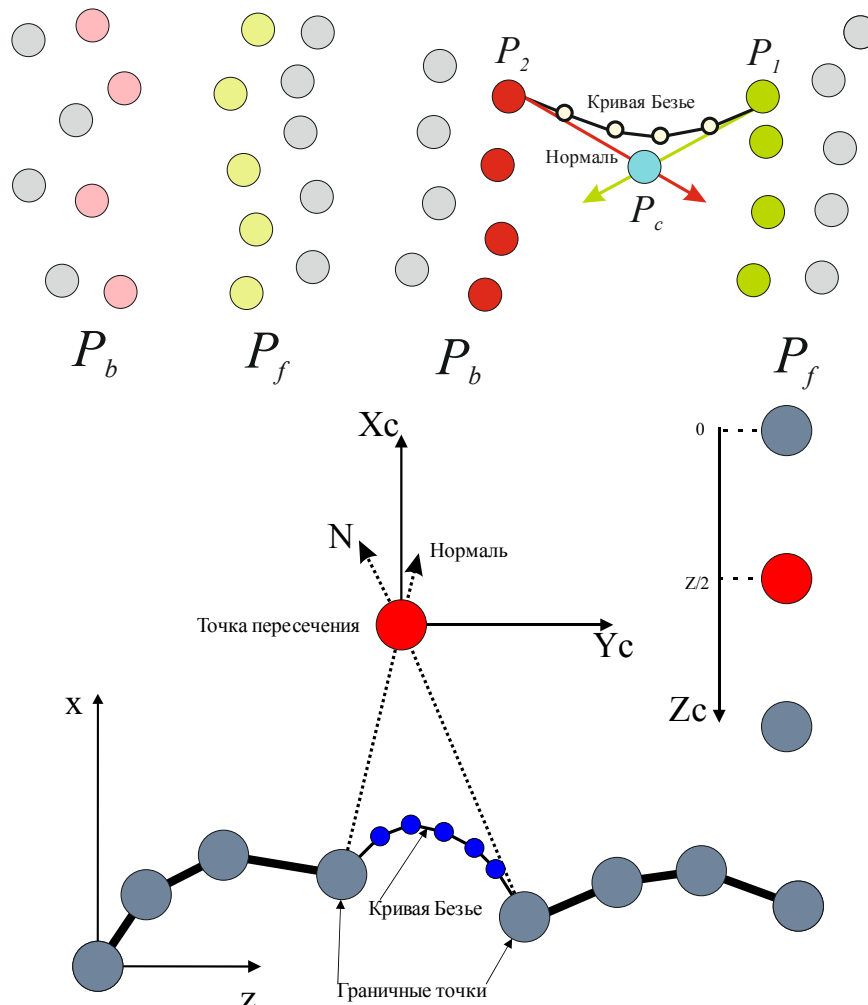


Рис. 5. Иллюстрация метода построения поверхности в «пустых зонах»

на решении уравнения Пуассона. На выходе получается полигональная сетка, которая описывает геометрию человеческого тела в формате *.ply.

3. Результаты

На основе описанного метода разработана программа для реконструкции геометрии поверхностей человеческого тела. Для реализации реконструкции Пуассона использована библиотека PCL (Point Cloud Library). Метод совмещения частичных фреймов поверхности реализован на основе библиотеки Kinect Fusion.

Заключение

В данной работе рассмотрены основные этапы преобразования потока глубины, получаемого от двух сенсоров MS Kinect в полигональную модель поверхности тела человека. Разработанная программа позволяет сканировать и реконструировать основную геометрию тела (голова, туловище, ноги).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климов, А. С. Автоматизация построения объемной модели головы человека / А. С. Климов, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25(152). С. 67–71.
2. Kazhdan M, Bolitho M, Hoppe H. Poisson surface reconstruction. In: Eurographics symposium on geometry processing. 2006. P. 61–70.
3. KinectAvatar: Fully automatic body capture using a single kinect Cui, Yan; Chang, Will; Nöll, Tobias; Stricker, Didier (2013) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Vol. 7729 LNCS (PART 2). P. 133–147.
4. Fast capture of personalized avatar using two Kinects Chen, Yin; Dang, Gang; Cheng, Zhi Quan; Xu, Kai (2014) Journal of Manufacturing Systems. Vol. 33 (1). P. 233–240.
5. Non-rigid registration under isometric deformations Huang, Qi Xing; Adams, Bart; Wicke, Martin; Guibas, Leonidas J. (2008) Computer Graphics Forum. Vol. 27 (5). P. 1449–1457.
6. Home 3D body scans from noisy image and range data Weiss, Alexander; Hirshberg, David; Black, Michael J. (2011) Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. P. 1951–1958.
7. Putting real-world objects into virtual world: Fast automatic creation of animatable 3D models with a consumer depth camera Lim, Hwasup; Lee, Seong Oh; Lee, Jong Ho; Sung, Min Hyuk; Cha, Young Woon et al. (2012) Proceedings - 2012 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality, ISUVR 2012. P. 38–41.

УДК 004.4'2

Д. В. Литовкин, Я. А. Попов, О. Н. Ляпина, А. Э. Шкарупа
**РАЗРАБОТКА ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ
 СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ «УЧЕБНЫЙ МИР "РОБОТ"»
 НА БАЗЕ IDE MICROSOFT VISUAL STUDIO
 С ПОДДЕРЖКОЙ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ СИ**

Волгоградский государственный технический университет
 litd@mail.ru, ya.a.popov@gmail.com, lyapinaon@gmail.com, alex@intervolga.ru

В статье представлена архитектура педагогической среды программирования «Учебный мир "Робот"», построенной на базе IDE Microsoft Visual Studio и поддерживающей язык программирования Си. Среда позволяет использовать типовые средства промышленной IDE и дополнительно оценивать исполнение программы на основе наглядного представления учебного мира. Определено подмножество языка программирования Си, необходимое для работы в этой среде. Представлен процесс создания программы в этой среде.

Ключевые слова: педагогическая интегрированная среда программирования, учебный мир, интегрированная среда разработки, учебный язык программирования, язык программирования Си.

D. V. Litovkin, Y. A. Popov, O. N. Lyapina, A. E. Shkarupa

**THE DEVELOPMENT OF PEDAGOGICAL INTEGRATED
 ENVIRONMENT "ROBOT" BASED ON MICROSOFT VISUAL
 STUDIO IDE WITH THE C PROGRAMMING LANGUAGE SUPPORT**

Volgograd State Technical University

The architecture of pedagogic integrated development environment "Robot" based on Microsoft Visual Studio IDE with the C programming language support is presented. The environment allows the use of generic tools of industrial IDE and additionally evaluating a program execution based on visual representation of education environment. Subset of the C programming language required to work in this environment is defined. The program development process in this environment is presented.

Keywords: pedagogic integrated development environment, education environment, integrated development environment, educational programming language, C programming language.

Введение

В настоящее время для обучения студентов первого курса основам алгоритмизации и программирования (в рамках дисциплины «Информатика» по направлениям «Программная инженерия» и «Информатика и вычислительная техника») используется педагогическая интегрированная среда программирования «КуМир: учебный мир "Робот"» [1].

Данная среда программирования позволяет

управлять роботом, который перемещается по прямоугольному полю (см. рис. 1), разделенному на клетки. Между клетками поля могут находиться стены, которые непроходимы для робота. Робот может изменять поле, закрашивая клетки, на которых он побывал. Команды обратной связи робота позволяют узнать, имеется ли рядом с роботом стена; закрашена ли текущая клетка; какая радиация и температура в текущей клетке.

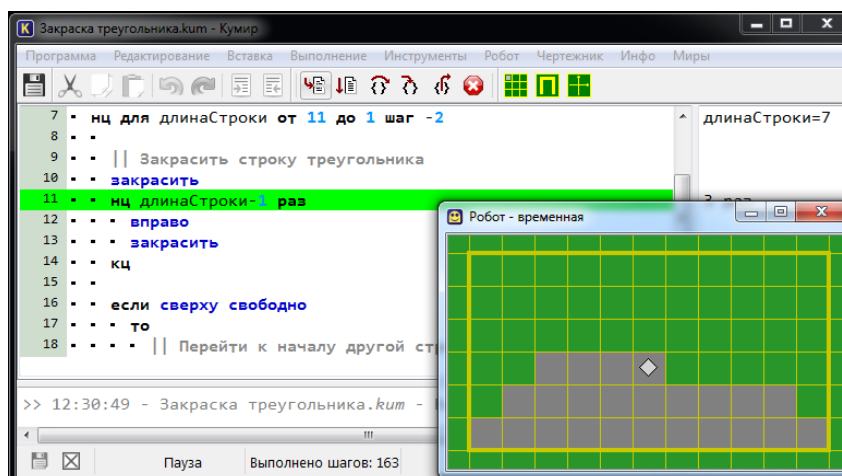


Рис. 1. Система «КуМир»: учебный мир «Робот»

Робот (исполнитель) и поле (окружение), на котором он действует, образуют учебный мир. Команды исполнителя позволяют изменять и анализировать текущее состояние окружения.

Главными достоинствами этой среды программирования и ей подобных (Alice [2, 3], Karel [4, 5], Scratch [6] и других [7, 8]) являются:

- поддержка учебного языка программирования, который более прост в изучении, чем промышленные языки программирования;

- исполнение программы представлено в наглядной форме (см. рис. 1), поэтому при оценке работоспособности программы обучаемый в большей степени ориентируется не на последовательность исполненных операторов в программе и значения переменных, а на изменение состояния исполнителя и его окружения, что поощряет обучаемого самостоятельно экспериментировать со своей программой и добиваться правильных решений;

- первоначальное состояние исполнителя и окружения задается с помощью специального графического редактора, что поощряет обучаемого создавать различные тестовые ситуации для проверки работоспособности своей программы.

Однако такие педагогические интегрированные среды программирования нельзя применять в дальнейшем цикле обучения [9] по причине ограниченности учебного языка программирования. Кроме того, педагогические среды разработки уступают промышленным средам программирования по таким критериям, как стабильность работы и возможность отладки программ (пошаговое выполнение, точки останова).

Поэтому перспективным подходом является адаптация промышленных интегрированных сред разработки (IDE) и промышленных языков программирования с целью их применения для обучения основам программирования.

Имеются отдельные попытки адаптации промышленных интегрированных сред разработки и промышленных языков программирования для обучения основам программирования [9, 10]. Однако нами не выявлены такие решения для IDE Microsoft Visual Studio и языка программирования Си.

Выбор IDE Microsoft Visual Studio и языка программирования Си обусловлен их использованием в последующих дисциплинах: «Основы программирования», «Программирование», «Качество и надежность программного обеспечения», «Операционные системы» и др. Кроме того, язык программирования Си:

- реализует процедурно-ориентированную парадигму программирования, с которой студенты начинают знакомиться в первую очередь;

- является предшественником таких языков программирования, как Си++, Java, C#, которые изучаются студентами на последующих курсах.

Таким образом, актуальной задачей является адаптация IDE Microsoft Visual Studio и языка программирования Си для обучения основам программирования. Нами предлагается создание учебного мира «Робот», интегрированного с IDE Microsoft Visual Studio и использующего некоторое подмножество языка Си.

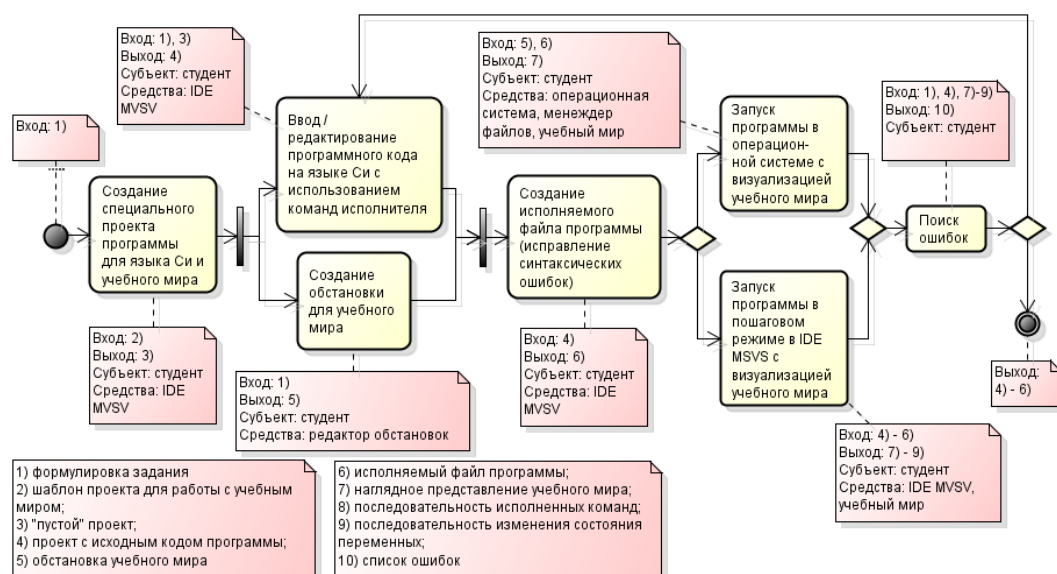


Рис. 2. Создание программы в учебном мире «Робот», интегрированном с IDE Microsoft Visual Studio (нотация – UML-диаграмма активности)

Процесс создания программы с использованием учебного мира «Робот», интегрированного с IDE Microsoft Visual Studio, представлен на рис. 2. Главным отличием этого процесса от типового является то, что исполнение программы в большей степени оценивается на основе наглядного представления учебного мира, а не последовательности исполненных команд и значения переменных. В то же время обучаемому доступны все стандартные средства IDE Microsoft Visual Studio: текстовый редактор с синтаксической подсветкой и автодополнением кода; компилятор с проверкой синтаксических ошибок; отладчик с возможностью задания точек останова, просмотра переменных и пошагового выполнения программы.

Архитектура учебного мира «Робот», интегрированного с IDE Microsoft Visual Studio, представлена на рис. 3. Интеграция учебного мира «Робот» с IDE Microsoft Visual Studio предполагает следующее.

Сначала обучаемый создает специализированный проект программы, который позволяет ему использовать команды для управления роботом на языке Си. Доступность команд обеспечивается специализированным заголовочным файлом `Исполнитель_робот.h`, в котором эти команды описаны как функции языка Си (см. табл. 1), и динамически подключаемой библиотекой `КоннекторПередачик.dll`, которая реализует эти функции.

Далее обучаемый, используя типовые средства IDE Microsoft Visual Studio, вводит исходный код программы (с использованием команд робота) и создает исполняемый файл программы `Программа.exe`. Во время исполнения программы `Программа.exe` из динамически подключаемой библиотеки `КоннекторПередачик.dll` вызываются функции, представленные в табл. 1. Эти функции запускают приложение `Учебный_мир_Робот.exe` и передают ему по именованному каналу запросы в виде названий команд робота.

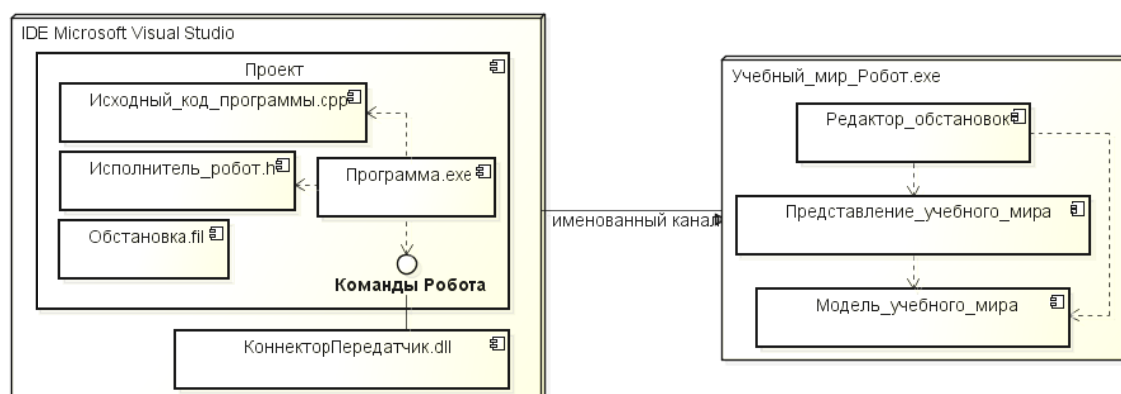


Рис. 3. Архитектура учебного мира «Робот», интегрированного с IDE Microsoft Visual Studio (нотация – UML-диаграмма развертывания)

Таблица 1

Команды робота, представленные на языке программирования Си

Команды робота	Заголовки функций на языке Си
Переместиться в соседнюю клетку в заданном направлении, если роботу не мешает стена	void moveLeft(); void moveUp(); void moveRight(); void moveDown();
Закрасить клетку, в которой находится робот	void fill();
Определить наличие/отсутствие стены в заданном направлении	int checkWallLeft(); int checkWallRight(); int checkWallTop(); int checkWallBelow();
Определить значение радиации в клетке, где находится робот	float checkRadiation();
Определить значение температуры в клетке, где находится робот	float checkTemperature();

Запрос, полученный приложением Учебный_мир_Робот.exe, транслируется компоненту Модель_учебного_мира, который реализует бизнес-логику учебного мира «Робот».

Если запрос соответствует команде изменения окружения, то происходит изменение состояния робота и его окружения. Компонент Представление_учебного_мира отслеживает эти изменения и обновляет экранную форму, на которой наглядно представлен учебный мир.

Если запрос соответствует команде анализа окружения, то компонент Модель_учебного_мира формирует запрашиваемое значение и возвращает его по именованному каналу в динамически подключаемую библиотеку КоннекторПередатчик.dll, а та, в свою очередь, использует это значение как возвращаемое значение для функций из табл. 1.

Таким образом, в процессе исполнения программы Программа.exe формируется множество запросов к приложению Учебный_мир_Робот.exe (через посредника КоннекторПередатчик.dll). Приложение Учебный_мир_Робот.exe обрабатывает их, и как результат – либо изменяет состояние робота и его окружения, заново формируя наглядное представление учебного мира, либо возвращает требуемое значение.

Кроме указанных ранее компонентов приложение Учебный_мир_Робот.exe включает в себя Редактор_обстановок. Этот компонент используется, когда учебный мир находится в режиме редактирования обстановки. Обстановка задает начальную позицию робота и начальное состояние поля (расположение стен, значение температуры и радиации в клетках). Режим редактирования обстановки иницируется обучаемым с указанием файла обстановки (файла с расширением fil).

Адаптация языка программирования Си для обучения основам программирования достигается за счет использования подмножества языка Си без использования сложных для понимания синтаксических конструкций. Подмножество языка Си должно удовлетворять следующим требованиям:

– количество языковых конструкций должно быть минимальным;

– языковые конструкции должны быть как можно более простыми для понимания;

– языковые конструкции должны обеспечивать реализацию типовых алгоритмических структур («следование», «ветвление», «цикл» и их вариации);

– языковые конструкции должны обеспечивать работу с подпрограммами (функциями и процедурами);

– языковые конструкции должны обеспечивать реализацию заданий из банка заданий [11].

Согласно этим требованиям сформировано следующее подмножество языка Си:

– используются только переменные скалярного типа `int` и `float` (переменные логического типа в языке Си реализуются через тип `int`), так как команды робота возвращают целые и вещественные значения, а для реализации вычислений, циклов и ветвлений достаточно целочисленных, вещественных и булевских переменных;

– используются арифметические (+ - * / %) и логические (&& || !) операции, операции отношения (> < >= <= ==) и операция присваивания (=) для организации арифметических вычислений и условных выражений;

– для организации типовых алгоритмических структур используются управляющие операторы `for`, `while`, `do-while` и `if-else`;

– для ввода данных с клавиатуры и вывода данных на экран вместо библиотечных функций `scanf` и `printf`, которые сложны для понимания начинающими программистами (необходимо уметь работать с указателями и форматными строками языка Си), предлагается использовать специально созданные упрощенные версии этих функций: `scanf_integer`, `scanf_float`, `printf_integer`, `printf_float`, `printf_string` (см. табл. 2);

– для реализации подпрограмм используются функции языка Си со следующими ограничениями (так как в программе будут использоваться только скалярные типы данных `int` и `float`): а) возвращаемое значение функции может иметь только тип `void`, `int` и `float`; б) входные параметры имеют только тип `int` и `float` и передаются по значению; в) выходные и обновляемые параметры имеют только тип `int &` и `float &`, т. е. передаются по ссылке.

Таблица 2

Упрощенные версии функций для ввода и вывода данных на языке Си

Назначение	Заголовки функций на языке Си
Ввод-вывод целого числа	<code>void scanf_integer (int &имя_переменной);</code> <code>void printf_integer (int имя_переменной);</code>
Ввод-вывод вещественного числа	<code>void scanf_float (float &имя_переменной);</code> <code>void printf_float (float имя_переменной);</code>
Вывод строки	<code>void printf_string (строковая_константа);</code>

Использование ссылочных типов данных `int` & `float` возможно только в языке Си++; в языке Си для этих целей используются указатели. Однако указатели очень сложны для понимания начинающими программистами, поэтому авторами было принято решение использовать дополнительные возможности языка Си++.

Заключение

Предложен способ адаптации промышленной среды программирования IDE Microsoft Visual Studio и промышленного языка программирования Си для целей обучения за счет: а) создания учебного мира «Робот», интегрированного с IDE Microsoft Visual Studio; б) использования подмножества языка Си без использования сложных для понимания синтаксических конструкций.

Использование промышленной среды программирования IDE Microsoft Visual Studio и промышленного языка программирования Си на начальных этапах обучения позволит применять полученные знания и умения в дальнейшем цикле обучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система программирования КуМир [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.niisi.ru/kumir/>
2. 3D programming environment Alice [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.alice.org/index.php>
3. Cooper, S. Teaching Objects-First In Introductory Computer Science / Cooper Stephen, Wanda Dann, Randy Pausch // ACM SIGCSE Bulletin. – 2003. – Vol. 35 (1), P. 191–195.
4. Karel the Robot [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <https://www.cs.mtsu.edu/~untch/karel/index.html>
5. Pattis, R. Karel the Robot: A Gentle Introduction to the Art of Programming / R. Pattis, J. Roberts, and M. Stehlik // second ed. John Wiley & Sons. – 1994.
6. Scratch [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <https://scratch.mit.edu/>
7. Guzdial, M. Programming Environments for Novices. Computer Science Education Research. / Guzdial Mark // RoutledgeFalmer. – London, 2004, P. 127–154.
8. Литовкин, Д. В. Программное обеспечение для тренировки навыков по составлению логических выражений на языке Си. Сценарий работы программы-тренажера / Д. В. Литовкин, О. А. Сычев, М. П. Гладкова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 12. № 11(84). С. 99–102.
9. Reis, C. Taming a professional IDE for the classroom / C. Reis, R. Cartwright. // ACM SIGCSE Bulletin. – 2004. – Vol. 36 (1), P. 156–160.
10. Mueller, F. Penumbra: An Eclipse plugin for introductory programming. In Eclipse Technology Exchange Workshop / F. Muller, A. Hosking / OOPSLA. – 2003.
11. Практикум по информатике (с использованием учебного мира «Робот») : учеб. пособие / Д. В. Литовкин, И. Г. Жукова, М. Б. Кульцова, О. Н. Ляпина, А. В. Аникин ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 159 с.

УДК 004.853

В. Л. Розалиев

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КИСТЕЙ РУК ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ KINECT ДЛЯ ПЕРЕВОДА ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА*

Волгоградский государственный технический университет
yulia.orlova@gmail.com

Данная статья посвящена проблеме детектирования и анализа кисти с помощью камеры глубины. Особое внимание уделено анализу и трекингу кисти. В работе рассматриваются алгоритмы поиска, трекинга и анализа кистей рук человека.

Ключевые слова: язык жестов, детектирование, Kinect, depth изображение.

V. L. Rozaliev

AUTOMATED RECOGNITION OF THE HANDS OF THE PERSON WITH KINECT FOR FUNDS SIGN LANGUAGE

Volgograd State Technical University

This article describes the problem of detecting and analyzing the hand with the camera depth. Particular attention is paid to the analysis and tracking of the hand. Search algorithms, tracking and analysis of the hands of man are combined in this paper.

Keywords: sign language, detection, Kinect, depth image.

Введение

Важной проблемой является создание современных информационных технологий, в том

числе методов, с помощью которых можно создавать новые компьютерные системы обучения и коммуникации для людей с нарушениями слуха.

© Розалиев В. Л., 2015

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

слуха. В мире насчитывается более 1 % людей с заболеваниями, проявляющимися нарушением звуковосприятия, по России же их количество превышает 1 млн человек. При создании таких систем необходимо разрабатывать методы распознавания жестов, их интерпретации и перевода в текст на естественном языке.

1. Жестовая речь

Речь жестовая (от франц. *gestes* – деяния) – способ межличностного общения людей, лишенных слуха, при помощи программы жестов, характеризующейся своеобразными лексическими и грамматическими закономерностями. Закономерности жестовой речи обусловлены выраженным своеобразием ее основной семантической единицы – жеста, а также его функциональным назначением (использованием в сфере непринужденного общения). Жестовая речь используется как вспомогательное средство (наряду с основным – словесной речью) в процессе обучения и воспитания детей с недостатками слуха. В сфере официального общения (собраний, перевод лекций) применяется калькирующая жестовая речь, когда жесты последовательно используются для воспроизведения слов.

Жесты различают на статические и динамические. Под статическим жестом подразумевается положение руки в пространстве в отсутствие каких-либо движений. Напротив, динамический жест характеризуется последовательным движением руки в пространстве из начальной точки в конечную за фиксированный промежуток времени. Семиотика (наука, занимающаяся изучением знаков и знаковых систем) разделяет знаки на три группы: иконические, индексные и символические. К первой группе относят знаки, похожие на обозначаемый предмет (фотографии, географические карты). Во вторую, индексную, группу включают знаки, либо обозначающие часть предмета, либо такие, где изображение выступает как знак предмета в целом. Наконец, к третьей, символической, группе относят изображения, не имеющие ничего или почти ничего общего с обозначаемым предметом.

2. Перевод русского жестового языка в текст

Для отслеживания движений был выбран Microsoft Kinect [5, 8]. На основе рассмотренных систем [4] и методов [3, 6] распознавания жестов предлагается реализовать систему, способную переводить русский жестовый язык

в текст. В такой системе должны быть следующие подсистемы, предусматривающие принцип многомодульности [2]: подсистема работы с пользователем; подсистема обработки изображения и вычисления параметров векторной модели; подсистема распознавания статического жеста.

Назначение подсистемы работы с пользователем – предоставление пользователю удобного интерфейса работы с системой. Назначение подсистемы обработки изображения и вычисления параметров векторной модели – сегментирование карты глубины с камеры Kinect, обработка сегментированного изображения и вычисление параметров векторной модели по обработанному изображению. 30 раз в секунду на вход подсистеме поступает информация с камеры Kinect. С такой же частотой подсистема обрабатывает входные данные и вычисляет параметры векторной модели кисти руки. Назначение подсистемы распознавания жеста – отнести данные, получаемые из подсистемы обработки изображения и вычисления параметров векторной модели, к одной из дактильных букв или знаку препинания, заложенных в системе. Далее она передает значение распознанного жеста в модуль формирования текста подсистемы работы с пользователем.

По сути, отслеживание голых рук основано на методах, работающих исключительно с визуальной информацией и не предъявляющих специальных требований к оснащению пользователя дополнительным оборудованием. Выделения контуров и силуэтов являются наиболее распространенными характеристиками, используемыми для идентификации позы руки. Пока эти сигналы являются общими и устойчивы к различным условиям освещения и, исходя из этого, требуют больших вычислительно сложных определяющих алгоритмов, которые ищут многомерные позиции пределов руки [10].

3. Распознавание кисти

Чтобы реализовать распознавание кисти, необходимо решить три подзадачи: детектирование, трекинг и анализ кисти.

На первом этапе детектирования рук на изображении необходимо сегментировать изображение, чтобы найти область интереса – кисть. Для этого используется алгоритм Виолы – Джонса. Обучение классификаторов идет медленно, но сам процесс поиска кисти проходит быстро, именно поэтому был выбран данный метод распознавания кистей рук на изображении. Виола – Джонс является одним из лучших

по соотношению показателей эффективность распознавания/скорость работы.

В общем виде задача обнаружения кисти человека на цифровом изображении выглядит так: имеется изображение, на котором есть искомые объекты [6]. Оно представлено двумерной матрицей пикселей размером $w \times h$, в которой каждый пиксель имеет значение:

- от 0 до 255, если это черно-белое изображение;
- от 0 до 255^3 , если это цветное изображение (компоненты R, G, B).

В результате своей работы алгоритм должен определить кисть и пометить ее – поиск осуществляется в активной области изображения прямоугольными признаками, с помощью которых и описывается найденная кисть: $rectangle_i = \{x, y, w, h, a\}$, где x, y – координаты центра i -го прямоугольника; w – ширина; h – высота; a – угол наклона прямоугольника к вертикальной оси изображения.

Иными словами, применительно к рисункам и фотографиям используется подход на основе сканирующего окна (scanning window): сканируется изображение окном поиска (так называемое окно сканирования), а затем применяется классификатор к каждому положению. Система обучения и выбора наиболее значимых признаков полностью автоматизирована и не требует вмешательства человека, поэтому данный подход работает быстро.

Для решения проблемы проведения сложного обучения существует технология бустинга. Бустинг – комплекс методов, способствующих повышению точности аналитических моделей. Бустинг представляет собой жадный алгоритм построения композиции алгоритмов (greedy algorithm) – это алгоритм, который на каждом шагу делает локально наилучший выбор в надежде, что итоговое решение будет оптимальным. То есть при бустинге наряду с множествами X и Y вводится вспомогательное множество R , называемое пространством оценок. Далее рассматриваются алгоритмы, имеющие вид суперпозиции $a(x) = C(b(x))$, где функция $b: X \rightarrow R$ называется алгоритмическим оператором; функция $C: R \rightarrow Y$ – решающим правилом. В алгоритме Виолы – Джонса используется пороговое решающее правило, где в большинстве случаев сначала строится оператор при нулевом значении, а затем подбирается оптимальное значение. Процесс последовательного обучения базовых алгоритмов применяется,

пожалуй, чаще всего при построении композиций. Для критерия остановки используется критерий точности на обучающей выборке.

Алгоритм бустинга для детектирования кисти:

- 1) определяются слабые классификаторы по прямоугольным признакам;
- 2) для каждого перемещения сканирующего окна вычисляется прямоугольный признак на каждом примере;
- 3) выбирается наиболее подходящий порог для каждого признака;
- 4) отбираются лучшие признаки и лучший подходящий порог;
- 5) перевзвешивается выборка.

Каскадная модель сильных классификаторов – это то же дерево принятия решений, где каждый узел дерева построен таким образом, чтобы детектировать почти все интересующие образы и отклонять регионы, не являющиеся образами. Помимо этого, узлы дерева размещены таким образом, что чем ближе узел находится к корню дерева, тем из меньшего количества примитивов он состоит и тем самым требует меньшего времени на принятие решения. Данный вид каскадной модели хорошо подходит для обработки изображений, на которых общее количество детектируемых образов мало. В этом случае метод может быстрее принять решение о том, что данный регион не содержит образ, и перейти к следующему. Пример каскадной модели сильных классификаторов приведен на рис. 1.

Сложность обучения таких каскадов равна $O(xyz)$, где применяется x этапов, y примеров и z признаков.

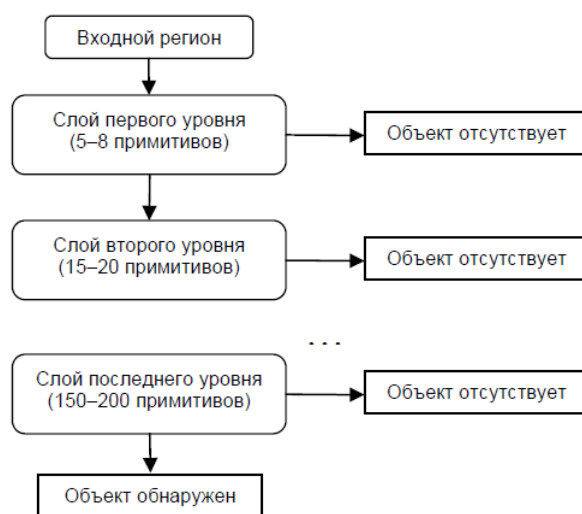


Рис. 1. Алгоритм работы каскада классификаторов

Далее, каскад применяется к изображению. Работа с «простыми» классификаторами – при этом отбрасывается часть «отрицательных» окон. Положительное значение первого классификатора запускает второй, более приспособленный и так далее. Отрицательное значение классификатора на любом этапе приводит к немедленному переходу к следующему сканирующему окну; старое окно отбрасывается. Цепочка классификаторов становится более сложной, поэтому ошибок становится намного меньше.

Алгоритм трекинга CAMShift был создан Гарри Брадски в 1998 г. и обладает способностью отслеживать лица [9]. Он комбинирует алгоритм отслеживания объекта Mean Shift, основанный на карте вероятности цвета кожи, с адаптивным шагом изменения размера области отслеживания. Вероятность цвета кожи каждого пикселя изображения определяется методом Histogram Backprojection, основанным на цвете, представленном в виде цветового тона (Hue) модели HSV. Так как алгоритм CAMShift способен отслеживать лица на основе вероятности цвета кожи, то он может применяться для отслеживания руки.

Преимуществами данного алгоритма являются: низкие требования к вычислительным ресурсам, гибкие настройки точности позиционирования, возможность работы в различных условиях освещенности. Также дополнительным преимуществом алгоритма является возможность работы в условиях частичного перекрытия отслеживаемого объекта.

Рассмотрим множество точек (распределение пикселей на гистограммы обратного проецирования). Имеется небольшое окно, которое должно двигаться в сторону области с максимальной вероятностью совпадения пикселей (рис. 2).

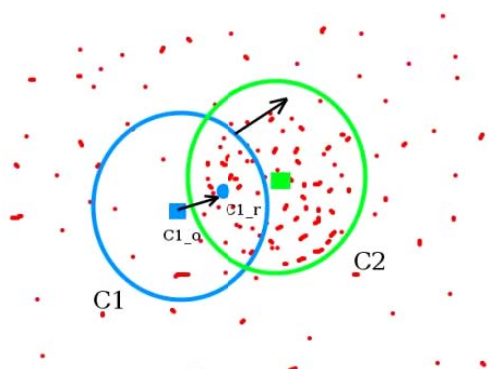


Рис. 2. Пример работы алгоритма CAMShift

Алгоритм CAMShift состоит из следующих шагов:

- 1) построить гистограмму для канала «Тон» для области изображения с найденной кистью;
- 2) вычислить «обратную проекцию» гистограммы. Обратная проекция – это новая гистограмма, в которой показаны вероятности принадлежности пикселя к кисти;
- 3) найти новое положение отслеживаемых объектов. Данное действие производится с помощью вероятностей из обратной проекции. Центр смещается к точке с наибольшей концентрацией высоких вероятностей принадлежности пикселя к кисти.

Наибольшая концентрация высоких вероятностей пикселей кисти находится с помощью нулевого момента и момента первого порядка. По вычисленным моментам можно найти центр и размер отслеживаемой области. После нахождения области интереса (кисти) для определения основных характеристик кисти следует проанализировать полученные данные. Для анализа кисти необходимо определить контур с помощью детектора границ Кенни и выделить с помощью алгоритма k-изгиба, где находятся пальцы.

Детектор границ Кенни состоит из пяти отдельных шагов [10]:

1. Сглаживание. Фильтр Гаусса. Размытие изображения для удаления шума.
2. Поиск градиентов. Границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение.
3. Подавление не-максимумов. Только локальные максимумы отмечаются как границы.
4. Двойная пороговая фильтрация. Потенциальные границы определяются порогами.
5. Трассировка области неоднозначности. Итоговые границы определяются путем подавления всех краев, несвязанных с определенными (сильными) границами.

Перед применением детектора преобразуем изображение в оттенки серого, чтобы уменьшить вычислительные затраты, иначе быстрого преобразования не получится.

После определения границ необходимо найти пальцы на изображении. Контур кисти является достаточно изменчивой характеристикой, поэтому необходимо выделить более постоянные характеристики (например, центр ладони, а также концы пальцев кисти).

Центр ладони находится как центр окружности с максимальным радиусом, вписанной

в ладонь. Далее от центра до каждой точки границы ладони считается евклидово расстояние. Такое представление кисти хорошо описывает ее топологические свойства. Для нахождения концов пальцев кисти применим алгоритм k-изгиба [9].

На первом шаге алгоритма вычисляется минимально выпуклая оболочка (МВО) контура руки. Задача поиска МВО решается с помощью алгоритма Грэхема [10]. Алгоритм решает дан-

ную задачу с помощью стека, сформированного из точек кандидатов. Все точки входного множества заносятся в стек, а затем точки, которые не являются вершинами, постепенно удаляются из него. По завершении работы алгоритма в стеке остаются только вершины. В результате определяется кисть человека и ее характеристики (ключевые точки, углы между векторами). На основе этих данных можно распознавать движения и жесты.

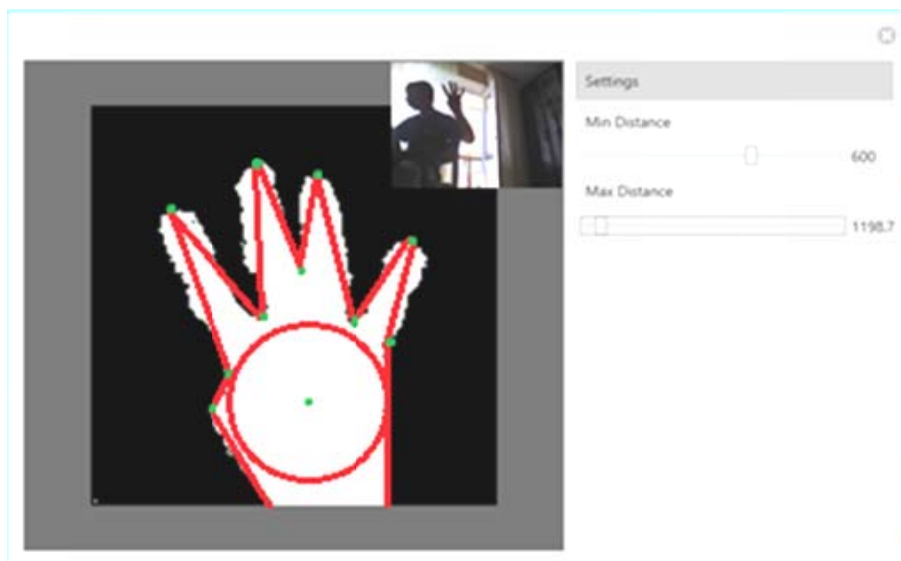


Рис. 3. Распознавание четырех пальцев

Заключение

Автоматизированный перевод русского жестового языка в текст играет важную роль в жизни людей с ограниченными возможностями. Создание подобных приложений имеет важное социальное значение и должно помочь адаптации таких людей. Кроме того, разрабатываемые подходы имеют и практическое значение, поскольку жестовые интерфейсы получают все большее распространение и развитие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, А. В. Automatic coloring of grayscale images based on intelligent scene analysis / А. В. Алексеев, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications). – 2015. – Vol. 25, No. 1. – С. 10–21.
2. 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.
3. Куракин, А. В. Распознавание динамических жестов в системе компьютерного зрения на основе медиального представления формы изображений / А. В. Куракин // Мо-

сковский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – 2012.

4. 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.

5. Розалиев, В. Л. Применение нейронных сетей и градуляции при построении автоматизированной системы определения эмоциональных реакций человека / В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, О. С. Федоров // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 9. № 11(71). С. 63–68.

6. Розалиев, В. Л. Recognizing and Analyzing Emotional expressions in Movements / В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова // E-Learning Systems, Environments and Approaches. Theory and Implementation / ed. by P. Isaias [et al.]. – [б/м] : Springer, 2015. – Part II, § 9. – P. 117–131.

7. Соболев, Е. Г. Средство интерактивного взаимодействия реального и виртуального пространств на основе трехмерного сканирования объектов с использованием платформы Microsoft Kinect / Е. Г. Соболев. – М., 2012.

8. Detailed Analysis of Postures and Gestures for the Identification of Human Emotional Reactions / В. Л. Розалиев, А. С. Бобков, Ю. А. Орлова, А. В. Заболеева-Зотова, А. С. Дмитриев // World Applied Sciences Journal (WASJ). – 2013. – Vol. 24, Spec. Issue 24 : Information Technologies in Modern Industry, Education & Society. – С. 151–158.

9. Graham, R. L. An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set / R. L. Graham. – Information Processing Letters, 1972. – С. 175–180.

10. Kawatsu, C. Development of a Fall Detection System with Microsoft Kinect / Christopher Kawatsu, Jiaying Li, C. J. Chung // Robot Intelligence Technology and Applications 2012, 2013.

УДК 004.85:504.05

А. А. Платонов¹, Р. Е. Потапов²

**ОБНАРУЖЕНИЕ ДУБЛИКАТОВ СТАТЕЙ
В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО СБОРА ИНФОРМАЦИИ
ИЗ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ**

¹Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

²ООО «Фока»

potapov90@yandex.ru, aplat@mail.ru

Представлен механизм обнаружения дубликатов статей при автоматизированном сборе информации из открытых новостных ресурсов об экологической обстановке. Используется метод шинглов для получения меры подобия для каждой пары документов, контрольные суммы для каждого шингла из исходного документа вставляются в хэш-таблицу, по которой производится поиск и сравнение. Учитывая исходный документ и другие образцы, этот метод находит документы, которые имеют заданное сходство с оригинальным документом.

Ключевые слова: схожесть документов, поиск дубликатов.

A. A. Platonov¹, R. E. Potapov²

**ARTICLES DUPLICATE DETECTION IN THE SYSTEM OF AUTOMATIC
INFORMATION SEARCH FROM PUBLIC SOURCES ON ECOLOGICAL ENVIRONMENT**

¹Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

²JSC «Foka»

This article shows the mechanism for evaluating the syntactic similarity between documents. The method uses shingles concept to obtain the similarity measure for every document pairs, and each shingle from the original document is inserted in a hash table, where shingles of each candidate document are searched. Given an original document and some candidates, this method find documents that have required similarity relationship with the original document.

Keywords: documents similarity, duplicate search.

В системах сбора информации из открытых интернет-источников существует необходимость в группировке статей по тематике, а также выявлении новостных дубликатов, опубликованных на различных ресурсах. В данной статье рассмотрим задачу поиска нечетких дубликатов – определения, являются ли два объекта частично одинаковыми или нет. Под объектом в данном случае будем понимать текстовые данные, полученные при сборе информации из сети Интернет. В рассмотрение не попадает определение абсолютных значений схожести образцов, или выделения в каждом из них схожих частей, ос-

новной задачей стоит выявление, являются ли новости дублирующими или нет.

Существуют различные алгоритмы поиска дубликатов среди документов. В данной статье для определения, являются ли тексты дублирующими, будем использовать метод шинглов.

Реализация алгоритма обнаружения дублей включает ряд этапов обработки: канонизация текстов, разбиение текста на шинглы, нахождение контрольных сумм шинглов, поиск одинаковых подпоследовательностей путем сравнения контрольных сумм. Структура системы для поиска дубликатов (рис. 1) состоит из несколь-

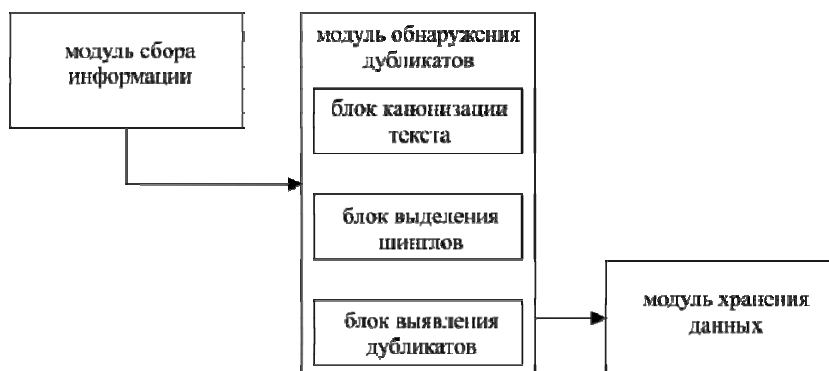


Рис. 1. Структура системы обнаружения дубликатов

ких блоков, преобразующих информацию, полученную из внешних источников, для последующей обработки, выявления и группировки дублирующихся статей.

Для рассмотрения работы алгоритма воспользуемся несколькими публикациями, полу-

ченными с ресурса Яндекс.Новости (<http://news.yandex.ru/yandsearch?cl4url=www.volgogradru.com%2Fnews%2Fekology%2F2015%2F574114.news&lr=38&text=Волго-Ахтубинская+пойма>). В табл. 1 представлена информация о рассматриваемых статьях.

Таблица 1

Информация о статьях

Дата публикации	Источник	Название статьи	Адрес
16:41 11.03	Ахтуба34.ру	В Волго-Ахтубинской пойме студенты спасали рыбу от массовой гибели	http://ahtuba34.ru/news/society/news_of_company/v_volgo_aktubinskoy_poyme_studenty_spsali_rybu_ot_massovoy_gibeli/
10:39 11.03	Volgogradru	В Волго-Ахтубинской пойме спасают рыбу	http://www.volgogradru.com/news/ekology/2015/574114.news
10:23 11.03	Блокнот Волжский	Экологи предотвратили возможный замор рыбы в озере Волго-Ахтубинской поймы	http://bloknot-volzhsky.ru/news/ekologi-predotvratili-vozmozhnyy-zamor-ryby-v-ozer-585462
09:09 11.03	V1.ru	Под Волгоградом экологи боролись с возможным замором рыбы	http://v1.ru/text/newsline/900447.html?full=3

На первом этапе обработки происходит канонизация текста – она включает приведение оригинального текста к единой нормальной форме (рис. 2). Текст очищается от служебных частей речи, которые не должны участвовать в сравнении (предлоги, союзы, частицы, междометия).

Также на этапе канонизации текста предполагается приведение существительных к именительному падежу, единственному числу, поскольку при стемминге текста (оставлять от них только корни) возможны ложные срабатывания в силу специфики морфологии русского языка.

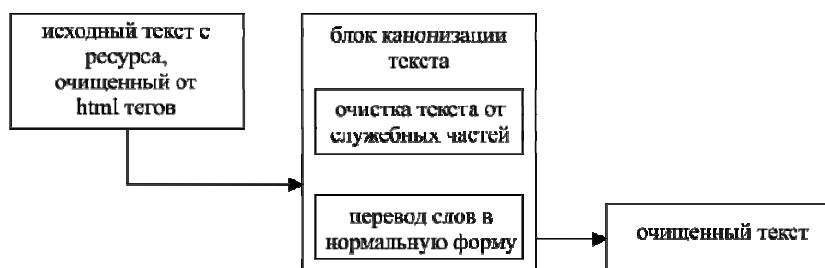


Рис. 2. Схема подготовки документа к обработке

Для решения многих лингвистических задач используются специальным образом подобранные и структурированные коллекции текстов (текстовые корпуса) [1]. Наиболее информативными являются размеченные корпуса, то есть такие, в которых частям текста приписана лингвистическая информация [2, 3]. Для канонизации текста будем использовать морфологический словарь русского языка, в котором каждое слово отнесено к той или иной части речи (доступен по адресу <http://opencorpora.org/?page=downloads>). Данный словарь представлен в виде xml-файла. Все содержимое включено в корневой тег <dictionary>, атрибуты которого указывают на версию формата (сейчас 0.81)

и номер ревизии словаря на момент экспорта. Внутри выделяются четыре секции, описывающие граммы, леммы, типы связей между ними и сами связи. В данном случае мы не будем пользоваться этим xml-файлом напрямую, поскольку известно, что синтаксический анализ xml, как правило, имеет недостатки в производительности относительно обработки в базе данных [4].

Для конвертации xml-схемы в классовые представления воспользуемся файлом xsd (<http://opencorpora.org/export/dict/dict.opcorpora.xsd>), описывающем структуру xml-словаря. Далее полученные классы помечаются при помощи аннотаций из пространства имен javax.xml.

bind.annotation.*, например, @XmlElement для корневого класса Dictionary, для метода setGrammemes – @XmlElement, поскольку грамемы представлены в виде элементов дерева, и @XmlAttribute для метода setRevision, поскольку номер ревизии словаря представлен в виде атрибута. После этого для инициализации объектов данными, полученными из файла словаря, воспользуемся частью Java SE платформы JAXB (Java Architecture for xml Binding). JAXB [5] позволяет хранить (марshallировать Java-объекты в xml) и извлекать данные (демарshallизация из xml обратно в Java-объекты) в памяти в любом xml-формате, без необходимости выполнения определенного набора процедур загрузки и сохранения xml.

Полученный словарь позволяет приводить слова, полученные из текста, в нормальную фор-

му. Например, для заголовка статьи «В Волго-Ахтубинской пойме студенты спасали рыбу от массовой гибели» получим следующий набор нормализованных слов: волго, ахтубинский, пойма, студент, спасаю, рыба, массовый, гибель.

После этапа канонизации из сравниваемых текстов выделяются подпоследовательности слов, идущих друг за другом (шинглы). Длина шингла может варьироваться от 3 до 10 слов. Выборка происходит внахлест; таким образом, разбивая текст на подпоследовательности, получаем набор шинглов в количестве, равном количеству слов в тексте минус длина шингла плюс один.

В табл. 2 представлены данные о количестве слов, участвующих в обработке после нормализации текста, а также количестве шинглов в зависимости от длины шингла.

Таблица 2

Информация о разбиении на шинглы

Источник	Количество слов в обработке	Количество шинглов (по 2 слова)	Количество шинглов (по 3 слова)	Количество шинглов (по 4 слова)	Количество шинглов (по 5 слов)	Количество шинглов (по 6 слов)	Количество шинглов (по 7 слов)	Количество шинглов (по 8 слов)	Количество шинглов (по 9 слов)	Количество шинглов (по 10 слов)
Ахтуба34.py	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126
Volgogradru	143	142	141	140	139	138	137	136	135	134
Блокнот Волжский	103	102	101	100	99	98	97	96	95	94
V1.ru	194	193	192	191	190	189	188	187	186	185

Принцип алгоритма шинглов заключается в сравнении контрольных сумм подпоследовательностей между собой среди имеющихся документов. Производительность алгоритма зависит от количества сравнений, поэтому время на обработку можно регулировать увеличением, либо уменьшением количества шинглов для сравнения за счет изменения выборки контрольных сумм шинглов, а также за счет изменения длины шингла.

В табл. 3 представлены результаты работы метода для случая, когда поступает статья с сайта Ахтуба34.py и сравнивается со статьями из других источников (Volgogradru, Блокнот Волжский и V1.ru). Контрольные суммы вычисляются по алгоритму sha1, схожесть образцов рассчитывается как отношение количества совпадений к общему количеству шинглов, умноженному на 100; данные приведены для разного количества слов в последовательностях.

Таблица 3

Результат работы алгоритма при разной длине шингла

Источник Длина шингла	Volgogradru	Блокнот Волжский	V1.ru
2 слова	57,246	22,034	69,725
3 слова	46,715	12,821	65,231
4 слова	41,912	7,759	61,300
5 слов	39,259	5,217	57,944
6 слов	37,313	3,509	55,172
7 слов	35,338	1,770	52,366
8 слов	33,333	0,893	49,524
9 слов	32,061	0	46,645
10 слов	30,769	0	43,730

Уменьшение длины последовательности дает увеличение точности определения дубликатов, но увеличивает затраты ресурсов на обра-

ботку каждого документа. Возможно увеличить производительность алгоритма при обработке больших объемов текста за счет создания механизма кеширования [6], то есть сохранения вычисленных контрольных сумм.

Предложенный метод позволяет проводить постобработку тематических текстов в целях исключения их дублирования для упрощения последующего извлечения знаний из них.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кипяткова, И. С. Автоматическая обработка и статистический анализ новостного текстового корпуса для модели языка системы распознавания русской речи / И. С. Кипяткова, А. А. Карпов // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 4.

2. Холоденко, А. Б. О построении статистических языковых моделей для систем распознавания русской речи / А. Б. Холоденко // Интеллектуальные системы. 2002. Т. 6. Вып. 1–4. С. 381–394.

3. Солошенко, А. Н., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л. Автоматизированный анализ новостного потока из сети интернет с учетом семантики текстов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25(152). С. 80–85.

4. Nicola M., John J. Xml parsing: a threat to database performance // Proceedings of the twelfth international conference on Information and knowledge management. – ACM, 2003. – P. 175–178.

5. Kawaguchi K., Vajjhala S., Fialli J. The Java Architecture for XML Binding (JAXB) 2.1 //Sun Microsystems, Inc. – 2006.

6. Pereira A. R., Ziviani N. Syntactic similarity of web documents //Web Congress, 2003. Proceedings. First Latin American. – IEEE, 2003. – P. 194–200.

УДК 004.912

Ю. А. Орлова

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ ПО НОВОСТНОМУ ТЕКСТУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАММАТИКИ СВЯЗЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

nastyasolan@gmail.com

Данная работа посвящена проблеме извлечения ключевых сущностей из текста статьи и представления ее содержания в сжатом виде в формате так называемой mind map, или интеллект-карты. Особое внимание уделено синтаксическому анализу текста новости на основе грамматики связей, описаны основные преимущества данного подхода. Представлена общая методика трансляции новостного текста в mind map формат, включающая предварительный анализ текста, построение дерева зависимостей и преобразование его в многоуровневый mind map, с возможностью замены сущности карты релевантной картинкой.

Ключевые слова: новостной текст, грамматика связей, ключевые сущности, контекстно-зависимый анализ, mind map.

Y. A. Orlova

AUTOMATED MIND MAP GENERATION FROM NEWS TEXTS BASED ON LINK GRAMMAR

Volgograd State Technical University

This paper is devoted to the problem of extracting key entities from the article's text and representation of its content in a compressed format – so-called mind map. Particular attention is paid to text parsing based on link grammar. The main advantages of this approach are described. The paper presents a general methodology and appropriate software of text to mind map conversion, which includes initial stages of text analysis, dependency tree drawing and transforming it into a multi-level mind map with the possibility of replacing map's entities by the relevant picture.

Keywords: news text, link grammar, key entities, context-sensitive analysis, semantics, mind map.

Введение

Графические методы представления информации на протяжении веков использовались в методиках обучения, мозгового штурма, запоминания, визуального мышления для решения различных проблем. Так, в конце 50-х годов 20 века были разработаны семантические

сети, а уже в 60-х годах Тони Бьюзен представил так называемую технику mind mapping (современный вид диаграмм связей) [2].

Любая интеллект-карта (mind map) имеет четыре характерных черты: основной объект изучения всегда размещается в центре карты; аспекты основного объекта, связанные с ним,

© Ю. А. Орлова, 2015

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 13-07-00351, 13-07-97042, 14-07-97017, 15-07-07519).

и смежные темы расходятся от центрального образа в виде ветвей; ветви-ассоциации поясняются ключевыми словами, фразами или графическими образами, от них отходят ветви второго порядка, от которых, в свою очередь, расходятся ветви ассоциаций третьего порядка; ветви ассоциаций формируют иерархическую структуру, которую математики называют графом.

Как показывает опыт, построение интеллект-карт – также мощный инструмент для аннотирования текста и его визуализации. Преобразование параграфа текста в интеллект-карту обеспечит более простой визуальный доступ к знаниям и идеям, заключенным в тексте. При этом генерация mind map по тексту основана на его семантическом анализе, выявлении отношений между словами и их роли в предложении [8].

1. Обзор систем семантического анализа в целом и text-to-mindmap редакторов

В настоящее время известно большое количество систем семантического анализа текстов и различных новостных агрегаторов. Среди отечественных – это TextAnalyst, Content Analyzer, технологии AOT, RCO, МедиаЛингва Аннотатор, система Яндекс Новостей; среди зарубежных – Extractor, QDA Miner (включающий пакеты WordStat и Simstat), системы Inxight Summarizer (компонент поискового механизма AltaVista), Intelligent Text Miner (IBM), MEAD, NetSum, Newblaster и прочие. Кроме того, в США уже существуют интеллектуальные машины (роботы), сами пишущие новости

на основе анализа данных с различных сайтов [3]. Для примера, проект QuakeBot, создающий заметки о землетрясениях; проект Mapping LA, публикующий сообщения по мотивам криминальной хроники.

Если же говорить о редакторах для построения интеллект-карт, то тут можно выделить такие программы, как iMindMap (была разработана в 2006 году под руководством Тони Бьюзена), FreeMind, XMind, SwartDraw, Mappio и некоторые другие. Функционал этих программ схож – они позволяют организовывать карты текста в древовидном представлении; при этом внешний вид элементов карты настраивается [9].

Однако одним из существенных недостатков text-to-mindmap редакторов является отсутствие подхода, предназначенного для автоматического преобразования текстовых документов в визуальное mind map представление. В связи с этим целью данной работы является разработка системы, принимающей на вход текст и генерирующей по нему визуальную интеллект-карту.

2. Методика генерации mind map по тексту новости

2.1. Синтаксический анализ на основе грамматики связей

Методика автоматизированного построения mind map по тексту новости представлена на рис. 1 [7]. В данной работе остановимся подробнее на этапах синтаксического анализа и непосредственно генерации mind map.

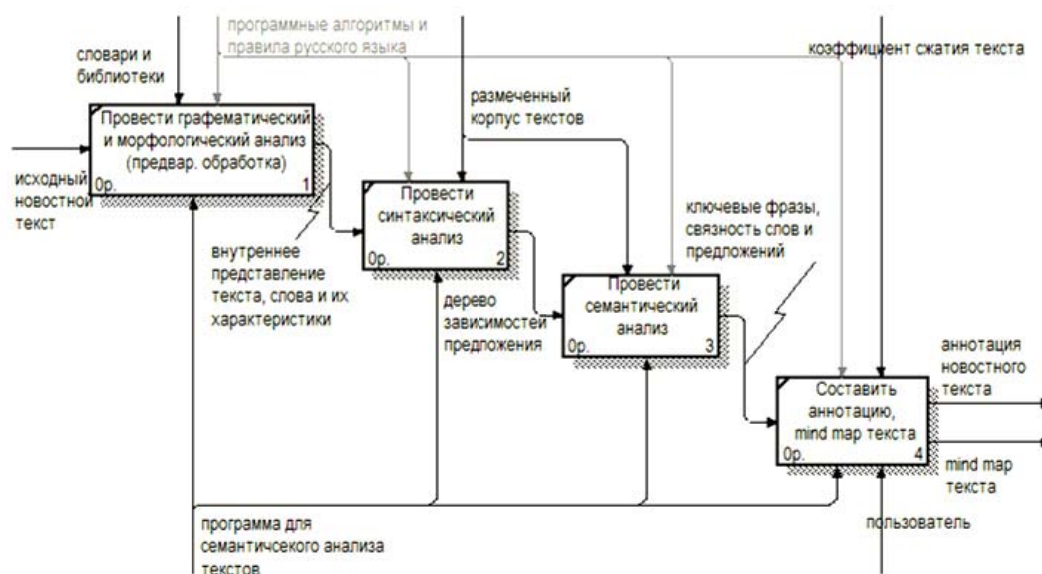


Рис. 1. Методика автоматизированного построения mind map по тексту новости

Нами были рассмотрены следующие синтаксические анализаторы: AOT, MatlParser, Link Grammar Parser, NLTK, Solarix. Из всех перечисленных наиболее оптимальным видится использование грамматики связей и модуля Link Grammar Parser (возможно интегрировать с собственным проектом), которые будут описаны далее в работе.

Большинство предложений в большинстве индоевропейских языков обладает особым свойством, а именно: если провести линии между словами, которые между собой связаны, то эти линии не пересекаются. Это свойство называется проективностью и лежит в основе лингвистического формализма грамматики связей. Грамматика связей состоит из слов (терминальных символов грамматики), которые имеют ограничения или требования по связям. Последовательность слов является предложением языка, только в том случае, если выполнены три условия:

- 1) проективность: связи между словами не пересекаются;
- 2) связность: отсутствуют изолированные слова или несвязанные группы слов;
- 3) требования: выполнены все условия на связи для каждого слова [5].

Алгоритм разбора грамматики связей представляет собой рекурсивный разбор предложения сверху вниз с кэшированием промежуточных результатов. На каждом этапе перебора подсчитывается число связей между левым словом L и правым словом R , которые (связки) должны удовлетворять коннекторам l и r , направленным соответственно вправо и влево. Алгоритм перебирает все дизъюнктивные слагаемые d у всех слов W , где $L < W < R$ (L , W , R – порядковые номера слов в предложении), и ищет те, которые могут соединяться с l и r . Далее есть три варианта развития событий:

- коннектор $left[d]$ связан с l , $right[d]=nil$ или свободен;
- коннектор $left[d]=nil$ или свободен, $right[d]$ связан с r ;
- $left[d]$ связан с l , $right[d]$ связан с r .

После того, как связи со словом W определены – задача решается рекурсивно для интервалов $L..W$ и $W..R$.

Далее будем обозначать слова в предложении $S = W_0, W_1, \dots, W_{N-1}$ с помощью индекса $0, 1, \dots, N-1$. Пусть $c(L, R, l, r)$ – число способов конструирования подсвязок между словом L и словом R с использованием коннекторов l и r .

Задача подсчета $c(L, R, l, r)$ сводится к расчету самой себя через рекурсию – путем перебора всех промежуточных слов W между L и R [4].

2.2. Выделение понятийных сущностей

После построения дерева текста следующим этапом является выделение из него ключевых сущностей. Для новостного текста нами были выделены следующие наиболее подходящие методы.

2.2.1. Графовые методы

Первый рассмотренный нами метод – TextRank – приложение алгоритма PageRank к задачам обработки естественного языка. Основная идея заключается в выполнении трех шагов:

- 1) построение графа на основе исходного текста на естественном языке;
- 2) приближенное вычисление значения PageRank для построенного графа;
- 3) применение полученных весов вершин для извлечения сведений из текста.

2.2.2. Разновидности метода Марковских случайных полей

Метод CRF (Conditional Random Fields) является разновидностью метода Марковских случайных полей (Markov random field). Данный метод нашел широкое применение в различных областях искусственного интеллекта, в частности, его успешно используют в задачах обработки текстовой информации.

Недостатком подхода CRF является вычислительная сложность анализа обучающей выборки, что затрудняет постоянное обновление модели при поступлении новых обучающих данных. Однако реализация алгоритма CRF имеет хорошую скорость, что очень важно при обработке больших объемов информации [11].

На сегодняшний день именно метод CRF является наиболее популярным и точным способом извлечения объектов из текста. Например, он был реализован в проекте Стэнфордского университета Stanford Named Entity Recognizer.

2.2.3. Контекстно-зависимый анализ текста новости

1. Контексты употребления слов

Для получения контекстов слов предложения разбиваются на фрагменты между знаками препинания. Выделяются следующие типы контекстов в рамках таких фрагментов:

- соседнее прилагательное или существительное вправо или влево от исходного слова (Near);
- во фрагментах, в которых есть глаголы, фиксируются прилагательные и существительные

ные, между которыми и исходным словом встречается глагол (AcrossVerb);

– прилагательные и существительные, встречающиеся во фрагментах предложений с данным словом, не разделенные глаголом и не являющиеся соседними к исходному слову (NotN) [1].

2. Сборка многословных выражений

Важной основой извлечения многословного выражения из текста документа является частотность его встречаемости в тексте. Кластер представляет собой структуру, в которой многие цепочки слов повторяются многократно. Поэтому основным критерием для выделения многословных выражений является значительное превышение встречаемости слов непосредственно рядом друг с другом по сравнению с раздельной встречаемостью во фрагментах предложений:

$$Near > 2 \cdot (AcrossVerb + NotN). \quad (1)$$

3. Характеристики для определения семантических связей

Для определения семантически связанных выражений и последующего построения тематических узлов используется набор из шести основных характеристик схожести.

Контекстно-зависимые характеристики:

- а) количество вхождений в соседние предложения (Neighboring Sentence Feature, NSF);
- б) строгие контексты (Strict Context, SC);
- с) схожесть контекстов употребления по внутренним характеристикам предложения (Scalar Product Similarity, SPS).

Контекстно-независимые характеристики:

- а) формальное сходство (Beginning Similarity, BS);
- б) информация о схожести, описанная во внешнем ресурсе (Thesaurus Similarity, TS);

с) наличие одинаковых языковых выражений (Embedded Objects Similarity, EOS).

2.3. Генерация интеллект-карты

После построения дерева зависимостей текста на основе методики Link Grammar и извлечения ключевых фраз из текста мы можем перейти к генерации визуального представления новости – построению mind map.

Mind map строим в соответствии с основными особенностями структуры новостного текста, основанной на принципе «перевернутой пирамиды». Заголовок новости отражает ее тему и содержит не более 10 слов (около 80 символов). Основные факты, касающиеся события, отражены в 1–2 абзацах, и составляют так называемый лид текста (освещает главную тему). Третий и последующие абзацы составляют бэкграунд новости (контекст). Как правило, здесь раскрываются детали происходящего, дается информация, напрямую касающаяся новости. Для содержимого новости справедлива формула: (Who? + What? + Where? + Why? + When? + How?). Это значит, что центральная сущность mind map – ключевая фраза, характеризующая заголовок новости, сущности второго порядка – ключевые фразы первого и второго абзаца, от которых далее в виде ветвей расходятся сущности и связи третьего порядка (из контекста новости). При построении связей между сущностями используется вышеописанный алгоритм Link Grammar.

3. Результаты, пример работы

На рисунке ниже представлен скриншот главного окна разработанной системы, осуществляющий автоматизированное построение

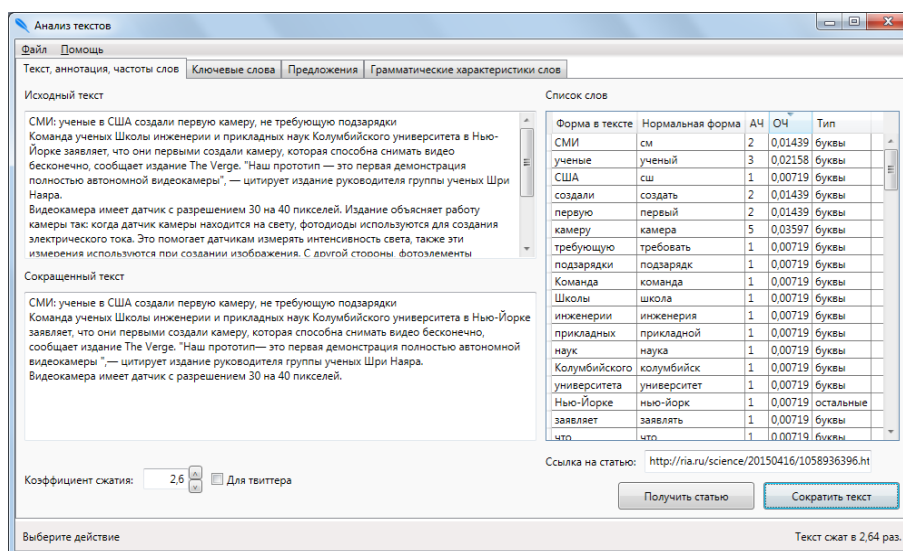


Рис. 2. Главное окно программы

интеллект-карты по тексту новости анализ новостного текста. Пример разбора представлен для статьи, взятой с новостного сайта статьи РИА Новости, тематика – «Ученые в США создали первую камеру, не требующую подзарядки» [6].

Вычисляются ключевые сущности (иначе, тематические узлы новости).

Далее на основе алгоритма Link Grammar [10] каждое предложение текста представляется в виде дерева связей слов.

После этого на основе алгоритма ранжирования ключевых фраз, для каждого абзаца выделяется его информационная основа, и представляется в виде графа (mind map).

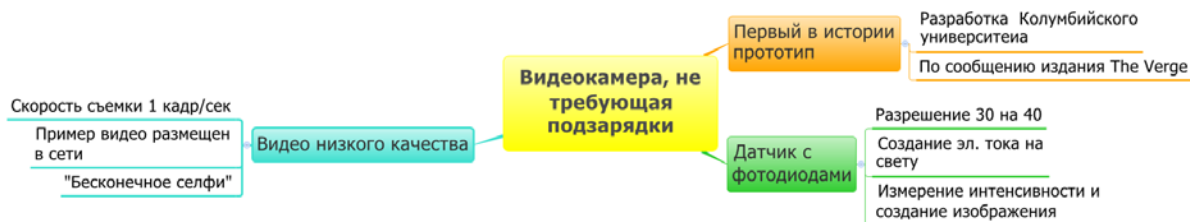


Рис. 3. Представление текста в виде mind map

4. Заключение

В работе была рассмотрена концепция mind map, предложенная в свое время Тони Бьюзен. Систематизировать с помощью интеллект-карт можно, как уже было сказано, практически все, в том числе и содержание новостных текстов.

Мы спроектировали и реализовали автоматизированный инструмент, который принимает текст новостной статьи на русском языке в качестве входных данных и генерирует его визуализацию в виде интеллект-карты на выходе. Ведутся работы по повышению производительности системы для обработки больших объемов новостной информации в разумные временные интервалы. Удалось найти и адаптировать эффективный алгоритм, обеспечивающий как возможность более свободного порядка слов в русском языке, так и приемлемую скорость разбора предложения. В основе алгоритма лежит лингвистический формализм, называемый грамматикой связей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, А. А. Тематическое представление новостного кластера как основа для автоматического аннотирования / А. А. Алексеев // Труды XV Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2013, Ярославль, 14–17 октября 2013 г. – С. 173–182.
2. 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.

3. Орлова, Ю. А. Анализ и оценка эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой / Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 83–85.

4. Протасов, С. В. Обучение с нуля грамматике связей русского языка / С. В. Протасов // X Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием, КИИ-2006. – 9 с.

5. Протасов, С. В. Преимущества грамматики связей для русского языка / С. В. Протасов // Труды международного семинара Диалог'2005. – М., 2005. – 11 с.

6. СМИ: ученые в США создали первую камеру, не требующую подзарядки | РИА Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ria.ru/science/20150416/1058936396.html>

7. Солошенко, А. Н. Автоматизированный анализ новостного потока из сети Интернет с учетом семантики текстов / А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25(152). С. 80–85.

8. 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).

9. Elhosein Mohamed. English2MindMap: an Automated System for MindMap Generation from English Text // 2012 IEEE International Symposium on Multimedia, 2012. – Pp. 326–331.

10. Link Grammar for Russian – Грамматика связей для русского языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://slashzone.ru/parser/>

11. Sheng-Tun Li. Constructing tree-based knowledge structures from text corpus / Sheng-Tun Li, Fu-Ching Tsai // Applied Intelligence, August 2010. – Volume 33, Issue 1. – Pp. 67–78.

УДК 004.451.83:004.623

*В. В. Трофимов, Д. В. Завьялов***СИНХРОНИЗАЦИЯ СПИСКОВ ДАННЫХ В КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ СИСТЕМАХ****Волгоградский государственный технический университет**

vitaly-volg@yandex.ru, sinegordon@gmail.com

В статье представлен обзор методов, использующихся для синхронизации списков данных на клиенте с оригинальным списком на сервере. На основе рассмотренных предложен новый метод, призванный снизить время отклика клиентской части системы при выполнении синхронизации. Представлены модели структур данных и интерфейс взаимодействия клиента и сервера.

Ключевые слова: клиент-серверная система, синхронизация, списки данных, время отклика.

*V. V. Trofimov, D. V. Zavyalov***SYNCHRONIZATION OF DATA LISTS IN CLIENT-SERVER SYSTEMS****Volgograd State Technical University**

Review on methods, used for synchronization of data list on client with original list on server, is presented in the article. On the basis of considered methods new method is presented to decrease response time of client part of the system in synchronization operations. Model of data structures and client-server interface are given.

Keywords: client-server system, synchronization, data lists, response time.

В клиент-серверных системах, в которых имеет место обработка и передача больших списков данных, неизбежно встает вопрос выбора способа хранения и обеспечения доступа клиента к данным на сервере. Клиент, как правило, ведет локальную копию списка данных, вследствие чего появляется необходимость выполнения процедур синхронизации.

Список данных на сервере постоянно меняется, из-за чего клиентское приложение утрачивает информацию о состоянии списка. В то же время для догрузки данных необходимо идентифицировать часть списка, которую требуется получить. Если из-за произошедших изменений сервер возвращает не те данные, что ожидалось, клиент вынужден, обнаружив несоответствие, выполнять дополнительные запросы до тех пор, пока не получит корректные данные. Это отрицательно сказывается как на времени отклика клиентского приложения, так и на его надежности.

Таким образом, на лицо проблема ведения локальной копии списка данных на клиенте оптимальным с точки зрения времени отклика, объема передаваемых данных и количества обращений к сети способом.

Списки данных

Рассмотрим подробнее системы, о которых идет речь. Примерами таких систем являются новостные ленты, почта и сообщения, ленты социальных сетей, статистика и логи, списки

контента (изображений, видео, аудио). Их объединяет наличие свойств, которые позволяют единообразно подходить к работе с подобными списками данных:

- большое количество записей (невозможно получить за один запрос);
- уникальность записей;
- записи расположены упорядоченно по времени создания;
- записи могут добавляться только в начало списка;
- записи могут удаляться из любой позиции.

Характер информации подразумевает хранение на клиенте локальной копии списка данных во избежание постоянных обращений к сети, а также для доступа к данным оффлайн. В силу большого количества данных локальная копия может быть только частичной.

Сценарий загрузки списка записей проиллюстрирован на рис. 1: изначально загружается фрагмент новейших записей с вершины списка, после чего по запросу пользователя загружаются

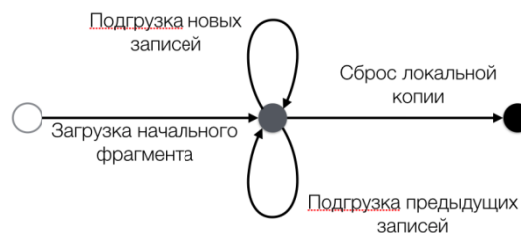


Рис. 1. Сценарий загрузки списка записей

либо предыдущие записи, либо новые записи, если таковые появились; так продолжается до тех пор, пока локальная копия не будет сброшена из-за устаревания.

В результате в списках записей клиента и сервера складывается следующее (рис. 2): клиентская копия содержит фрагмент оригинального списка, не включающий старые и самые новые записи; для их получения требуются операции подгрузки обновлений и предыдущих записей.

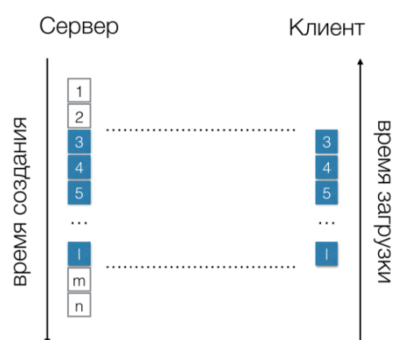


Рис. 2. Состояние списков клиента и сервера

Методы синхронизации

Среди систем приведенных выше разновидностей можно выделить три группы по используемым методам синхронизации, которые различаются способом взаимодействия клиента и сервера при выполнении операций синхронизации (в скобках приведены примеры систем, использующих данный метод и предоставляющие его поддержку в API)[1–4]:

- синхронизация по курсорам (Facebook, Одноклассники, Google+);
- синхронизация по временным меткам (Facebook);
- синхронизация по смещениям (Facebook, Яндекс.Диск, Яндекс.Маркет, Яндекс.Метрика, Мой Круг, ВКонтакте и др.).

Синхронизация по курсорам основана на использовании служебной структуры (курсора) для ориентирования в списке данных. По запросу сервер сохраняет выборку во временное хранилище и назначает курсор. Курсор представляет собой итератор, который может перемещаться по списку в обоих направлениях в абсолютную позицию либо на определенное смещение (иллюстрация на рис. 3). За хранение позиции курсора отвечает сервер, клиент же получает идентификатор курсора, по которому может получать записи из текущей позиции.

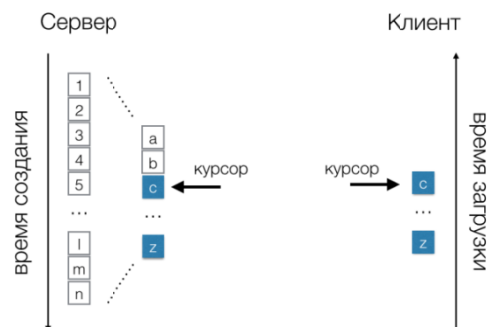


Рис. 3. Схема синхронизации по курсорам

Можно выделить следующие особенности метода:

- однозначно идентифицирует позицию в списке, позволяя клиенту получать корректные данные не взирая на изменения списка;
- требуются затраты ресурсов сервера на хранение выборки;
- курсоры могут оставаться доступными ограниченное время.

Гарантия корректности загруженных данных избавляет клиента от накладных расходов, но ограниченное время жизни курсора делает метод непригодным для систем с длительным хранением локальной копии, поскольку нет гарантии, что курсор будет доступен.

Синхронизация по временным меткам применяется в системах, где записи имеют метку времени создания. Клиент при запросе может указать временной диапазон, записи из которого ему требуются (иллюстрация на рис. 4). Метод удобен в реализации, поскольку не требует дополнительных затрат системных ресурсов. Однако при его использовании не всегда возможно разграничить фрагменты запрашиваемых данных. Близкие записи могут обладать одинаковыми временными метками, и в таком случае, если граница запрашиваемого фрагмента попадет в середину временного промежутка, клиент недополучит записи.

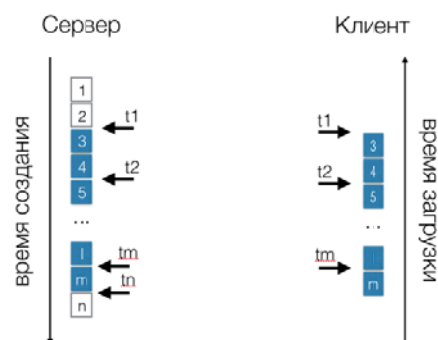


Рис. 4. Схема синхронизации по временным меткам

Самым распространенным методом является синхронизация по смещениям благодаря поддержке со стороны всех популярных СУБД при реализации серверной части, но на стороне клиента возникают сложности [5]. В данном методе для указания позиции загружаемого фрагмента клиент указывает абсолютное смещение относительно вершины списка и количество загружаемых записей (рис. 5). Очевидно, что разбивка списка по абсолютным смещениям не учитывает изменений, произошедших с момента последнего обращения. При загрузке обновлений количество новых записей заранее неизвестно, а при загрузке продолжения списка неизвестно текущее положение уже полученных записей на сервере; это приводит к накладным расходам на передачу и обработку. Данный метод, таким образом, прост и экономичен к расходам сервера, но накладывает избыточные расходы на клиента, снижая его стабильность [6] и увеличивая время отклика, что негативно сказывается на удобстве пользователя.

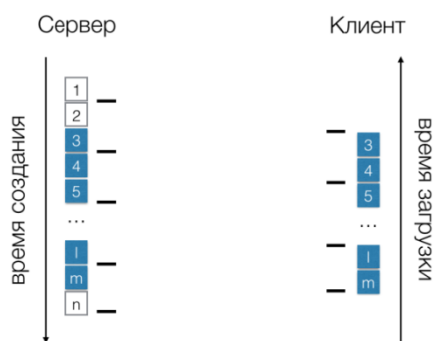


Рис. 5. Схема синхронизации по смещениям

Описание предлагаемого метода

Предлагаемый метод призван устранить недостатки имеющихся методов синхронизации и, таким образом, уменьшить время отклика клиентского приложения при выполнении операций синхронизации.

Основной проблемой имеющихся методов является то, что они не предоставляют клиенту возможности корректно идентифицировать требуемый фрагмент данных. Исключением является синхронизация по курсорам, но она непригодна для использования в течение длительного промежутка времени. Предлагаемый метод основан на использовании для ориентирования по списку маркеров – меток, идентифицирующих относительную позицию в списке записей. Маркеры перманентны, поддерживают операцию упорядочивания и позволяют клиен-

ту указывать позицию фрагмента данных относительно имеющихся у него.

Метод содержит следующие составляющие:

- структуры хранения списка на клиенте и сервере,
- алгоритмы работы операций со списком на клиенте и сервере,
- интерфейс взаимодействия клиента и сервера.

Структуры хранения данных представлены на рис. 6.



Рис. 6. Структуры хранения данных

На сервере записи хранятся в виде массива. Маркеры хранятся в виде свойств записей, и при удалении записи маркер становится виртуальным, т. е. обращение к нему по-прежнему возможно благодаря упорядоченности маркеров. Возможно хранение отдельного массива маркеров с указателями на соответствующие записи. На клиенте записи хранятся в виде упорядоченного словаря, который поддерживает доступ к элементам как по ключу, так и по индексу. В качестве ключей выступают маркеры записей.

Модели структур данных на клиенте и сервере поддерживают различные наборы операций.

На сервере:

- добавление группы записей; для каждой добавляемой записи: определяется следующее значение маркера, присваивается записи в качестве свойства, и запись заносится в конец массива; в случае отдельного хранения маркер добавляется в конец массива и ему назначается запись;
- удаление группы записей; для каждой удаляемой записи: запись удаляется из массива, при этом в случае маркеров-свойств маркер удаляется вместе с записью; в случае отдельного хранения маркер может быть как удален, так и переназначен на следующую запись;
- получение записей с вершины списка; в выдачу добавляются n записей с конца массива;

ва, при этом маркеры приписываются в выдачу к соответствующей записи;

- получение записей до маркера; в выдачу добавляются n записей, маркеры которых меньше указанного и ближе к нему, маркеры приписываются в выдачу к соответствующей записи;

- получение записей после маркера; в выдачу добавляются n записей, маркеры которых больше указанного и ближе к нему, при этом маркеры приписываются в выдачу к соответствующей записи.

На клиенте:

- добавление группы записей в конец списка; для каждой добавляемой записи: запись заносится в конец массива, и для нее создается ключ, равный ее маркеру;

- добавление группы записей в начало списка; для каждой добавляемой записи: запись заносится в начало массива, и для нее создается ключ, равный ее маркеру;

- получение группы записей по смещению; в выдачу добавляются n записей с указанного индекса, маркеры в выдачу не заносятся;

- получение записи по ключу; в выдачу заносится одна запись, обладающая маркером, равным указанному ключу;

- получение маркера для подгрузки старых записей; определяется запись в конце массива, и возвращается соответствующий маркер;

- получение маркера для подгрузки новых записей; определяется запись в начале массива, и возвращается соответствующий маркер.

Для выполнения операций синхронизации клиент выполняет запросы на сервер. Интерфейс сервера включает следующие запросы:

- получение новейших записей (количество); возвращает указанное количество записей с конца списка вместе с их маркерами;

- подгрузка более ранних записей (количество и маркер); возвращает указанное количество записей (вместе с маркерами), появившихся раньше, чем запись с указанным маркером;

- подгрузка более новых записей (количество и маркер); возвращает указанное количество записей (вместе с маркерами), появившихся позже, чем запись с указанным маркером.

Клиент, загрузив изначально порцию записей с вершины списка и получив их маркеры, далее может наращивать свою копию списка

в обе стороны, используя маркеры крайних записей.

Таким образом, мы рассмотрели существующие методы синхронизации списков данных. Метод синхронизации по курсорам несмотря на удобство в плане корректности загружаемых данных оказался непригодным в долгосрочном использовании, а также требующим дополнительных затрат ресурсов при каждом запросе. Метод синхронизации по временным меткам в отличие от него не требует никаких дополнительных затрат, однако использование его ограничено, так как временные метки не всегда позволяют корректно разграничить фрагменты списка. Метод синхронизации по смещениям также не является лучшим решением, поскольку не дает никакой гарантии в корректности загружаемых данных, но является простым в плане алгоритмов.

Предложенный нами метод представляет собой компромисс. Он требует относительно небольших дополнительных затрат на хранение маркеров и несколько усложненные алгоритмы обработки данных, но предоставляет клиенту возможность выполнять синхронизацию локальной копии в долгосрочном использовании без избыточных затрат на выполнение запросов и обработку загружаемых данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Using Graph API : Facebook API [Electronic resource] / Facebook – 2015. – Mode of access : <https://developers.facebook.com/docs/graph-api/using-graph-api/v2.3#paging>
2. Odnoklassniki REST API [Электронный ресурс] / Оdnoklassniki – 2015. – Режим доступа : <http://apiok.ru/wiki/display/api/Odnoklassniki+REST+API+ru>
3. API Google+ [Электронный ресурс] / Google Inc. – 2015. – Mode of access : <https://developers.google.com/+api/>
4. Работа с API : Вконтакте [Электронный ресурс] / Вконтакте – 2015. – Режим доступа : <http://vk.com/dev/apiusage>
5. Быков, Д. В. Использование CMIS-контроллера для интеграции хранилищ электронных данных / Д. В. Быков, И. С. Лепешкин, А. Д. Неретин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 13. № 4(91). С. 173–177.
6. Лукьянов, В. С. Имитационное моделирование каналов передачи данных в процессе изучения студентами вопросов по надежности информационных систем / В. С. Лукьянов, О. В. Степанченко, Е. С. Кузнецова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 9. № 11(71). С. 149–152.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.414.23

О. А. Астафурова, Н. А. Сальникова

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Российская академия народного хозяйства и государственной службы

Волгоградский филиал

olgast@vags.ru, ns3112@mail.ru

В данной статье описывается формирование требований к информационной системе на основе моделирования бизнес-процессов. Рассматриваются традиционно применяемые на концептуальном этапе методологии: SADT-диаграммы (IDEF0, IDEF3), диаграммы потоков данных DFD, ERD-диаграммы «сущность – связь». Даны рекомендации по использованию представленных методологий. Более подробно рассмотрена нотация IDEF0. Приведены положительные и отрицательные моменты ее применения. Приводится перечень наиболее известных программных продуктов.

Ключевые слова: функциональное моделирование, нотация, стандарт, информационная система, формирование требований, регламенты, информационные потоки, программное обеспечение, структурный анализ, концептуальное проектирование.

O. A. Astafurova, N. A. Salnikova

ESTABLISHING THE REQUIREMENTS FOR INFORMATION SYSTEMS BASED ON BUSINESS PROCESS MODELING

**Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,
Volgograd branch**

This article describes the formation of the system requirements based on business process modeling. Considered traditionally used at the conceptual stage methodology: SADT-diagram (IDEF0, IDEF3), data flow diagrams DFD, ERD-diagram «entity-relationship». Recommendations on use of the methodologies presented. Discussed in more detail notation IDEF0. Given the positive and negative aspects of its application. A list of the best-known software products.

Keywords: functional modeling, notation, standard, information system, formation of the requirements, regulations, information flows, software, structural analysis, conceptual design.

Формирование и анализ требований разрабатываемой системы является важнейшим этапом жизненного цикла программного продукта. Результаты, полученные на данной стадии разработки, оказывают сильное влияние на все последующие этапы. Понимание на первоначальных стадиях того, что будет представлять собой создаваемая система, позволяет обнаружить просчеты и недоработки, что, в свою очередь, позволит снизить стоимость разработки, уменьшить суммарное время, трудозатраты, получить ответы на вопросы, как добиться улучшения качества за счет выявления «узких мест», таких как нехватка или простой ресурсов, дублирование функций, чрезмерные времена ожидания, а также облегчить работы на последующих этапах жизненного цикла.

Формировать требования также необходимо и при желании внедрить готовые решения, особенно если автоматизация будет протекать с использованием систем класса ERP (управления ресурсами), CRM (взаимоотношения с клиентами), MRP (планирования производства).

Внедрение таких систем неизбежно приводит к изменению устоявшихся процессов. Любая автоматизация – это работа с информацией, поэтому разработчикам необходимо знать, кто генерирует информацию, какая она, что именно надо передать, откуда и куда переместить. Перед тем как принимать решения по преобразованиям, желательно ясно увидеть и оценить существующую картину деятельности. Проще всего это сделать в формате организационно-функциональной модели.

После фиксации и закрепления функционала возможен переход к выявлению существующих взаимодействий процессов и их идентификацию «как есть». При анализе реально протекающих процессов можно видеть по каким уровням организационной иерархии они проходят, определять меру «плоскостности» процессов и т. п. Анализ рациональности процессов и стимулирует их реинжиниринг: перераспределение функций, переход к более плоским структурам (и т. п.), а также позволяет выбрать адекватные средства их автоматизации.

Существуют специальные нотации для внедрения автоматизации. В России описание бизнес-процессов регламентировано ГОСТами в этой области (ГОСТ 3.1109 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий»; ГОСТ 34.601–90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания»; ГОСТ ISO 9000–2011 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь»; ГОСТ ISO 9001–2011 «Системы менеджмента качества. Требования»; ГОСТ Р 50.1.028–2001 «Методология функционального моделирования IDEF0» и другие).

При формировании требований заказчику и разработчикам зачастую трудно понять друг друга. Разработчику сложно выделить в исчерпывающей информации, представленной заказчиком, главное для оценки требований к системе с точки зрения заказчика. Заказчик, в свою очередь, не может оценить, что выполнимо, так как не имеет достаточной информации о проблеме обработки данных. Кроме того, язык, на котором формулируются требования, должен быть достаточно прост и понятен заказчику.

Понимание между заказчиком и разработчиками можно существенно облегчить за счет применения функционального моделирования на базе структурного анализа. Под структурным анализом будем понимать последовательную детализацию системы на основе функций, выполняемых системой и обмена информационными и управляющими потоками, а также формирование описания системы в виде многоуровневой иерархической структуры. Результатом такого анализа и станут требования к информационной системе, так как в процессе анализа будут определены все функции и задачи системы. Сбор, анализ и редактирование требований к данным называют концептуальным

проектированием, в процессе которого проводят обследование предметной области и изучение ее информационной структуры. Разработка ведется сначала укрупнено, а затем детализировано с учетом пользовательских представлений, информационных объектов и связей между ними. Более подробно концептуальное проектирование описано в источниках [1, 2].

Для функционального анализа на концептуальном этапе используют простые, доступные для понимания, хорошо проработанные методологии. Традиционно применяются два типа моделей: SADT-диаграммы (Structured Analysis and Design Technique) и диаграммы потоков данных DFD (Data Flow Diagrams), методология применения которых приведена в источниках [3, 4]. Если в разрабатываемой системе предполагается программная часть, то обычно используют DFD, так как данный стандарт изначально создавался как средство проектирования программных систем и имеет специальные средства (так, например, хранилища данных являются прообразами файлов или баз данных).

Разработка DFD начинается с построения диаграммы верхнего уровня, отражающей связи программной системы, представленной в виде единого процесса, с внешней средой. Декомпозиция процесса проводится до уровня, на котором фигурируют элементарные процессы. Эти элементарные процессы могут быть представлены одностраничными описаниями алгоритмов (мини-спецификациями) на терминальном языке программирования.

Отдельно выделяют средства моделирующие данные и их отношения ERD (Entity-Relationship Diagrams) диаграммы «сущность – связь». Они получили широкое распространение в современных CASE-системах, поддерживающих автоматизированное проектирование ИС и обычно используются на этапе информационно-логического моделирования.

Популярными также остаются форматы описания бизнес-процессов IDEF – Integration Definition for Function Modeling (IDEF0, IDEF3). Эта техника описания бизнес-процессов получила наибольшее распространение в мире и принята как стандарт во многих странах. В основу построения диаграмм положен иерархический принцип, который позволяет подвергать описание процесса дальнейшей детализации, до тех пор, пока модель не будет описана настолько детально, как это необходимо для решения поставленных задач (возможность проводить де-

композицию). При этом сохраняется целостность взаимосвязей между элементами процесса, проводится контроль входов и выходов при переходе к разным уровням декомпозиции.

Процесс формирования функциональных требований к информационной системе в рамках стандарта IDEF можно описать следующим образом:

первый этап – сбор первичной информации, анализ первичных бизнес-требований и планирование работ. На этом же этапе формируются диаграммы высокого уровня (обычно А0 и первого уровня). Основное внимание уделяется функциям (действиям) по обработке информации, которые связываются отношениями, соответствующими процессам обмена данными. Кроме того, формируются перечень входящей информации; информации, которая должна быть на выходе; список регламентирующих документов, укрупненно определяется кто и с помощью каких «механизмов» будет выполнять определенную функцию. В результате участники проекта должны получить представление о реальном объеме проекта, его целях и задачах, а также должны быть выявлены предварительные требования, предъявляемых к будущей системе;

второй этап – этап анализа предполагает подробное исследование функций, определенных на предыдущем этапе и информации, необходимой для их выполнения. С помощью последовательной декомпозиции строятся следующие уровни. При больших проектах на данном этапе можно разделить усилия разработчиков на несколько направлений. Обычно один аналитик исследует 2–3 направления. Особое внимание уделяют полноте информации, анализу сведений на предмет отсутствия противоречий, а также поиску неиспользуемой или дублирующейся информации. Результатом станет модель AS-IS (как есть), описывающая состояние объекта на момент обследования.

В процессе формирования функциональной модели у руководства и сотрудников предприятия или у экспертов и системных аналитиков могут возникать перспективные предложения по усовершенствованию деятельности, тогда строятся модели TO-BE «как должно быть»;

третий этап – разработка функциональных требований к информационной системе. Как правило, заказчик не сразу формирует требования к системе в целом. Это и понятно – ведь часто над разными компонентами проекта ра-

ботают разные люди, поэтому необходимо следить за согласованностью этих компонентов.

Примером разработки в данном стандарте может служить подход к построению информационно-аналитической системы исполнения местных бюджетов, ориентированной на поддержку принятия управленческих решений, описанной в источниках [5, 6, 7]. На первом этапе построения динамической модели системы исполнения местных бюджетов было получено описание бизнес-процессов формирования доходов и расходов, определение показателей каждого процесса, подлежащих контролю, а также определение рычагов управления бюджетным процессом. Разработка данного описания осуществлялась в виде функциональной модели с использованием популярного программного продукта AllFusion Process Modeler (BPWin). В качестве примера одна из диаграмм проекта приведена на рис. 1.

На основе представленного перечня выполняемых в модели процессов стало возможным более точное определение структуры входных и выходных данных, определено какие из факторов и показателей являются полностью или частично регулируемыми, а какие формируются в процессе обработки данных.

Моделирование в стандарте IDEF0 имеет много преимуществ. Прежде всего – это возможность описать бизнес-процесс полностью, то есть учесть информационные, управленческие, материальные потоки, а также обратные связи. Возможность проанализировать обратные связи очень важна, так как отсутствие обратных связей по управлению говорит о том, что на выполнение работы не оказывает влияние ее результат, а отсутствие обратных связей по входу говорит о том, что объекты или информация используется нерационально. Кроме того, данная методология обладает жесткими требованиями к формату представления моделей (количество объектов на одной диаграмме ограничено, диаграммы создаются на бланке, наличие обязательно заполняемых полей и так далее), что является как положительным моментом, так и отрицательным для использования стандарта. С одной стороны, это позволяет разработчикам четко формировать требования к системе в соответствии со стандартом ISO 9000:2000, с другой – ограничивает функциональность средства. В качестве недостатка можно назвать и отсутствие наглядных средств, отображающих действия ис-

полнителей конкретных функций бизнес-процессов. Например, нельзя представить в ви-

де схемы действия, выполняемые одним сотрудником.

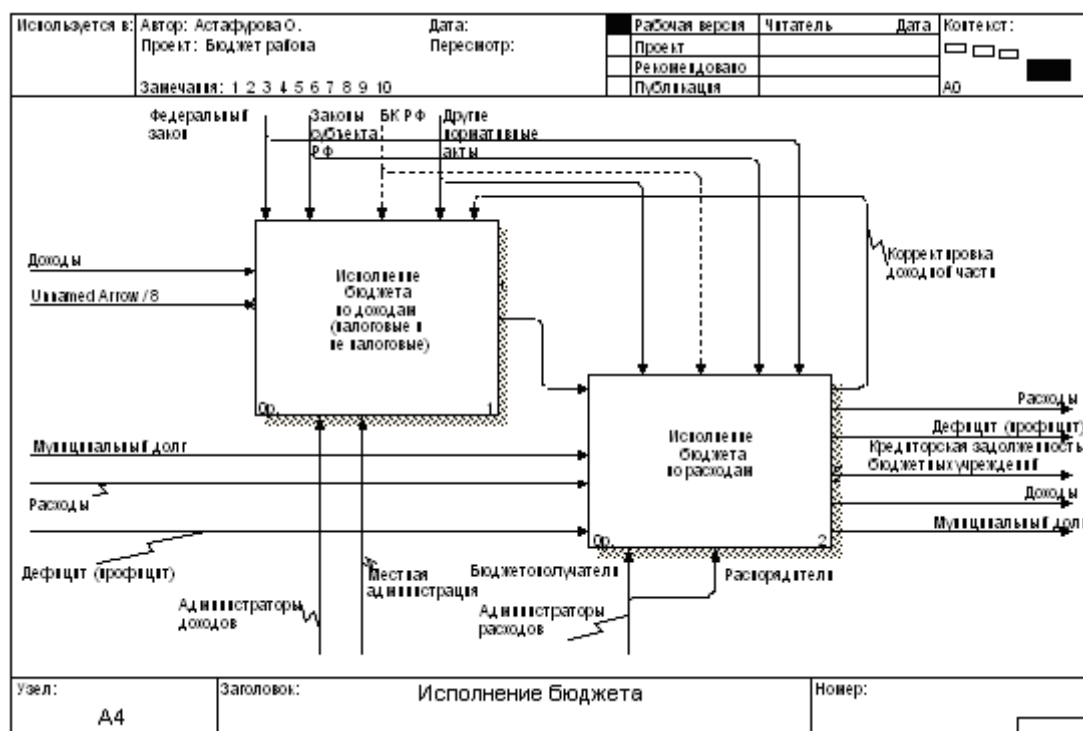


Рис. 1. Пример диаграммы в стандарте IDEF0

Говоря о программных продуктах, обеспечивающих работу в приведенных выше стандартах, можно выделить некоторые российские и зарубежные разработки. Наиболее известные программы российского производства:

ОРГ-Мастер Про (Бизнес Инжиниринг Групп);

Бизнес – инженер (БИТЕК);

ИНТАЛЕВ.

Среди зарубежных программных продуктов наиболее популярны:

CA ERWin Process Modeler, ранее BPWin (CA);

ARIS Business Performance Edition (IDS Scheer AG);

Hyperion Performance Scorecard (Oracle);

IBM WebSphere Business Modeler (IBM);

SAP Strategic Enterprise Management (SAP).

Каждый из представленных подходов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому при выборе средств моделирования руководствуются следующими факторами:

в компании уже выбрана нотация и средство моделирования, то есть существует корпоративный стандарт. Естественно предположить, что компания будет применять данный стандарт как во внутренних проектах, так и в проектах с привлечением консультантов;

желательно, чтобы средство не только поддерживать нужную нотацию, но и было интегрировано с внедряемой или разрабатываемой системой. Например, нотация eEPC и инструмент ARIS Toolset используются в случае внедрения SAP/R3;

необходимо также учесть предпочтения разработчика. Специалист даже изучив множество средств, выбирает то, в котором ему работать комфортнее и применяет его наиболее эффективно;

если информационная система должна стать частью проекта по реинжинирингу деятельности компании, тогда вместе с требованиями к информационной системе проектируется новая организационная структура и формируются новые должностные обязанности.

Отметим также, что при формировании требований к системе можно использовать разные нотации. На первоначальных этапах, чтобы правильно выбрать количество уровней декомпозиции, можно начать с описания информационных потоков в IDEF или DFD. Далее для определения связей между процессами применить методологию ARIS, а исполнение процессов в той нотации, которая более понятна исполнителям (собственным специалистам или же привлеченным консультантам).

Необходимо заметить, что функциональные требования к информационной системе, описываемые с помощью моделей процессов и структур данных, являются только частью общих требований, которые содержатся в техническом задании. Описание нефункциональных требований к системе в рамках стандарта IDEF не предусмотрено. В технологии ARIS четкий алгоритм выявления нефункциональных требований также отсутствует.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Камаев, В. А. Поисковое конструирование. Книжная серия : Итоги науки и техники : монография / В. А. Камаев, С. В. Никитин, Ф. Я. Залевская // ВИНТИ : Сер. Техн. кибернетика. – М., 1986. – 304 с.
2. Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов : монография [коллективная] / В. А. Камаев, Л. Н. Бутенко, А. М. Дворянкин, С. А. Фо-

менков, 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. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 360 с.

3. Калянов, Г. Н. CASE-технологии. Консалтинг в автоматизации бизнес-процессов : учеб. пособие / Г. Н. Калянов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2000. – 320 с.

4. Вендров, А. М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А. М. Вендров. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 176 с.

5. Астафурова, О. А. Моделирование системы исполнения местных бюджетов Волгоградской области / О. А. Астафурова, Н. В. Лопухов // Альманах современной науки и образования. 2010. № 5. С. 147–151.

6. Астафурова, О. А., Сальникова, Н. А. Моделирование системы управления муниципальными финансами // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12(139). С. 80–83.

7. Модель системы исполнения местных бюджетов : а. с. / Н. В. Лопухов, А. Н. Табаков, О. А. Астафурова, С. Б. Левинсон, В. М. Запругайло. – № 2010611102; заяв. 08.12.09; опубл. 05.02.10. Бюл. № 2 (71) Ч.1. – 2 с.

УДК 004.2:378.145

Ю. М. Брумштейн

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ НАБОРА ДИСЦИПЛИН ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ ВУЗА НА ОСНОВЕ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА К ОБУЧЕНИЮ*

Астраханский государственный университет

brum2003@mail.ru

Рассмотрены существующие подходы к выбору набора дисциплин, включаемых выпускающими кафедрами вузов в учебные планы направлений подготовки (НП) бакалавров и магистров. Показаны технологии такого выбора с учетом необходимости обеспечения всех компетенций выпускников, предусмотренным госстандартами высшего профессионального образования (ВПО) и/или требований работодателей. Предложены математические модели для оптимизации выбора, учитывающие следующие факторы: возможность «связанного» планирования по двум и более НП; ограничения по общему количеству учебных часов (зачетных единиц) за период обучения конкретных НП; различия «вкладов» учебных дисциплин в отдельные компетенции выпускников; наличие обязательных для изучения дисциплин по госстандартам ВПО; дискретный характер изменения количества часов, планируемых по отдельным дисциплинам; доступные ресурсы времени привлекаемых к проведению занятий преподавателей; влияние их квалификации по отдельным дисциплинам и величин нагрузок на уровни компетентности выпускников.

Ключевые слова: интеллектуальные ресурсы, вуз, выпускающие кафедры, учебные планы, направления подготовки, компетентностный подход, принятие решений, математические модели, критерии оптимальности, методы оптимизации.

Ju. M. Brumshteyn

MATHEMATICAL MODELS FOR UNIVERSITIES MAIN CHAIRS, INTENDED FOR DISCIPLINES SETS OPTIMAL PLANNING FOR TRAINING DIRECTIONS, BASED ON THE COMPETENCE-ORIENTED APPROACH TO EDUCATION

Astrakhan State University

In article are considered existing approaches of universities main chairs to a choice of discipline sets for directions of preparation (DP) curricula of bachelors and masters. Author show technologies of choice, taking into account need of ensuring all competences of graduates, provided by state standards of high professional education (HPE) and/or employers requirements. In article are offered mathematical models for choice optimization considering such factors: possibility of «connected» planning for two and more DP; restrictions on total class periods (test units) for concrete DP training period; distinctions of subject matters «deposits» in separate competences of graduates; existence in state standards of HPE disciplines, which are obligatory for studying; discrete nature for changing of hours numbers, planned for separate disciplines; available time resources of teachers, involved in carrying out of classes; influence of teachers qualification by separate disciplines and their loads at levels of graduates competence.

Keywords: the intellectual resources, universities, main chairs, curricula, the directions of preparation, competence-based approach, decision-making, mathematical models, criteria of optimality, optimization methods.

© Брумштейн Ю. М., 2015

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 14-06-00279 «Разработка методов исследования и моделирования объемов/структуры интеллектуальных ресурсов в регионах России»

Наращивание интеллектуального потенциала вузов [8], регионов [5] и страны в целом во многом определяется эффективностью деятельности образовательных учреждений, качеством планирования и реализации ими учебных планов (УП), в том числе на основе компетентного подхода (КП). Однако математические модели (ММ), формализующие процессы разработки таких УП, в существующих публикациях не рассматриваются. Поэтому целью данной статьи является разработка ММ, комплексно учитывающих совокупность факторов, важных для планирования УП.

Общая характеристика проблематики статьи

Существующие русскоязычные публикации в отношении использования КП в обучении можно разделить на несколько направлений: общего характера [3, 4, 17, 18, 19]; касающихся отдельных направлений подготовки (НП) и/или специальностей обучения [6,15]; анализирующих влияние компетентности на конкурентоспособность выпускников на рынке труда [2]; относящихся к зарубежной практике использования КП [10]; связанных с экспертизой образовательных программ [1]; относящихся к «управлению компетенциями» [23]. Публикаций, посвященных формированию требований к УП [14], непосредственно их разработке [11, 22], обеспечению «информационной доступности» УП [21] относительно немного.

Разработка УП по направлениям подготовки в вузах осуществляется выпускающими кафедрами (ВК). При этом одна ВК может реализовывать сразу несколько НП бакалавриата и/или магистратуры, привлекать для проведения занятий «собственных» штатных преподавателей, внутри- и вневузовских совместителей.

При разработке УП определяется следующее: номенклатура дисциплин; количество учебных часов (зачетных единиц) по ним; распределение дисциплин по семестрам (для выравнивания учебной нагрузки между семестрами, обеспечения необходимой последовательности изучения логически взаимосвязанных курсов). Последнее направление работ при планировании в данной статье не рассматривается, так как оно значительно усложняет ММ – из-за необходимости учета матриц «нечетких информационных взаимосвязей» учебных курсов. Разработка УП по НП обычно осуществляется заблаговременно (на несколько лет вперед)

и их корректировка в процессе обучения возможна лишь в весьма ограниченных пределах.

Результаты разработки УП являются основой для планирования нагрузки преподавателям; составления расписаний учебных занятий [9, 20] – с учетом ресурсных ограничений в отношении аудиторий, нагрузок преподавателей, необходимости перемещений студентов и пр. Такое планирование осуществляется обычно ежегодно – до начала учебного года.

Важным, но сложно реализуемым направлением является индивидуализация траекторий обучения [12, 13] студентов.

Существующие подходы к планированию в вузах учебных дисциплин по направлениям подготовки и обоснование целесообразности предлагаемых моделей

При планировании набора дисциплин ВК руководствуются следующими соображениями: в УП должны быть включены все обязательные дисциплины, предусмотренные государственными стандартами (ГС) высшего профессионального образования (ВПО) для соответствующих НП; суммарное количество учебных часов (зачетных единиц) по каждому НП должно находиться в заданных пределах; дисциплины, включаемые в УП по усмотрению кафедры (в том числе и предназначенные для выбора обучающимися на «альтернативной основе») не должны дублировать обязательные предметы, отраженные в ГС ВПО; все предусмотренные ГС ВПО компетенции выпускников должны быть «задействованы» по крайней мере в одной из дисциплин, включаемых в УП. Для проверки удовлетворения последнего требования обычно составляется прямоугольная «матрица компетенций» (МК) для совокупности планируемых дисциплин и компетенций. Элементы МК обычно считаются имеющими бинарный характер («да» или «нет», т. е. «1» или «0»). При разработке УП такие оценки осуществляются самими преподавателями – с учетом существующего или предполагаемого наполнения рабочих программ (РП) по дисциплинам. В силу этого оценки «компетенций» могут носить достаточно субъективный характер. Для каждого сочетания «дисциплина – компетенция» выбор показателя «да» не только приводит к включению соответствующей компетенции в РП по дисциплине, но и требует отражения в РП учебного материала и методов обеспечения выбранной компетенции (компоненты компетентности)

у выпускников. Таким образом, МК при планировании набора дисциплин в УП фактически реализуется в «качественной форме».

Номенклатура компетенций, включенных в ГС ВПО, носит общий характер. С позиций абитуриентов, самих обучающихся и потенциальных работодателей состав знаний и практических умений, влияющий на «рыночную конкурентоспособность специалистов», обычно является более конкретным. При этом целесообразно каждую из компонент компетентности (КК) оцениваться не бинарно, а в количественной (или хотя бы в полуколичественной) форме. Понятно, что отдельные дисциплины вносят различные по весомости «вклады» в формирование конкретных КК. Поэтому в настоящей статье далее мы будем предполагать, что «компетентность» выпускников определяется набором отдельных КК, каждая из которых может оцениваться количественно.

В *последующем разделе* представлены ММ для оптимизации выбора набора дисциплин по каждой из НП за весь период обучения.

Модификации этой модели, учитывающие «привязку» к дисциплинам конкретных преподавателей и их квалификацию, оправданы с точки зрения организации повышения квалификации преподавателей, их специализации, подготовки и защиты диссертаций. Подчеркнем, что при распределении учебной нагрузки между преподавателями целесообразно учитывать их квалификацию в отношении различных дисциплин, а также общую «перегрузку» по отношению к нормативной, которая предусмотрена для соответствующей должности (эти факторы обычно влияют на качество обучения и компетентности выпускников).

Учет «привязки» преподавателей к дисциплинам при составлении УП приводит к «связности» задач оптимального выбора набора предметов по различным НП. Соответствующая комплексная ММ рассматривается в *последнем разделе* настоящей статьи.

Формирование учебного плана с учетом необходимости обеспечения необходимых компетенций выпускников

Компетентность выпускников по конкретному НП (предполагаемая, желаемая или фактическая) в общем случае может оцениваться следующими группами лиц: 1) выпускающими кафедрами, составляющими УП; 2) обучающимися (или абитуриентами), их родителями [16]; 3) потенциальными или реальными работода-

телями. В случае частичного несовпадения наборов КК для этих трех групп лиц может быть сформирован «расширенный набор» КК, включающий компоненты из всех трех наборов. Такие несовпадения могут определяться большей конкретностью требований со стороны работодателей, в том числе в отношении практических навыков.

Примем, что оценки желательных значений для КК для i -го НП представляют собой матрицу

$$\left[K_{\eta,j}^{(i)} \right]_{\eta=1...3; j=1...J}, \quad (1)$$

где количество групп лиц, дающих оценки КК, принято равным трем; J – общее количество КК, учитываемых для данного НП; $K_{\eta,j}$ – балльная оценка желательного значения j -й КК в виде «нецелого» числа – в том числе и большая «1». Для определенности за «1» можно принять оценки КК выпускников соответствующего НП, которые закончили обучение в прошлом году или заканчивают в текущем. С учетом различия «сил влияния» перечисленных выше групп лиц на принятие решений «взвешенное усреднение» их оценок будет иметь вид вектора

$$\{ K_j^{*(i)} \}_{j=1...J};$$

$$K_j^{*(i)} = (w_1 K_{1,j}^{(i)} + w_2 K_{2,j}^{(i)} + w_3 K_{3,j}^{(i)}) / (w_1 + w_2 + w_3) \quad (2)$$

где $w_1; w_2; w_3$ – весовые коэффициенты для перечисленных групп лиц, отражающие «силы их влияния».

На практике возможности наращивания компетенций по НП лимитируются ограниченностью суммарного количества часов (зачетных единиц), которые могут быть включены в УП по НП; ресурсными возможностями и квалификациями преподавателей; материально-технической базой вуза и пр. [7]. Оценим «интегральную желательную компетентность» по

$$K^{** (i)} = \sum_{j=1}^J (\lambda_j K_j^{*(i)}) / \sum_{j=1}^J \lambda_j, \quad (3)$$

где i – номер НП; $\{ \lambda_j \}_{j=1...J}$ – коэффициенты важности (значимости) для отдельных КК (они предполагаются взятыми на основе взвешенного усреднения величин оценок, для указанных выше трех групп лиц). При этом необходимо обязательное достижение «минимальных компетенций»:

$$\{ K_j^{*(i)} \geq K_j^{(\min),(i)} \} \quad (4)$$

(последние также могут быть оценены взвешенным усреднением).

Тогда задача максимизации K^{**i} (с учетом перечисленных выше ограничений) может решаться путем изменения номенклатуры дисциплин, включаемых в УП, а также количества часов, выделяемых на их изучение.

Переходим к *подробному рассмотрению этой задачи выбора*. Примем, что максимально (потенциально) возможный набор дисциплин для всех НП, по которым составляются УП, равен «М». Для каждой из дисциплин при формировании УП количество учебных часов может быть задано с определенной «дискретностью». Это приводит к совокупности i матриц одинаковой структуры с размерностями «М×V».

$$[T_{m,v}^{(i)}]_{m=1...M; v=1...V}, \quad (5)$$

где V – максимально возможное количество вариантов планирования по количеству часов (для всех дисциплин); i – номер НП; $T_{m,v}^{(i)}$ равно «0» (вариант рассматривается) или «1» (вариант не рассматривается). Примем, что количество часов, соответствующее этим вариантам планирования для i -й специальности, определяется матрицей $[H_{m,v}^{(i)}]_{m=1...M; v=1...V}$. На практике

максимальное количество вариантов планирования для i -й специальности по m -й дисциплине (V_m) чаще всего будет меньше V .

Целесообразно использовать также матрицу $[G_{i,m}]_{i=1...I; m=1...M}$, которая описывает обязательность введения дисциплин в УП по специальностям соответственно ГС ВПО ($G_{i,m} = 1$, если дисциплина является обязательной; $G_{i,m} = 0$, если необязательной).

Создание УП для i -го НП должно включать в себя формирование на основе матриц $[T_{m,v}^{(i)}]$ и матрицы $[G_{i,m}]$ бинарных матриц планирования $[E_{m,v}^{(i)}]$. Их элементы должны удовлетворять следующим условиям:

А. Если $T_{m,v}^{(i)} = 0$, то $E_{m,v}^{(i)} = 0$, т. е. данный вариант изначально считается недопустимым.

В. Если для i -й специальности предмет m – является обязательным (т. е. $G_{i,m} = 1$), то в m -й строке матрицы $[E_{m,v}^{(i)}]$ должна обязательно быть одна «единица» (принимается один вариант из числа возможных).

С. Если предмет не обязателен по ГС ВПО (т. е. $G_{i,m} = 0$), то в m -й строке могут быть как только нули, так и одна «1».

Д. В одном столбце матрицы $[E_{m,v}^{(i)}]$ может быть от «ноля» до нескольких ненулевых элементов, так как одинаковые варианты количества планируемых часов могут быть выбраны для разных дисциплин.

Примем, что выбор ненулевого элемента в матрице планирования $[E_{m,v}^{(i)}]$ порождает вектор (размерностью J) «вкладов» в КК, соответствующий вектору элементов ($j=1...J$) для m -й дисциплины по i -му НП и v -ому варианту количества часов. Будем для удобства считать информацию о нагрузках КК на представленной в виде набора $i \times j$ двумерных матриц ($[N_{m,v}^{(i,j)}]_{j=1...J}$). Значения этих «вкладов» в $[N_{m,v}^{(i,j)}]$ могут быть оценены экспертно – исходя из некоторой «средней» квалификации преподавателей по дисциплинам.

Выбор при формировании УП набора дисциплин по НП приводит к суммированию «нагрузок на КК» от всех предметов. При этом будет получена матрица $[F_{i,j}]_{i=1...I; j=1...J}$ с элементами, вычисляемыми по формуле

$$F_{i,j} = \sum_{m=1}^M \sum_{v=1}^V ([N_{m,v}^{(i,j)}] \times [E_{m,v}^{(i)}]). \quad (6)$$

Знак «×» в (6) означает поэлементное умножение матриц; при этом $[E_{m,v}^{(i)}]$ работает как некоторый «фильтр», выделяющий из $[N_{m,v}^{(i,j)}]$ нужные значения. Таким образом, при суммировании по «v» фактически берется только один ненулевой элемент, соответствующий выбранному варианту.

Для i -й дисциплины без учета других дисциплин оптимизация планирования сводится к выбору совокупности «0» и «1» в матрице $[E_{m,v}^{(i)}]$. При этом для отдельной i -й дисциплины оптимальный вариант будет соответствовать получению максимума

$$\Psi^{(i)} = (\sum_{j=1}^J \lambda_j F_{i,j}) / \sum_{j=1}^J \lambda_j, \quad (7)$$

где весовые коэффициенты для важностей КК $\{\lambda_j\}_{j=1...J}$ берутся такие же, как в формуле (3).

При этом должны соблюдаться ограничения на планирование, указанные выше – включая достижение *всеми* компонентами уровней, соответствующих набору $\{K_j^{(min),(i)}\}$ в формуле (4).

Такая оптимизация может быть двухэтапной:

сначала отбор вариантов планирования, удовлетворяющих ограничениям (без вычисления $\Psi^{(i)}$); затем выбор из них наилучшего – по максимуму критерия $\Psi^{(i)}$ в формуле (7).

Сравнение плановых уровней для компетентностей возможно как «покомпонентное» ($\{F_{i,j}\}_{j=1\dots J}$ с $\{K_j^{*(i)}\}_{j=1\dots J}$), так и по «интегральным критериям» ($K^{** (i)}$ с $\Psi^{(i)}$).

Осуществим и иной подход, учитывающий возможность того, что при планировании для i -й дисциплины по крайней мере часть КК в наборе $\{F_{i,j}\}_{j=1\dots J}$ при любых вариантах выбора учебных дисциплин и количеств часов по ним не будет достигать уровней, соответствующих желательным, т. е. $\{K_j^{*(i)}\}_{j=1\dots J}$. Тогда вместо (7) для отдельной i -й специальности

$$\Psi^{*(i)} = \left(\sum_{j=1}^J (\lambda_j^* (F_{i,j} - K_j^{*(i)})) \right), \quad (8)$$

где $\lambda_j^* = \lambda_j^{(+)} \geq 0$ при $F_{i,j} \geq K_j^{*(i)}$ («бонусы») и $\lambda_j^* = \lambda_j^{(-)} \geq 0$ при $F_{i,j} \leq K_j^{*(i)}$ («штрафы»). Обычно $|\lambda_j^{(+)}| \leq |\lambda_j^{(-)}|$. Значения $\{\lambda_j^{(+)}\}$ и $\{\lambda_j^{(-)}\}$ в (8) могут быть оценены экспертно.

Учет «важности» специальностей для вуза возможен, например, исходя из количества обучающихся по ним студентов. Тогда вместо (8) получим

$$\Psi^{** (i)} = \sum_{i=1}^I \left(S_i \sum_{j=1}^J (\lambda_j^* (F_{i,j} - K_j^{*(i)})) \right) / \sum_{i=1}^I S_i. \quad (9)$$

Нормирование на $\sum_{i=1}^I S_i$ в (9) используется

для сопоставимости величин $\Psi^{*(i)}$ и $\Psi^{** (i)}$. Отметим, что в качестве S_i в (9) кроме «количеств студентов», могут быть использованы и иные параметры, в том числе связанные с востребованностью НП на региональном рынке труда.

Соответственно для ВК при планировании максимум, соответствующий совокупности НП (оптимальное решение), может определяться суммами

$$\Omega^* = \sum_{i=1}^I \Psi^{*(i)} \text{ или } \Omega^{**} = \sum_{i=1}^I \Psi^{** (i)}. \quad (10)$$

Эти формулы целесообразно рассматривать в качестве «рабочих».

В практическом плане оптимизация выбора набора дисциплин по i -му НП и количества часов по дисциплинам может быть выполнена

различно. Однако во всех случаях проблему представляет большое количество исходных данных и ограничений, которые необходимо учитывать. Это делает целесообразным использование «электронных таблиц», клетки которых являются готовыми «контейнерами» для ввода данных, представления промежуточных результатов и отражения результатов. Кроме того, целесообразно применение специальных модулей, проверяющих исходные данные – например, написанных на VBA.

Для определенности можно считать, что для одного НП используется 50 дисциплин-кандидатов для включения в УП, из них отбирается 40. Количество вариантов планирования учебных часов – 15. Таким образом, матрица планирования для i -й дисциплины будет иметь 50 строк и 15 столбцов. Помимо этого необходимы и иные данные (включая соответствие «количеств часов» и «номеров вариантов выбора»), которые также целесообразно представлять в матричном виде.

Укажем основные варианты автоматизации планирования:

В1. Ручной режим планирования/оптимизации (т. е. подбора совокупности дисциплин и количества часов по ним) – с автоматизацией расчетов $K_j^{*(i)}$, $F_{i,j}^*$, интегральных критериев типа (10) и пр.

В2. Использование средства типа «Поиск решения» в Microsoft Excel или иных «электронных таблицах» в интерактивном режиме. В «целевой ячейке», для которой должен быть достигнут максимум, должен стоять один из критериев по (10). При этом «подбираемыми параметрами» для i -го НП будут элементы «матрицы планирования» $[E_{m,v}^{(i)}]$.

В3. С применением специальной программы, включающей автоматизированный запуск средства «поиск решения» в электронных таблицах. Необходимый фрагмент текста такой программы, описывающей использование средства «поиск решения», может быть записан с помощью «рекодера макросов» и в последующем скорректирован вручную.

В4. С применением специальной программы на VBA, использующей рабочий лист «электронных таблиц» только как контейнер для «ввода-вывода». В такую программу могут быть заложены и иные алгоритмы по сравнению с теми, которые используются в «поиске решения».

В5. Данные могут быть также подготовлены в «электронных таблицах» и экспортированы в файл (например, формата *.txt) для последующей обработки специально написанной программой.

Выбор дисциплин по нескольким направлениям подготовки с учетом ресурсов времени преподавателей и их квалификации

В данном разделе мы рассмотрим особенности учета следующих факторов: нормативные значения и ограничения по суммарной учебной нагрузке для отдельных преподавателей; влияние уровней нагрузки и квалификации преподавателей на КК выпускников; влияние количества предметов, которые ведут преподаватели.

Пусть имеется совокупность « L » преподавателей, для каждого из которых может быть запланирована нагрузка. При этом для одной дисциплины может планироваться один или большее количество преподавателей (лектор + ассистент или ассистенты). Характеристики для каждого из этих преподавателей определяются следующими векторами значений: $\{P_l^{(\min)}\}_{l=1 \dots L}$ – минимальные допустимые нагрузки; $\{P_l^{(norm)}\}_{l=1 \dots L}$ – нормативные нагрузки; $\{P_l^{(\max)}\}_{l=1 \dots L}$ – максимально допустимые нагрузки; $\{P_l^{(d-\max)}\}_{l=1 \dots L}$ – допустимое количество дисциплин (предметов), которое может планироваться преподавателю по всем НП; $\{Q_{l,m}\}_{l=1 \dots L; m=1 \dots M}$ – «квалификация» l -го преподавателя в отношении m -й дисциплины. В дальнейшем предполагается, что назначение нагрузки l -му преподавателю по m -й дисциплине предполагает его квалификацию не ниже некоторой минимальной.

При планировании доля нагрузки по m -й дисциплине i -го НП, приходящейся на l -го преподавателя ($D_m^{(i),(l)}$), может задаваться так: «0» – не ведет занятия; «1» – ведет все занятия; «часть от 1» – преподаватель ведет часть занятий. В случае v -го варианта планирования «набора дисциплин» для l -го преподавателя по m -й дисциплине i -го НП количество часов целесообразно представить как матрицу $[\Theta_m^{(i),(l)}]$, элементы которой вычисляются по формуле

$$\Theta_m^{(i),(l)} = D_m^{(i),(l)} H_{m,v}^{(i)}, \quad (11)$$

где $H_{m,v}^{(i)}$ – количество часов по m -й дисциплине i -го НП для v -го варианта планирования (при

этом часть дисциплин может повторяться для разных « i »). Для оптимизации решений, учитывающих факторы, связанные с преподавателями, может использоваться изменение (подбор) элементов матриц $[D_m^{(i),(l)}]$. При этом количество возможных вариантов для значений этих элементов на практике весьма ограничено (на практике в основном преобладают значения «1», «0.5», «0.33», «0.66»).

Суммарная нагрузка на l -го преподавателя по всем НП и дисциплинам в случае конкретного варианта выбора набора дисциплин и матрицы нагрузок на преподавателя $[D_m^{(i),(l)}]$ равна

$$\Theta^{(\Sigma),(l)} = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \Theta_m^{(i),(l)}. \quad (12)$$

Она может находиться в интервале от $P_l^{(\min)}$ до $P_l^{(\max)}$.

Теперь учтем влияние на уровни КК выпускников следующих факторов: «перегрузки» или «недогрузки» преподавателей; отличия квалификации преподавателей от средних; количества предметов, планируемых на каждого преподавателя. С этой целью введем «корректирующий коэффициент» для l -го преподавателя и m -й дисциплины, вычисляемый по формуле

$$Y_{l,m} = \alpha(Q_{l,m} - Q_{sr}) - \beta(\Theta_v^{(\Sigma),(l)} - P_l^{(norm)}) - \mu(P_l^{(d-plan)} - P_l^{(d-max)}). \quad (13)$$

В (13) первое слагаемое учитывает отличие квалификации l -го преподавателя от некоторой «средней» квалификации (Q_{sr}), причем $\alpha = \alpha^{(+)}$ при $Q_{l,m} \geq Q_{sr}$; $\alpha = \alpha^{(-)}$ при $Q_{l,m} < Q_{sr}$. Таким образом, для «превышения» и «недостатка» квалификации может быть задана разная «значимость».

Второй член в (13) определяет влияние «перегрузки» или «недогрузки» преподавателя на уровень КК. При этом $\beta = \beta^{(+)}$ при $\Theta^{(\Sigma),(l)} \geq P_l^{(norm)}$ – т. е. при «перегрузке»; $\beta = \beta^{(-)}$ при $\Theta^{(\Sigma),(l)} < P_l^{(norm)}$ – т. е. при «недогрузке».

Третий член в (13) учитывает возможность превышения количества предметов, планируемых на l -го преподавателя $P_l^{(d-plan)}$ по отношению к допустимому $P_l^{(d-max)}$. При этом $\mu = \mu^{(+)}$ при $P_l^{(d-plan)} > P_l^{(d-max)}$; $\mu = \mu^{(-)}$ при $P_l^{(d-plan)} < P_l^{(d-max)}$ (уменьшение количества предметов, которые ведет преподаватель, и его более «глу-

бокая» специализация могут благотворно сказываться на качестве подготовки выпускников).

Тогда по аналогии с формулой (6) можно использовать

$$F_{i,j}^* = \sum_{m=1}^M \sum_{v=1}^V \sum_{l=1}^L \left(\left([N_{m,v}^{(i,j)}] \times [E_{m,v}^{(i)}] \right) \times Y_{l,m} \right) / \left(\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Y_{l,m} \right). \quad (14)$$

Нормировка в (14) на $\left(\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Y_{l,m} \right)$ используется для получения результатов, сопоставимых с формулой (6).

Соответственно получаем аналоги формул (7), (8) и (9), в которых вместо $F_{i,j}$ стоят $F_{i,j}^*$, вычисленные по (14). В дальнейшем эти аналоги могут быть использованы в «рабочих» формулах типа (10).

Целесообразность описанной усложняющей модификации в значительной степени определяется точностями оценок для коэффициентов α, β, μ и оправданностью применения общих коэффициентов для всех преподавателей.

В практическом плане описанные усложнения приводят к таким изменениям:

А. Вместо набора i отдельных прямоугольных матриц $[E_{m,v}^{(i)}]$ с размерностью $(M \times V)$ при планировании набора дисциплин и количеств часов по ним необходимо будет использовать «совмещенную матрицу» с размерностью $(I \times M)$ строк и V столбцов. В случае двух НП, 50 дисциплин-кандидатов и 15 вариантов количеств часов будем иметь матрицу со 100 строками и 15 столбцами.

В. Дополнительно необходимо использовать матрицу «долей нагрузок» на преподавателей размерностью $(I \times M)$ строк и L столбцов. Примем для определенности $L=20$.

В случае использования средства «поиск решения», требующего задания непрерывного диапазона для изменяемых ячеек, целесообразно вторую матрицу размещать вплотную к первой. Для рассматриваемого примера эти две матрицы дадут «зону ячеек с подбираемым содержанием» размером 100 строк $\times$ 35 столбцов.

Как и в случае алгоритмов, описанных в предыдущем разделе, потребуется, конечно, размещение на рабочем листе и иной информации, включая результаты «промежуточных» расчетов, необходимых для автоматической проверки всех ограничений и вычисления «корректи-

рующих коэффициентов». Последние будут соответствовать матрице $L \times M$.

С использованием средства «поиск решения» подбор элементов для указанной матрицы размерностью 100×35 может осуществляться одновременно, что позволит сразу выполнить «комплексную оптимизацию». При этом определенную техническую сложность будет представлять учет дискретного характера изменений элементов матрицы $[D_m^{(i,l)}]$, которая в случае рассматриваемого примера соответствует матрице 100×20 .

В принципе возможно и планирование с применением «пошаговой итеративной оптимизации». До входа в итеративный цикл с помощью «поиска решения» необходимо выбрать для каждого НП оптимальный набор дисциплин и количеств часов по ним. Затем перейти к итерациям. На каждой итерации выполняются следующие действия: «привязать» преподавателей к предметам; рассчитать учебные нагрузки преподавателей, «корректирующие коэффициенты», интегральные критерии и пр. Если результат приемлемый, то прекратить итерации. Если неприемлемый, возможны два варианта:

1) перераспределить нагрузки по предметам между преподавателями для удовлетворения всех необходимых критериев и вернуться к оценкам коэффициентов, критериев и пр.;

2) вручную изменить «матрицы планирования» для предметов и количеств часов по ним, а затем перейти к началу итерационного цикла. Во втором случае использование «поиска решения» до входа в итерационный цикл будет обеспечивать формирование только опорных «матриц планирования», которые затем будут корректироваться вручную.

Итак, в ы в о д ы :

1) описанные в статье формализованные подходы к планированию могут быть использованы в автоматизированных системах управления деятельностью ВК вузов;

2) применение рассматриваемых в статье подходов оправдано, когда можно достаточно точно оценить нагрузки на «компоненты компетентности», даваемые различными дисциплинами при разных количествах часов по ним;

3) планирование для одного НП набора дисциплин и количеств часов по ним без «привязки» преподавателей в техническом плане не вызывает трудностей и может быть реализовано с использованием средства «поиск решения» электронных таблиц;

4) алгоритмы планирования для совокупности НП в сочетании с «привязкой» преподавателей к дисциплинам также могут быть реализованы с использованием «электронных таблиц». Однако такие задачи являются значительно более громоздкими, а алгоритмы учета «особенностей» преподавателей при планировании нуждаются в дальнейшем обсуждении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Азарова, Р. Н.* Основные образовательные программы: проектирование, реализация, экспертиза / Р. Н. Азарова // Аккредитация в образовании. 2013. № 3 (63). С. 18–21.
2. *Алавердов, А. Р.* Компетентностный подход к организации образовательного процесса как конкурентное преимущество вуза / А. Р. Алавердов, И. А. Ягодкина // Современная конкуренция. 2013. № 2 (38). С. 69–76.
3. *Болатбаева, З. Т.* Компетентностный подход в высшем профессиональном образовании / З. Т. Болатбаева // Наука и Мир. 2014. Т. 3. № 2 (6). С. 37–38.
4. *Борисова, Е. В.* Компетентностный аспект в оценке качества образования / Е. В. Борисова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 1–2. С. 72–78.
5. *Брумштейн, Ю. М.* Интеллектуальные ресурсы региона: системный анализ компонентной структуры, подходов к оценкам, моделей динамики // Известия Волгоградского государственного технического университета 2014. Т. 21. № 12 (139). С. 52–57.
6. *Брумштейн, Ю. М.* ИКТ-компетентность стран, регионов, организаций и физических лиц: системный анализ целей, направлений и методов оценки / Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань. – 2014. – № 2. – С. 47–63.
7. *Брумштейн, Ю. М.* Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань. – 2013. – № 3. – С. 169–179.
8. *Брумштейн, Ю. М.* Мотивация и управление формированием интеллектуальных ресурсов в вузах и ссузах / Ю. М. Брумштейн, Ю. Ю. Аксенова, М. В. Иванова, И. А. Костин // Интеллектуальные технологии будущего. Естественный и искусственный интеллект: мат-лы Всерос. молодежной конференции (27.10.2011). – Воронеж : Научная книга, 2011. – С. 66–70.
9. *Дворянkin, А. М., Чалышев В. С.* Обзор методов составления расписания вузов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 9 (82). С. 110–113.
10. *Елсакова, Н. Н.* Компетентностный подход в зарубежном образовании / Н. Н. Елсакова // Обучение и воспитание: методики и практика. 2013. № 8. С. 166–171.
11. *Исаев А. В., Кравец А. Г., Мельников М. П., Ереско Д. А.* Автоматизированная система поддержки учебной траектории: определение принципов построения учебного курса в рамках компетентностного подхода // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 9 (82). С. 113–117.
12. *Кравец А. Г., Аль-Шаеби Р. А. А.* Автоматизация формирования индивидуальной траектории подготовки студента при кредитно-модульной системе обучения // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 9 (82). С. 117–122.
13. *Исаев А. В., Кошечкин Я. С., Кравец А. Г.* Подходы к построению автоматизированной системы поддержки индивидуализированных учебных курсов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 8. № 6 (66). С. 96–99.
14. *Конкин Е. Е., Литовкин Д. В., Ляпина О. Н.* Формирование требований к формированию учебных планов кафедры ПОАС // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12 (139). С. 83–90.
15. *Кучерук, О. Я.* Компетентностный подход в подготовке будущих инженеров-программистов / О. Я. Кучерук // Научный огляд. 2014. Т. 3. № 2–2. С. 79–86.
16. *Лифшиц Е. А.* Система анализа интегрального мотивационного потенциала обучающихся в условиях информатизации образования // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 17. № 14 (117). С. 85–89.
17. *Петрова, В. Д.* Компетентностный подход в формировании профессиональных навыков будущих специалистов / В. Д. Петрова // Обучение и воспитание: методики и практика. 2013. № 7. С. 170–173.
18. *Романова, Е. А.* Компетентностный подход в современной системе образования / Е. А. Романова // Science Time. 2014. № 3. С. 90–97.
19. *Сенашенко, В. С.* Компетентностный подход в высшем образовании: миф и реальность / В. С. Сенашенко, Т. Б. Медникова // Высшее образование в России. 2014. № 5. С. 34–46.
20. *Сидорин А. Б., Ликучева Л. В., Дворянkin А. М.* Методы автоматизации составления занятий. Часть 2. Эвристические методы оптимизации // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 7. № 12 (60). С. 120–123.
21. *Ушаков А. Ф., Литовкин Д. В.* Определение информационного наполнения и системы организации веб-сайта кафедры ПОАС // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12 (139). С. 107–111.
22. *Шарнин, Л. М.* Компетентностный подход при разработке учебных планов / Л. М. Шарнин, В. А. Суздальцев, С. А. Зарайский // Образовательные технологии и общество. 2013. Т. 16. № 3. С. 428–437.
23. *Юдин, Д. В.* Система управления компетенциями с формированием индивидуальных профессиональных тестов / Д. В. Юдин, А. Г. Кравец // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань, 2013. – № 4. – С. 176–183.

УДК 004:681.3

Ю. М. Брумштейн¹, Н. К. Юрков², В. А. Камаев³

**ЦЕЛИ И ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ
НАУКОМЕТРИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ВУЗОВСКИХ ЖУРНАЛОВ:
ВЗГЛЯД С ПОЗИЦИЙ НАУЧНЫХ РЕДАКТОРОВ***

¹Астраханский государственный университет

²Пензенский государственный университет

³Волгоградский государственный технический университет

brum2003@mail.ru, yurkov_nk@mail.ru, vkamaev40@mail.ru

Рассмотрены технологии выпуска научных журналов вузов (НЖВ). Проанализированы условия деятельности их научных редакторов (НР); цели, потенциальные возможности и ограничения по управлению наукометрическими показателями (НП) НЖВ. Исследованы методы организации информационного взаимодействия НР с авторами НЖВ, рецензентами, редакционно-издательскими комплексами вузов. Сделаны ориентировочные оценки трудозатрат НР и других лиц, связанных с выпуском НЖВ. Указана номенклатура и эффективность возможных практических методов по управлению НП НЖВ, которые могут применяться НР. Оценены возможности и эффективность некоторых способов «продвижения» опубликованных в НЖВ статей в научном информационном пространстве.

Ключевые слова: интеллектуальные ресурсы, научные журналы вузов, наукометрические показатели, информационные технологии, принятие решений, управление процессами, трудозатраты, оценки эффективности.

Ju. M. Brumshteyn¹, N. K. Yurkov², V. A. Kamayev³

**PURPOSES AND PRACTICAL METHODS OF UNIVERSITIES
JOURNALS SCIENTOMETRIC INDICATORS:
THE LOOK FROM SCIENTIFIC EDITORS POSITIONS**

¹Astrakhan State University

²Penza State University

³Volgograd State Technical University

In article are considered technologies of issue for universities scientific journals (USJ). Authors analyze conditions of activity of their scientific editors (SE); the purposes, potential opportunities and restrictions on management of USM scientometric indicators (SI). Technologies of information exchange organization for SE with USM authors, reviewers, universities publishing complexes are investigated. Authors make approximate estimates of labor costs for SE and other persons, tied with USM release. The nomenclature and efficiency of possible practical methods of SI USM management, which can be applied by SE, is specified. Also are estimated opportunities and efficiency of some methods for advancing articles, which have been published in USM, in scientific information space.

Keywords: intellectual resources, universities scientific journals, scientometric indicators, information technologies, decision-making, processes management, labor costs, efficiency estimates.

В настоящее время выпуск научных журналов вузов (НЖВ) играет значительную роль в обеспечении формирования (наращивания) их интеллектуального потенциала. Наукометрические показатели (НП) НЖВ важны при оценках не только «авторитетности изданий» [1, 7, 13], но и результатов деятельности их научных редакторов (НР), «научной весомости» опубликованных в НЖВ работ. Поэтому вопросы управления НП НЖВ, учитывающие специфику изданий, необходимость обеспечения интеграции вузов в международное научно-информационное пространство являются достаточно актуальными [6, 9]. Однако в существующих публикациях эта тематика рассмотрена недостаточно полно. Поэтому *целью данной работы*

является комплексный анализ проблематики, связанной целями и методами управления выпуском НЖВ, включая их НП.

**Особенности выпуска научных журналов вузов,
формирования их редколлегий**

Издание НЖВ чаще всего не преследует цели извлечения коммерческой прибыли, хотя с авторов (обычно, кроме аспирантов) оплата в каком-то объеме и берется. Это могут быть платежи, пропорциональные количеству страниц статей; количеству «авторов-неаспирантов»; оплата авторами подписки на НЖВ за определенный период. Льготы членам редколлегий по оплате публикаций в НЖВ чаще всего отсутствуют. Обычно оплата работ осуществляется

«через банк», хотя иногда возможен и наличный расчет. Технологии оплаты авторами публикаций на основе использования «электронных кошельков» и «Интернет-банкинга» в НЖВ, как правило, не применяются.

Для сравнения укажем, что во многих академических и ведомственных научных (научно-производственных) журналах России плата с авторов не берется, а в некоторых – авторам даже платят за статьи. Такое положение объективно снижает конкурентоспособность НЖВ на рынке издательских услуг.

При издании вузами журналов в виде совокупности «тематических серий» Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) расчет НП осуществляется либо по совокупности НЖВ во всех сериях (например, для издания «Известия Волгоградского государственного технического университета»), либо только по одной серии (например, для издания «Вестник Волгоградского государственного университета»). Отсутствие расчетных значений НП для отдельных серий безусловно затрудняет деятельность НР конкретных НЖВ. В тоже время для руководства вузов важны и усредненные НП по всем выпускаемым НЖВ.

В абсолютном большинстве печатных НЖВ на титульных листах изданий; на их оборотных страницах; на интернет-страницах сайтов вузов, осуществляющих информационную поддержку журналов, как правило, не указываются текущие НП журналов. В то же время на сайтах «коммерческих» научных журналов в числе основных сведений указание их импакт-факторов (ИФ) встречается достаточно часто.

Для основной массы НЖВ характерно наличие либо редколлегий, либо редакционных советов. Однако в некоторых НЖВ параллельно есть и то, и другое. На федеральном уровне количество членов редколлегий не регламентируется и на практике нередко превышает 20 человек. Однако реальная активность членов редколлегий НЖВ обычно значительно различается. Это касается не только объемов рецензирования поступающих статей, но и представления материалов для опубликования в НЖВ – включая статьи, в которых они являются авторами или соавторами.

В ряде зарубежных журналов помимо редколлегий (редсоветов) создаются также отдельные группы рецензентов – однако для Российских НЖВ это в целом не характерно. На практике для рецензирования (оценки) статей, по-

ступающих в НЖВ, помимо членов редколлегий часто используются сотрудники издающих журналы вузов – в силу их большей доступности.

Формирование редколлегий и/или редсоветов НЖВ осуществляется самими вузами. При этом Высшая аттестационная комиссия (ВАК) России не утверждает персональный состав их членов и не предъявляет каких-то определенных требований в отношении научных степеней, званий, личных НП (включая общее количество публикаций в рецензируемых изданиях; величины индекса Хирша [9, 12, 13, 16]); наличия публикаций в зарубежных журналах; публикационной активности в том же НЖВ и пр. Однако на практике должности главных редакторов НЖВ и членов их редколлегий чаще всего занимают лица, имеющие ученую степень доктора наук.

От главных редакторов и ответственных секретарей НЖВ не требуется обязательное членство в научно-технических советах вузов, Советах по защите диссертаций и пр. Однако выполнение функций НР НЖВ учитывается при внутривузовских избраниях на профессорско-преподавательские должности, представления к присвоению ученых званий и пр.

Отсутствие контроля со стороны ВАК за персональным составом редколлегий НЖВ объясняется видимо тем, что это потребовало бы значительной дополнительной работы. В то же время введение такого контроля в отношении журналов, входящих в известный список ваковских изданий [15], могло бы усилить возможности влияния этой организации на качество публикуемых материалов, учитываемых при защитах диссертаций; в определенной степени – на номенклатуру НЖВ, снижение их тематического параллелизма.

Для исключения «домашнего характера» НЖВ их редколлегии сейчас формируются с обязательным участием (или преобладанием) лиц, не являющихся штатными сотрудниками вузов, издающих журналы. На практике это приводит к тому, что одни и те же ученые со степенями докторов наук нередко являются членами редколлегий значительного количества ваковских журналов (в отличие от Советов по защите диссертаций ВАК вопросы количества таких «членств» никак не контролирует). Формальные требования к вузам по наличию в составе редколлегий НЖВ ученых из национальных исследовательских университетов, НИИ Академии наук России (и пр.) со стороны ВАК также пока не выдвигаются.

В рамках усиления интеграции НЖВ в международное научно-информационное пространство в состав редколлегий (редсоветов) сейчас обязательно включаются зарубежные ученые. Однако для «не русскоязычных» ученых такое членство часто носит формальный характер – если они не владеют русским языком, то могут работать с основной массой статей в НЖВ только на уровне англоязычных аннотаций.

Практическая подготовка номеров НЖВ осуществляется их редколлегией, причем основная нагрузка обычно ложится на главных редакторов и ответсекретарей журналов.

В большинстве крупных вузов редакционно-техническую доработку статей, их верстку, печать, все виды переплетных работ выполняют редакционно-издательские комплексы (РИК), которые подчиняются руководству вузов и имеют собственную полиграфическую базу. Эта база обычно позволяет осуществлять выпуск печатных изданий «в цвете», но по экономическим соображениям большинство НЖВ печатаются в черно-белом варианте, а цветные иллюстрации воспроизводятся в виде оттенков серого. Такое конвертирование графики без формального согласия авторов может нарушать их личные неимущественные права, поскольку иллюстрации считаются составной частью работ. При острой необходимости отдельные страницы НЖВ по инициативе НР обычно могут быть напечатаны и как цветные.

Рассылку обязательных экземпляров НЖВ, отправку номеров журналов авторам, свободную продажу НЖВ также обычно осуществляют РИК вузов. Передачу сформированных номеров НЖВ в электронную библиотеку [elibrary \(www.elibrary.ru\)](http://www.elibrary.ru), в том числе и для расчетов НП РИНЦем, обычно также осуществляют РИК. В то же время размещение опубликованных номеров НЖВ на соответствующих страницах интернет-сайтов вузов чаще всего выполняют интернет-отделы, организационно входящие в управления информационно-коммуникационных технологий и тому подобные подразделения.

Типичные тиражи НЖВ на бумаге (с учетом экземпляров, предназначенных для обязательной рассылки, для передачи в библиотеки вузов и пр.) составляют сейчас несколько десятков экземпляров, причем указываемые в изданиях количества экземпляров не являются сертифицированными.

Малые тиражи приводят к большой себестоимости выпуска номеров НЖВ, высокой цене по подписке и в свободной продаже – а это, в свою очередь, тормозит распространение НЖВ в печатной форме. Поэтому в ряде случаев крупные вузы взаимно оформляют подписку на издания друг друга.

Обычно в вузах осуществляется выпуск четырех плановых номеров НЖВ в год – с более или менее одинаковым объемом. Это минимальный уровень частоты выпуска, допускаемый большинством международных реферативных баз данных и систем цитирования (МРБ и СЦ), которые «признаются» ВАК России [15].

Цели и условия деятельности научных редакторов вузовских журналов

В данной статье под термином «НР» мы будем понимать следующие группы лиц: главные редакторы, которые определяют политику журналов и/или участвуют в отборе статей для публикации; ответственные секретари НЖВ, обеспечивающие реализацию редакционной политики в отношении актуальности, оригинальности и качества статей, их тематического соответствия профилям НЖВ; руководители тематических секций в журналах – там, где они есть; с оговорками – активно работающие с авторами члены редколлегий НЖВ. В какой-то степени функции НР могут играть и рецензенты – если они дают рецензии с конструктивными замечаниями по статьям и конкретными предложениями по их корректировкам.

В большинстве случаев главные редакторы и ответственные секретари НЖВ занимают эти должности по совместительству – одновременно они являются штатными преподавателями вузов, научными сотрудниками, иногда – руководителями структурных подразделений. Поэтому объемы доступных таким лицам трудозатрат для деятельности, связанной с выпуском НЖВ, часто достаточно ограничены. При этом дополнительная оплата за работу главным редакторам и ответсекретарям НЖВ обычно не ставится в прямую зависимость от НП журналов и их динамики. Другие члены редколлегий НЖВ обычно трудятся на «общественных началах», т. е. бесплатно. Отметим также, что сотрудники вузов в отношении исполнения функций главных редакторов и ответсекретарей НЖВ обычно не заключают каких-то контрактов на определенный срок. Назначение на эти должности обычно осуществляется просто на основе приказов по вузам.

Основными целями (направлениями) деятельности НР вузовских изданий являются: обеспечение включения НЖВ в список ВАК и/или МРБ и СЦ; сохранение ими мест в этих списках; улучшение НП НЖВ [1, 17]; поддержка качества публикаций (включая заголовки, аннотации, текст, графику, формулы, списки литературы) – в том числе путем непосредственной работы с авторами статей, изменения правил для авторов; расширение круга публикуемых в НЖВ авторов и организаций; обеспечение объективности и сроков рецензирования поступающих статей; поддержка своевременности сдачи номеров НЖВ в печать (в тираж); исключение некорректных заимствований (плагиата) [2] в публикуемых материалах. Иногда перед главными редакторами и ответсекретарями ставится и задача обеспечения самокупаемости издания НЖВ – за счет платежей авторов и/или представляемых ими организаций.

На качественном уровне необходимые (минимальные) условия для включения НЖВ в Scopus и иные МРБ и СЦ [8] достаточно хорошо известны НР и руководителям вузовских РИК. Однако для НР конкретных НЖВ остается не вполне ясным, достижение каких количественных НП и/или их совокупностей достаточно для такого включения журналов. В частности, это касается ИФ журналов и их динамики; значений индексов Херфиндала – Хиршмана и пр.

Несмотря на недостатки использования в качестве НП рассчитываемых РИНЦ величин ИФ, такие показатели при оценках деятельности российских журналов и их НР продолжают преобладать. Фактически у руководства большинства вузов и НР просто нет альтернативных общепризнанных НП, так как в МРБ и СЦ пока присутствуют лишь немногие НЖВ. Важно отметить, что в [19] было показано, что НП для Российских журналов, рассчитываемые РИНЦ и различными МРБ и СЦ, слабо коррелируют друг с другом. Однако эти выводы сделаны на основании анализа НП для нескольких десятков журналов разных профилей, причем НЖВ среди этих изданий почти не было.

Отсутствие в России формальных объединений (например, в форме координационных советов) главных редакторов и ответственных секретарей для тематически близких НЖВ приводит к определенной несогласованности политики журналов – в том числе даже в пределах одного населенного пункта; различиям в тех-

нических и содержательных требованиях, предъявляемых к авторам материалов, представляемых в НЖВ; нередко – к тематическому дублированию содержания публикаций в разных изданиях. Также обычно не осуществляется и координация деятельности НЖВ с зарубежными изданиями – хотя, по крайней мере в отношении журналов из стран СНГ, это казалось бы вполне логичным. Такая координация (сотрудничество) могла бы, в частности, выполняться на основе межвузовских соглашений, включая многосторонние.

Отметим, что согласно [11] в конце октября 2014 была создана Российская ассоциация научных редакторов и издателей – однако среди НР она пока малоизвестна. Различные российские научно-технические общества и академические НИИ, которые издают специализированные журналы, пока также не координируют свою деятельность с вузовскими журналами.

Значительное количество издаваемых в России НЖВ (включая ваковские), политематичность большинства из них приводят к высокой конкуренции за авторов и оригинальные статьи с высоким качеством, не требующие значительной редакционно-издательской доработки. На практике следствием данного факта является то, что авторы, заинтересованные в быстрой публикации материалов (например, перед защитой диссертаций), вместо того, чтобы исправлять статьи по замечаниям рецензентов, начинают искать другие места (пути) для максимально быстрого опубликования – в том числе и в чисто коммерческих ваковских журналах (их издатели – не вузы!). Такие издания принимают от авторов статьи с готовыми рецензиями и обеспечивают гарантированную публикацию работ в короткие сроки практически без редакционной правки. Эта деятельность трактуется как редакционно-издательские услуги и требует достаточно высокой (по крайней мере по меркам региональных вузов) оплаты от авторов за публикации. Дополнительно отметим, что в Интернете сейчас предлагаются платные услуги по написанию ваковских статей на заданные темы. В частности, на 11.01.2015 встречались предложения стоимостью от 2600 руб. за статью при сроках написания от одних суток. С юридической точки зрения использование для публикаций материалов, созданных другими авторами (даже с их согласия и за плату), должно рассматриваться как плагиат, т. е. присвоение авторства [2].

В условиях определенной ориентации руководства вузов на приоритетность зарубежных публикаций интерес авторов к подаче статей в НЖВ несколько снижается – особенно в случае высокой стоимости оплаты.

По электронной почте потенциальным авторам статей часто приходят предложения о публикациях в зарубежных журналах от различных посреднических фирм. В большинстве случаев речь идет об изданиях, не входящих в списки МРБ и СЦ, хотя в предложениях может утверждаться и обратное.

Еще одним фактором, существенно влияющим на принятие решений НР НЖВ, являются сроки выпуска номеров. Задержки рассмотрения статей редколлегией могут быть связаны не только с нехваткой времени у НР, но и длительными сроками рецензирования работ внешними по отношению к вузам рецензентами; ненулевыми вероятностями получения отказов дать рецензии после их длительного ожидания. В определенной степени это связано с «бесплатным» характером рецензирования, которое пока типично для деятельности большинства НЖВ.

Приведенные выше факты показывают, что деятельность НР НЖВ протекает в сложных, конкурентных условиях. При этом государственное регулирование номенклатуры и качества НЖВ носит неполный характер, а саморегулирующиеся профессиональные организации, которые потенциально могли бы осуществлять контроль качества журналов, пока еще фактически не функционируют.

Анализ возможных методов управления наукометрическими показателями вузовских журналов

В общем случае управление НП НЖВ возможно со стороны следующих групп лиц: руководства вузов в целом [3, 4]; руководства РИК вузов [4]; НР НЖВ – прежде всего, главных редакторов и ответсекретарей; членов редколлегии журналов; в определенной степени – рецензентов; авторов публикуемых работ [6].

Основные возможности *руководства вузов и РИК* по управлению НП НЖВ: утверждение (а при необходимости корректировка) профилей деятельности журналов; формирование и корректировка составов редколлегии (редсоветов) НЖВ – в том числе в рамках развития международных связей вузов; утверждение технических требований к публикуемым материалам; корректировка дизайна обложек жур-

налов, форматирования текстов статей; изменение уровней оплаты публикуемых работ; освобождение от оплаты отдельных статей или категорий авторов; участие в продвижении НЖВ в научном информационном пространстве, в том числе поддержка включения журналов в МРБ и СЦ, ваковский список [15] и др.; информационная поддержка опубликованных статей на интернет-сайтах вузов [5].

Основные возможности по управлению НП НЖВ для НР включают в себя следующее:

- сохранение научных связей с ранее публиковавшимися в НЖВ авторами;
- привлечение новых авторов к публикациям в НЖВ, в том числе за счет работы НР на научных конференциях/семинарах; просмотра ими публикаций в тематически близких журналах, сборниках работ конференций; использование поисковых запросов в РИНЦ и МРБ и СЦ; участие в международных связях вузов и пр.;
- оценка принципиальной целесообразности публикаций конкретных работ – с учетом их актуальности, качества, объема, тематического соответствия профилю деятельности НЖВ, ограничений на объемы выпускаемых номеров; наличия ранее опубликованных в журналах работ похожей тематики;

– работа НР с авторами, рецензентами, РИК в процессе подготовки материалов к опубликованию. Основные направления такой работы: улучшение качества текста статей; повышение информативности заголовков, аннотаций, ключевых слов; оптимизации представления иллюстраций, формул. Сюда же можно отнести и советы авторам по разбивке слишком длинных статей на отдельные части. Отметим, что для обеспечения персональной ответственности за качество публикуемых материалов в некоторых НЖВ (например, в «Известия ЮФУ. Технические науки») принято после текста работ в явной форме указывать фамилии рецензентов, рекомендовавших статьи к публикации;

– предложения авторам работ о включении ссылок на статьи, ранее опубликованные в тех же НЖВ. Такие ссылки обеспечивают информационную связность массива публикаций в НЖВ; делают публикации в них более известными в информационном пространстве; увеличивают количества ссылок (цитирований) для отдельных авторов. Однако эти ссылки непосредственно не влияют на «ИФ без самоцитирования» для НЖВ. В связи с этим отметим, что согласно опубликованному в Интернете комментарию

к [14], ИФ не был определяющим критерием при первичном «отборе российских научных журналов для включения в коллекцию Russian Science Citation Index на платформе Web of Science»;

- инициирование НР подготовки авторами по тематике журналов обзорных статей, которые потенциально могут обеспечивать большое количество ссылок на них и тем самым поднимать ИФ НЖВ;

- регулирование очередности опубликования поступивших статей в НЖВ – в случае их избытка. При этом необходимо учитывать возможности «отзыва» уже прошедших редакционно-издательскую обработку статей авторами, заинтересованными в быстрой публикации работ;

- анализ информации о востребованности опубликованных статей с учетом статистики скачивания аннотаций и текстов работ с сайта www.elibrary.ru [18], сайтов вузов. На основе результатов анализа этой статистики (как информации обратной связи) могут приниматься решения о целесообразности и приоритетности дальнейших публикаций авторов в НЖВ. Отметим, что для НР получение на сайте РИНЦ сводной статистики ссылок на отдельные статьи в конкретном номере НЖВ затруднено.

Другие каналы обратной связи для ответсекретарей и главных редакторов НЖВ: таблицы со сравнительными оценками опубликованных работ, поступающие от членов редколлегий и, возможно, иных лиц; отзывы на Интернет-форумах НЖВ. Однако пока такие форумы на сайтах вузов практически не используются, а публикация в НЖВ кратких отзывов на статьи или материалов дискуссий по ним – не характерна;

- продвижение НР информации об НЖВ и опубликованных в нем работах в научном информационном пространстве возможно следующими методами: адресная рассылка оглавлений и номеров журналов в электронной форме; размещение информации по НЖВ и статьям в них на сайтах вузов; размещение гиперссылок на вневузовских интернет-ресурсах в отношении страниц вузовских интернет-сайтов, соответствующих НЖВ; продвижение информации об НЖВ через социальные научные сети – они достаточно популярны за рубежом; включение НЖВ в «ассоциации журналов открытого доступа» (DOAJ). Использование последних двух направлений затрудняется преимущественно русскоязычным характером большинства НЖВ.

Отметим, что в русскоязычных изданиях не принято публиковать прямые ссылки на работы для доступа к ним через Интернет (DOI) – даже в «электронных версиях» статей. В то же время поиск через Интернет текстов работ, на которые есть ссылки в публикациях (например, через www.elibrary.ru), требует от читателей дополнительных трудозатрат и не всегда бывает успешным. Подчеркнем, что указание DOI для статьи на сайте РИНЦ или вуза потребует обеспечения действительности ссылки в течение всего периода потенциальной востребованности работы – вне зависимости от изменения структуры сайтов. Это может быть достигнуто, в частности, использованием средств перенаправления ссылок – однако такие решения будут усложнять процессы модификации сайтов, их развития. Кроме того, часть редакций (издательств) проводит политику обеспечения доступности опубликованных статей через Интернет лишь после оплаты – тогда DOI могут указывать только на аннотации статей;

- побуждение авторов опубликованных в НЖВ работ к их самостоятельному продвижению в информационном пространстве для увеличения количества ссылок (цитирований). Для этого возможно использование и научных социальных сетей, в которых могут размещаться не только русско-, но и англоязычные аннотации к работам, их DOI;

- стимулирование авторов к написанию и опубликованию статей на английском языке. Эта мера полезна для увеличения известности НЖВ за рубежом, но объективно затрудняет работу со статьями русскоязычных читателей НЖВ (а их большинство!);

- рост количества англоязычных статей может быть достигнут и за счет лично-служебных связей НР с иностранными учеными; увеличения в составе редколлегий количества зарубежных ученых, обеспечивающих представление статей; переводов поступивших в НЖВ статей на английский язык по инициативе редакций – с последующим согласованием текстов переводов с авторами. В связи с этим отметим, что «автоматические переводчики», в том числе бесплатно доступные в Интернете, пока дают некачественные результаты. В то же время «ручной» перевод (или корректировка «автоматических переводов») могут быть слишком затратными для вузов, требовать значительного дополнительного времени для подготовки статей к печати;

– корректное указание дат поступления в редколлегии первоначальной и финальной (со всеми исправлениями) версий публикуемых материалов;

– инициирование частичного или полного освобождения от оплаты авторов наиболее интересных статей; работ (включая обзоры), подготовленных по инициативе редакций; материалов зарубежных авторов;

– личное участие НР в профильных вебинарах и иных мероприятиях, посвященных продвижению журналов в научно-информационном пространстве, включению их в списки МРБ и СЦ и пр. Кроме того, целесообразно изучение НР рекомендаций по подготовке статей в журналах по «международным стандартам» [10].

Трудозатраты НР НЖВ, как уже отмечалось, могут объективно ограничиваться их располагаемыми ресурсами времени. На практике суммарные трудозатраты НР на одну опубликованную статью составляют несколько (а нередко и более десяти) календарных часов – в зависимости от ее объема и количества рецензий, возвратов авторам на корректировки и прочие, а также долей статей, которые отзываются авторами и отклоняются редакциями.

Математическая модель оптимизации выбора усилий для НР при подготовке номера НЖВ формально соответствует максимизации критерия

$$M = \sum_{i=1}^I (\lambda_i (E_i - Q_i)), \quad (1)$$

где I – общее количество поступивших в редакцию на рассмотрение статей для очередного номера (считаем, что они уже есть в «редакционном портфеле»); λ_i – равно «0», если статья отвергается после первичного рассмотрения и равно «1» – если принимается к публикации, что обычно требует некоторых ее доработок; E_i и Q_i – вероятные положительный и отрицательный эффекты от публикации i -й статьи в отношении НП НЖВ.

При этом должны соблюдаться следующие ограничения:

(А) – в отношении суммарной трудоемкости работы НР

$$\left(\sum_{i=1}^I (t_i + \lambda_i T_i) \right) \leq T^*, \quad (2)$$

где t_i – трудоемкость первичного рассмотрения поступившего i -го материала; T_i – трудозатраты по его последующей подготовке к публика-

ции, включая работу НР с рецензентами; T^* – «лимит» трудозатрат для НР для номера НЖВ;

(В) – в отношении количества и объемов публикуемых работ

$$N_{\min} \leq \left(\sum_{i=1}^I \lambda_i \right) \leq N_{\max}; \quad (3)$$

$$V_{\min} \leq \left(\sum_{i=1}^I V_i \right) \leq V_{\max}, \quad (4)$$

где $N_{\min}$ и $N_{\max}$ – необходимое минимальное и максимальное количество статей в номере; $V_{\min}$ и $V_{\max}$ – минимальный и максимальный объем номера; V_i – объем i -й публикации;

(С) – в отношении рисков, в том числе связанных с необоснованным отказом в публикации; отзывом статей авторами в процессе их редакционной доработки; не выявленным своевременно плагиатом в статьях и пр.

$$\{R_i \leq R^*\}_{i=1 \dots I}; \quad (5)$$

$$\left(\sum_{i=1}^I R_i \right) \leq R^{**}, \quad (6)$$

где R^* и R^{**} – предельные риски для отдельных статей и их совокупности в номере.

(D) – в отношении вероятных длительностей первичного рассмотрения материалов и их доработки для публикации ($\{D_i\}_{i=1 \dots I}$)

$$\{D_i \leq D^*\}_{i=1 \dots I}, \quad (7)$$

где D^* – максимально допустимая длительность, например, определяемая сроками выпуска номера НЖВ.

Данная модель может быть обобщена в нескольких направлениях, в том числе в отношении переноса статей в последующие номера; учета разновременности поступления статей; включения в модель деятельности рецензентов; распределения работ между совокупностью НР и пр.

Особое внимание НР приходится уделять качеству русскоязычных и англоязычных аннотаций – прежде всего их информативности. Для НР трудоемкость обработки англоязычных статей обычно выше, чем русскоязычных – при этом необходимо хорошее знание английского языка, включая, нередко, весьма специфическую терминологию.

Наличие для НР возможностей работы по электронной почте с авторами, рецензентами, РИК, безусловно, ускорило подготовку статей для публикации в НЖВ и в определенной степени снизило трудоемкость их работы.

Вопросы нормативного регулирования такого дистанционного взаимодействия решаются в рамках правил, устанавливаемых самими редакциями. Применение современных средств формальной аутентификации документов (со стороны авторов, рецензентов, ИР) в виде электронных цифровых подписей (и т. п.) в НЖВ пока не практикуется. Поэтому в некоторых научных журналах от авторов требуется присылать распечатанные тексты статей с личными подписями – в том числе и на каждой странице.

Ряд НЖВ начал требовать представления «авторских справок», в том числе включающих результаты проверки на отсутствие плагиата; декларацию авторов о том, что работа не направлена параллельно для публикации в другие издания, не опубликована в них ранее и пр. Также в ряде журналов от авторов требуется представление актов экспертизы о возможности опубликования работ в открытой печати. Во времена СССР целью этих актов была не только защита государственной тайны, но и предотвращение преждевременного опубликования материалов, которые потенциально могли послужить для получения организацией авторских свидетельств на изобретения. Однако в настоящее время критерии отнесения информации к секретной значительно изменились, а вопросы целесообразности патентования изобретений и полезных моделей обычно решаются самими авторами.

Необходимость получения от авторов помимо самих статей дополнительных документов (включая копии квитанций об оплате), их контроля, учета и хранения безусловно увеличивает трудоемкость работы ИР НЖВ – даже при использовании современных информационных и телекоммуникационных технологий, специально разработанных баз данных.

Для *технических редакторов* редакционно-издательских комплексов вузов трудоемкость обработки статей для НЖВ определяется, в основном, следующими факторами: наличием таблиц и рисунков, требующих размещения на отдельных страницах – в том числе и в альбомной ориентации; качеством стилистики текстов статей, переданных в ИР; объемами необходимых технических коррективов – включая библиографические списки в статьях. В последнем отношении специально отметим, что для НЖВ, претендующих на попадание в Scopus и иные МРБ и СЦ, помимо русскоязычного списка литературы необходимо приводить

и второй список – с транслитерациями фамилий авторов, названий статей и источников на латиницу, а также с дополнительными переводами названий статей и источников на английский язык. Правила Scopus, Web of Science, иных МРБ и СЦ предусматривают форматы пунктуации в транслитерированных библиографических списках, значительно отличающиеся от требований ГОСТов. Поэтому авторы допускают достаточно много погрешностей в таких описаниях или не соблюдают эти правила вообще – даже если на страничках сайтов НЖВ приведены подробные примеры. Возлагать необходимость соответствующих коррективов в списках литературы к статьям на ИР – нецелесообразно. Как следствие – нагрузка, связанная с выполнением соответствующих исправлений, целиком ложится на технических редакторов ИР. Это может затягивать сроки обработки отдельных статей, выпуска номеров НЖВ в целом.

В отношении согласования всех поправок в статьях с авторами политика редакций и ИР разных вузов отличается. В целом ряде журналов в «правилах для авторов» прямо указывается, что «по инициативе редакции возможно внесение незначительных изменений, не затрагивающих суть работы», в том числе и без участия авторов. Формальное согласование всех поправок с авторами требуется исходя из содержания законодательства об авторском праве. Однако такие согласования могут приводить к затягиванию сроков выпуска номеров (особенно, если статья уже «заверстана» в номер НЖВ); необходимости переоформления «актов экспертизы» – если меняются заголовки работ; замены распечаток статей на бумаге с визами авторов; повторного получения рецензий – при изменении по инициативе редакций названий статей, их объемов; замены «авторских справок».

Для снижения трудоемкости обработки поступающих в НЖВ материалов большое значение может иметь размещение на страничках сайтов, связанных с НЖВ, не только подробных технических правил для авторов по оформлению статей, но и готовых шаблонов, в которых предусмотрены все необходимые форматы – включая размеры шрифтов для заголовков, аннотаций, основных текстов; различные отступы и пр.

В заключение статьи отметим, что в большинстве вузов ИР несут ответственность за соблюдение сроков выхода номеров НЖВ, их

полиграфическое качество, соблюдение правил в отношении оформления списков литературы и т. п. В то же время непосредственно за НП журналов отвечают, прежде всего, НР НЖВ.

Итак, сделаем *выводы*:

1) аппаратно-программные технологические возможности большинства крупных вузов России следует считать достаточными для регулярного выпуска НЖВ с высоким качеством;

2) цели и технологии работы НР НЖВ в различных вузах серьезно различаются, а тематическая направленность журналов обычно не координируется даже на внутрорегиональном уровне;

3) ВАК РФ не осуществляет утверждение не только членов редколлегий НЖВ, имеющих статус ваковских, но даже их главных редакторов и ответственных секретарей. Однако публикации в таких журналах учитываются при защитах диссертаций в Советах, персональный состав которых ВАКом утверждается;

4) отсутствие Советов главных редакторов для тематически близких журналов не обеспечивает необходимую координацию их деятельности, унификацию требований к публикуемым материалам. Такие Советы могли бы быть, в частности, организованы при академических НИИ, национальных исследовательских или федеральных университетах;

5) развитие информационных и телекоммуникационных технологий приводит к усилению конкуренции между научными журналами (включая и НЖВ) за качественные статьи и квалифицированных авторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Близнец, И. А. Плагиат и заимствования: правовой аспект / И. А. Близнец, К. Леонтьев // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. – 2013. – № 7. – С. 9–17.
2. Брумиштейн, Ю. М. Анализ моделей динамики интеллектуальных ресурсов и связанных с ними информационных процессов / Ю. М. Брумиштейн // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании. – Тюмень: Библиотечно-издательский комплекс ГОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», 2010. – С. 159–165.
3. Брумиштейн, Ю. М. Интеллектуальные ресурсы региона: системный анализ компонентной структуры, подходов к оценкам, моделей динамики // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12(139). С. 52–57.
4. Брумиштейн Ю. М., Кузьмина А. Б., Яковлева Л. В. Публикационная политика регионального вуза в контексте управления его научным имиджем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань, 2013, № 2. – С. 99–109.
5. Воронкова, О. В. Индексы цитирования и их повышение / О. В. Воронкова // Components of Scientific and Technological Progress. 2013. № 2 (17). С. 5–7.
6. 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.
7. Ефимова, Г. З. Анализ эффективности наукометрических показателей при оценке научной деятельности / Г. З. Ефимова // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 8. С. 101–108.
8. 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. – Режим доступа : http://elibrary.ru/projects/science_index/conf/2014/presentations/Eremenko_2014-12-16-1.pps. Дата доступа : 15.01.2015
9. Зацман, Г. Индексы научного цитирования [Электронный ресурс] / Г. Зацман. – Режим доступа : <http://polit.ru/article/2012/10/26/quotation/>. Дата и время размещения 26.10.2012; 14:38. Дата обращения – 03.01.2014.
10. 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
11. 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. – Режим доступа : http://elibrary.ru/projects/science_index/conf/2014/presentations/SciIndex_16122014.pdf. Дата доступа 15.01.2015.
12. Назаренко, М. А. Применение индекса Хирша как наукометрического показателя при построении модели образовательного учреждения в процессе регионализации / М. А. Назаренко // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 11–1. С. 133–134.
13. 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 (зарегистрировано Минюстом России 25.08.2014 № 33863). Вступил в силу 19.10.2014.
14. Полянин, А. Д. Недостатки индексов цитируемости и Хирша и использование других наукометрических показателей / А. Д. Полянин // Математическое моделирование и численные методы. 2014. Т. 1. № 1–1. – С. 131–144.
15. 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.
16. Хорошевский, В. Ф. Наукометрия в процессах поддержки принятия решений (Science Index 2014 аналитические инструменты и сервисы для оценки научной деятельности 15–16 декабря 2014 г РАНХиГС, г. Москва) [Электронный ресурс] / В. Ф. Хорошевский. – Режим доступа : http://elibrary.ru/projects/science_index/conf/2014/presentations/Horoshesky_Naukometria.pdf. Дата доступа: 15.01.2015.
17. 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 519.23

*А. Е. Годенко¹, И. Э. Симонова¹, В. П. Мишта¹, Т. Р. Игонина²***ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВолгГТУ**¹Волгоградский государственный технический университет²Московский институт радиотехники, электроники и автоматики

forstud@vstu.ru, simonova-vstu@mail.ru, t-igonina@mail.ru

В статье проведено исследование числа иностранных студентов, обучающихся в ВолгГТУ. Построены компьютерные модели. Выявлен ряд статистических закономерностей.

Ключевые слова: статистические модели, временные ряды, иностранные студенты.

*A. E. Godenko¹, I. E. Simonova¹, V. P. Mishra¹, T. R. Igonina²***INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF THE NUMBER OF FOREIGN STUDENTS, STUDING IN VSTU**¹Volgograd State Technical University²Moscow Institute of Radiotechnics, Electronics and Automatics

Statistical investigation of the number of foreign students, studying in VSTU, is done in the article. Computer models are constructed. Some statistical conformities are found.

Keywords: statistical models, time series, foreign students.

В работе исследовалась динамика изменения количества иностранных студентов, приезжающих на довузовский этап обучения на факультете подготовки иностранных специалистов (ФПИС) Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ).

Актуальность и важность изучения количества иностранных студентов, обучающихся в вузах, обусловлена, с одной стороны, тем, что доля иностранных студентов в общем количестве студентов вуза является одним из основных показателей, по которым оценивается деятельность вуза при его аттестации. В ВолгГТУ этот показатель составляет более 5 % и многократно превышает нижний нормативный уро-

вень, что свидетельствует о планомерной, систематической работе по привлечению и обучению иностранных студентов, проводимой в вузе. Кроме того, эта работа продвигает российское образование на мировой уровень и поднимает его престиж. С другой стороны, средства, поступающие за обучение иностранных студентов, являются важной составляющей бюджета вуза и региона.

В качестве показателя было взято число приглашений на обучение, оформляемых на ФПИС. Учет этого показателя ведется по месяцам и изучался за период с 2004 по 2014 год. График месячного числа приглашений X_t приведен на рис. 1.

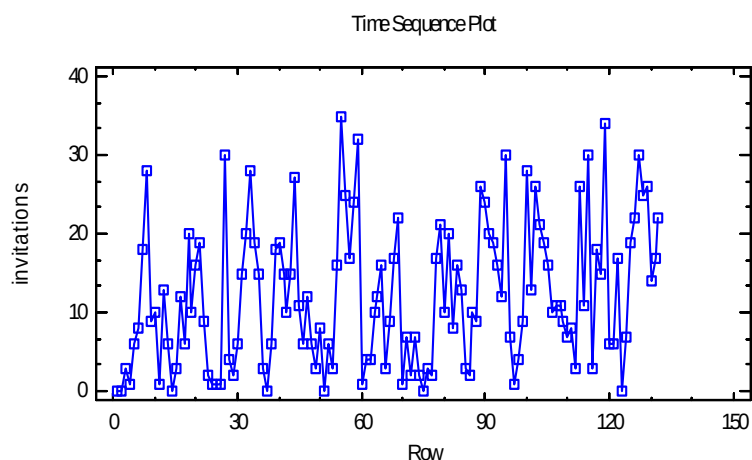


Рис. 1. Число приглашений по месяцам (2004–2014 гг.)

Визуальный анализ графика позволяет сделать вывод о существенной неоднородности этого процесса, об очень больших колебаниях числа приглашений. Число приглашений колеблется от 0 до 35 за месяц. Однако методы математической статистики позволяют выявлять скрытые закономерности и для таких неоднородных процессов.

При изучении и анализе информации в тех ситуациях, когда доля неопределенности и случайности велика, исследователь должен уметь строить статистические (стохастические) модели. Это позволяет выявить закономерности на фоне случайностей и получить обоснованные статистические прогнозы. Такой анализ становится основой для принятия эффективных управленческих решений.

Современные статистические ППП (SPSS, Statgraphics, EViews, Статистика) позволяют осуществлять профессиональную обработку статистической информации, выявлять скрытые закономерности в различных социальных областях – экономике, маркетинге, социологии и др. (см., например, [1], [2]). Для проведения исследований авторы использовали профессиональный статистический пакет Statgraphics (триальная версия). В ВолгГТУ методы компьютерного анализа статистических данных широко используются при проведении прикладных исследований (см. [3–6]).

Таблица 1

Среднее число приглашений в 2004–2014 гг. и 95 % доверительные интервалы

Год	Среднее число	Нижняя граница	Верхняя граница
2004	8,08	4,46	11,71
2005	8,67	5,04	12,29
2006	12,0	8,38	15,62
2007	12,08	8,46	15,71
2008	14,17	10,54	17,79
2009	8,92	5,29	12,54
2010	9,92	6,29	13,54
2011	14,83	11,21	18,46
2012	14,08	10,46	17,71
2013	14,17	10,54	17,79
2014	17,08	14,46	20,71

При анализе числа приглашений на первом этапе были рассчитано среднемесячное число приглашений, получаемых в каждом году. Для

этого был проведен однофакторный дисперсионный анализ исходных данных, где в качестве фактора взят год наблюдения. Сами среднемесячные значения, а также 95 % доверительные интервалы представлены в табл. 1. График представлен на рис. 2. Заметим, что среднее число приглашений за весь период равно 12,18; минимальное среднее было 8,08 в 2004 г., максимальное – 17,08 – достигнуто в 2014 г. То есть налицо существенный рост среднего числа приглашений, несмотря на очень большие колебания по годам и месяцам.

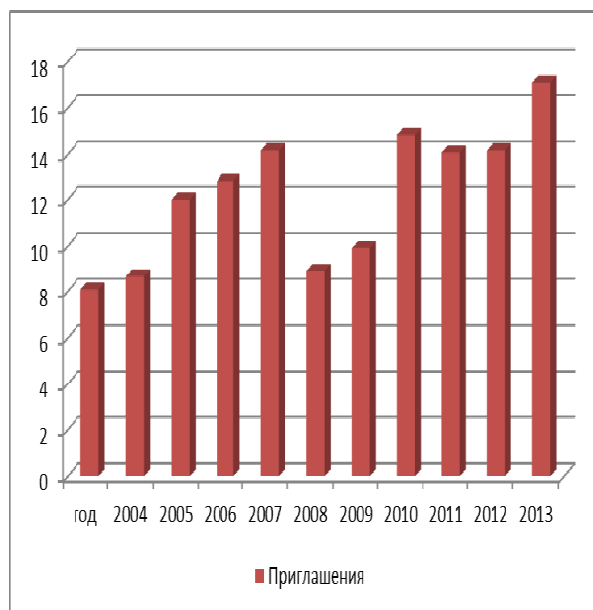


Рис. 2. Среднемесячное число приглашений в 2004–2014 гг.

Для дальнейшего анализа данных, приведенных в таблице, построена модель линейной регрессии (см. рис. 3). Она позволяет выявить тренд (основную тенденцию развития процесса), а также колебания около тренда. Мы можем выделить период роста среднего числа приглашений в 2004–2007 годах, существенное снижение числа приглашений в 2008 и 2009 годах и стабильное увеличение среднего числа приглашений в 2010–2013 годах.

Так, за 2014 г. среднее число приглашений выросло на 120 % за год и достигло 17,2.

Проанализируем причины, вызвавшие столь существенные колебания. Относительно высокие показатели в 2006–2008 гг. (см. табл. 1) связаны с приездом больших групп китайских студентов в этот период. В связи с изменением ситуации на мировом образовательном рынке в 2009, 2010 гг. китайских студентов приехало гораздо меньше. В 2011–2014 гг. положение существенно улучшилось.

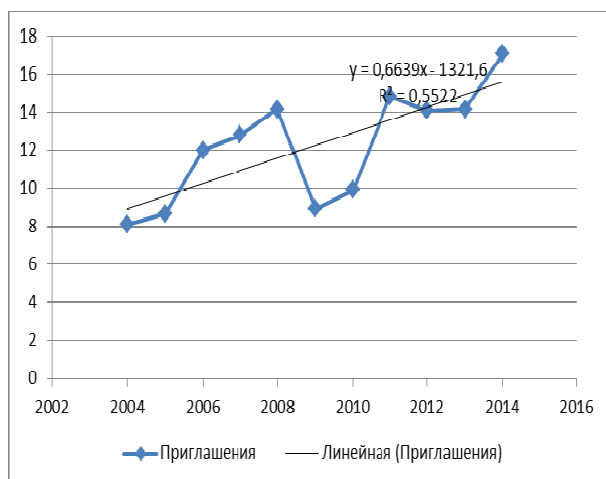


Рис. 3. Модель линейной регрессии

Такие положительные результаты были вызваны сопутствующей профориентационной работой, большой работой на образовательных выставках, а также активным взаимодействием с рекрутинговыми агентствами. Важную роль сыграло также активное привлечение к агитационной работе иностранных студентов, уже обучающихся в ВолГГТУ, и выпускников университета.

Вторая часть исследования была посвящена изучению колебаний числа приглашений по месяцам и выявлению причин, вызывающих эти колебания.

На рис. 4 представлены колебания среднего числа приглашений по месяцам, а также 95 % доверительные интервалы. Такого рода колебания называются сезонными. Сами значения приведены в табл. 2.

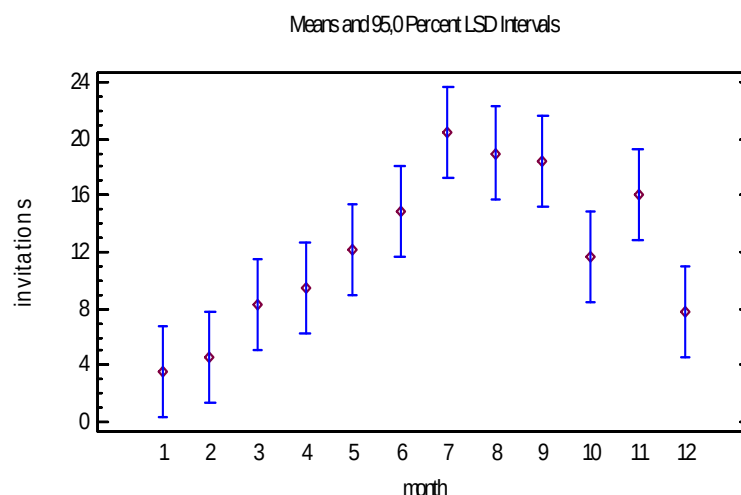


Рис. 4. Среднее число приглашений по месяцам

Таблица 2

Среднемесячные показатели

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
3,64	4,64	8,27	9,45	12,18	14,82	20,36	19	18,36	11,64	16,09	7,73

Видим, что наибольшее число приглашений оформляется с июля по сентябрь, а также в ноябре. Тем самым выявлены месяцы, когда удастся провести наиболее эффективную и результативную работу по набору будущих студентов.

Проведенный анализ позволил отследить динамику изменения числа приглашений, оформляемых на ФПИС ВолГГТУ. Для проведения исследования авторами собраны данные о числе приглашений для иностранных студентов, приезжающих на довузовский этап обучения в ВолГГТУ, за 11 лет (121 месяц). Проведено статистическое исследование этих данных с ис-

пользованием ППП Statgraphics. Методы дисперсионного и регрессионного анализа, использованные в работе, позволили построить компьютерные модели и выявить ряд статистических закономерностей.

В процессе исследования показано, как проходил рост среднегодовых показателей, который за указанный период составил более 210 %. Для месячных показателей рассчитаны их средние значения и построены 95 % доверительные интервалы. Выявлены сезонные колебания.

Полученные результаты используются на ФПИС ВолГГТУ для улучшения работы по прив-

лечению новых студентов. Использование выявленных в результате статистического анализа закономерностей создает условия для стабильной работы ФПИС. В свою очередь, это позволяет обеспечить стабильность набора иностранных студентов для обучения по основным образовательным программам бакалавриата, магистратуры и аспирантуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наследов, А. SPSS 19 профессиональный статистический анализ данных / А. Наследов. – М.-СПб.: Питер, 2011. – 400 с.
2. Бююль, А. SPSS: искусство обработки информации: пер. с нем. / А. Бююль, П. Цефель. – М.-СПб.: ДиаСофт, 2002. – 602 с.
3. Камаев, В. А. Анализ социально-экономического развития муниципальных образований на примере Волгоградской области с использованием моделей DATA MINING / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. С. Ал.-Катабери // Известия

Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 8. № 6 (66). С. 103–106.

4. Лунева, И. Г. Использование информационных технологий для повышения качества математического образования в техническом вузе / И. Г. Лунева, И. Э. Симонова // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 10 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе»; вып. 8). – С. 78–80.

5. Симонова, И. Э. Применение моделей временных рядов в стратегическом управлении предприятиями региона / И. Э. Симонова, А. Б. Симонов, И. А. Тарасова // Управление стратегическим потенциалом регионов России: методология, теория, практика. Мат.-лы Всерос. науч.-практ. конф. (Россия, г. Волгоград, 16–18 апреля 2014 г.) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – С. 209–212.

6. Савченко, О. А. Применение методов анализа рядов динамики в стратегическом управлении предприятием / О. А. Савченко, А. Б. Симонов, И. Э. Симонова // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях. Сб. науч. статей IV Международной научно-практической конференции (Россия, г. Курск, 04–05 июня 2014 г.) / Курск, Юго-Запад. ГУ, 2014. – С. 273–277.

УДК 681.51, 004.31, 004.4

В. А. Егунов, А. Г. Мелеинов

ПЛАТФОРМЕННО-НЕЗАВИСИМАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ ДОМОМ»

Волгоградский государственный технический университет

vegunov@mail.ru, meleinov90@mail.ru

Рассматривается вопрос разработки серверной части системы управления «умным домом», не зависящей от реализации сети исполнительных устройств.

Ключевые слова: умный дом, управление умным домом, сеть датчиков, сеть Ethernet, сеть ZigBee.

V. A. Egunov, A. G. Meleynov

PLATFORM-INDEPENDENT CONTROL SYSTEM «SMART HOUSE»

Volgograd State Technical University

Discusses the development of a backend management system «smart house», not implementation dependent network devices.

Keywords: smart house, smart house management, network of sensors, Ethernet network, ZigBee network.

«Умный дом» (Smart House) – это интеллектуальная система управления, обеспечивающая согласованную и автоматическую работу всех инженерных сетей дома. Такая система грамотно распределяет ресурсы, снижает эксплуатационные затраты и обеспечивает понятный интерфейс контроля и управления оборудованием. В связи с этим задача разработки «умных домов» в последнее время приобретает все большую актуальность. В качестве объекта исследования в данной работе выбрана разработка систем управления «умным домом».

Любой «умный дом» характеризуется наличием системы автоматизации здания. Это ком-

плекс программного обеспечения для управления оборудованием – мониторинга, оптимизации и администрирования. Целью автоматизации здания является эффективное и безопасное обслуживание всей техники жилого помещения или другого сооружения. Управление осуществляется при помощи системы, которая реагирует на возникновение заданных программой условий. Особенность автоматизации зданий заключается в возможности одновременного и точного учета всех важнейших факторов: контроль потребления воды, электроэнергии, температуры, источников бесперебойного питания и т. д.

Систему управления «умным домом» можно разделить на серверную часть и сеть исполнительных устройств. Под серверной частью здесь понимаем пульт управления системой, и функционирующее на нем программное обеспечение. В качестве пульта управления может использоваться персональный компьютер, мобильный телефон, специально разработанное нестандартное устройство [1] и т. д. Сеть исполнительных устройств – набор датчиков и механизмов, управляющих оборудованием в доме, а также блоки управления, связанные с данными датчиками и механизмами.

Основным недостатком существующих систем является неделимость и непереносимость этих двух частей. Приведем несколько примеров для того, чтобы пояснить данную ситуацию. Все коммерческие системы управления «умными домами» реализуют управление исполнительными устройствами через сеть определенного стандарта (возможно одновременное использование нескольких видов сетей). Например, если в доме реализована система управления, которая использует проводную технологию для построения сети исполнительных устройств (например, Ethernet), то в дальнейшем для модернизации данной системы придется прокладывать дополнительные кабели, так как она не поддерживает беспроводные сети. Гораздо удобнее в данном

случае было бы использовать мультиплатформенную сеть исполнительных устройств. Предметом исследования в настоящей работе и является разработка платформенно-независимой системы управления «умным домом».

Рассмотрим компоненты системы управления. Аппаратная реализация серверной части не оказывает влияния на тип сети исполнительных устройств, поэтому основное внимание уделим функционирующему на ней программному обеспечению (ПО). Данное ПО должно выполнять следующие функции:

- обеспечение интерфейса пользователя;
- взаимодействие с базой данных (набор помещений, набор устройств и датчиков, сценарии управления и т. д.);
- взаимодействие с сетью исполнительных устройств (получение информации от датчиков и передача команд механизмам, осуществляющим управление оборудованием).

Реализация первых двух функций не зависит от типа сети исполнительных устройств; от типа сети зависит реализация только третьей функции серверного ПО.

В рамках выполнения магистерской диссертации была разработана программа для серверной части системы управления «умным домом», которая не зависит от типа сети исполнительных устройств.



Рис. 1. Часть диаграммы пакетов ПО серверной части системы управления «умным домом»

На рис. 1 представлена часть диаграммы пакетов ПО серверной части системы управления «умным домом». На ней не показаны пакеты, необходимые для реализации пользовательского интерфейса и работы с базой данных. Пакет Server содержит классы, формирующие запросы к классам пакета Drivers в соответствии с действиями пользователя и сохраненными сценариями управления. Данные запросы имеют обобщенный характер и не зависят от типа сети исполнительных устройств.

В свою очередь, классы пакета Drivers формируют команду и направляют ее в требуемую сеть с использованием классов пакета Network.

Для максимальной универсализации блока серверного ПО, взаимодействующего с оборудованием сети, были разработаны команды управления оборудованием, формат которых не зависит от типа сети.

Тип сети, в которую будет отправлена команда, определяется на этапе исполнения программы по маркерам, которые передаются вместе с обобщенными запросами от классов пакета Server.

Формирование команды в сеть исполнительных устройств можно проиллюстрировать диаграммой последовательностей, представленной на рис. 3.

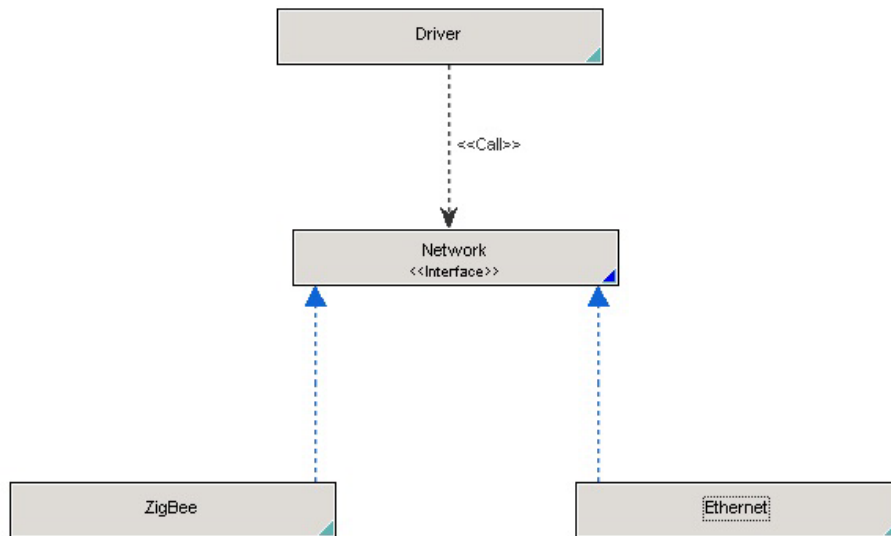


Рис. 2. Часть диаграммы классов ПО серверной части системы управления «умным домом», иллюстрирующая использование различных сетей исполнительных устройств

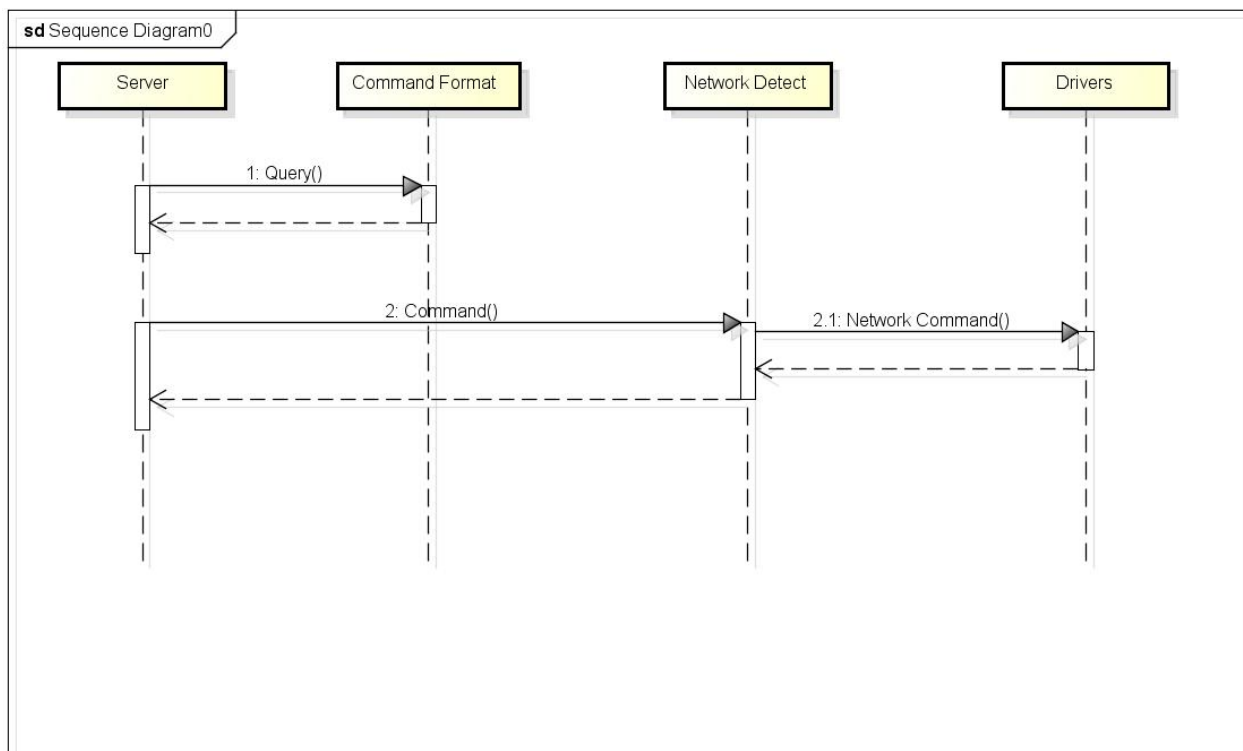


Рис. 3. Диаграмма последовательностей, иллюстрирующая отправку команды в сеть исполнительных устройств

В общем случае последовательность действий следующая:

- сервер (Server), реагируя на запросы пользователя или реализуя сценарии управления, формирует запрос (query) на формирование команды (Command Format); данная команда является платформенно-независимой и содержит набор инструкций для блока управления в сети исполнительных устройств;
- получив команду в требуемом формате,

сервер (Server) передает ее в модуль (Network Detect), «знающий» физическую реализацию сети исполнительных устройств;

- данный модуль (Network Detect) формирует низкоуровневую команду и передает ее в сеть исполнительных устройств (Drivers);

– модуль отправки команды в сеть исполнительных устройств (Drivers) отправляет команду и возвращает статус завершения операции в модуль Network Detect;

– модуль Network Detect возвращает статус завершения операции серверу (Server).

Модель OSI

Данные	Прикладной доступ к сетевым службам
Данные	Представления представление и кодирование данных
Данные	Сеансовый Управление сеансом связи
Блоки	Транспортный безопасное и надёжное соединение точка-точка
Пакеты	Сетевой Определение пути и IP (логическая адресация)
Кадры	Канальный MAC и LLC (Физическая адресация)
Биты	Физический кабель, сигналы, бинарная передача данных

Рис. 4. Модель сетевого взаимодействия OSI

Обобщим использование сетевых передач в нашей системе с использованием модели сетевого взаимодействия OSI, представленной на рис. 4.

На прикладном уровне и уровне представления происходит формирование платформенно-независимой команды (запрос query() на рис. 3), далее на сеансовом уровне происходит инициализация сеанса связи для передачи команды в сеть исполнительных устройств (запрос Command() на рис. 3). Данные три уровня инкапсулированы в классах пакета Drivers (рис. 1), что обеспечивает мультиплатформенность разрабатываемой системы. Реализация остальных уровней модели инкапсулирована в классах пакета Network.

Программное обеспечение блока управления в сети исполнительных устройств построено по такому же принципу. Процесс получения из сети и исполнения полученной команды иллюстрируется диаграммой последовательностей, представленной на рис. 5.

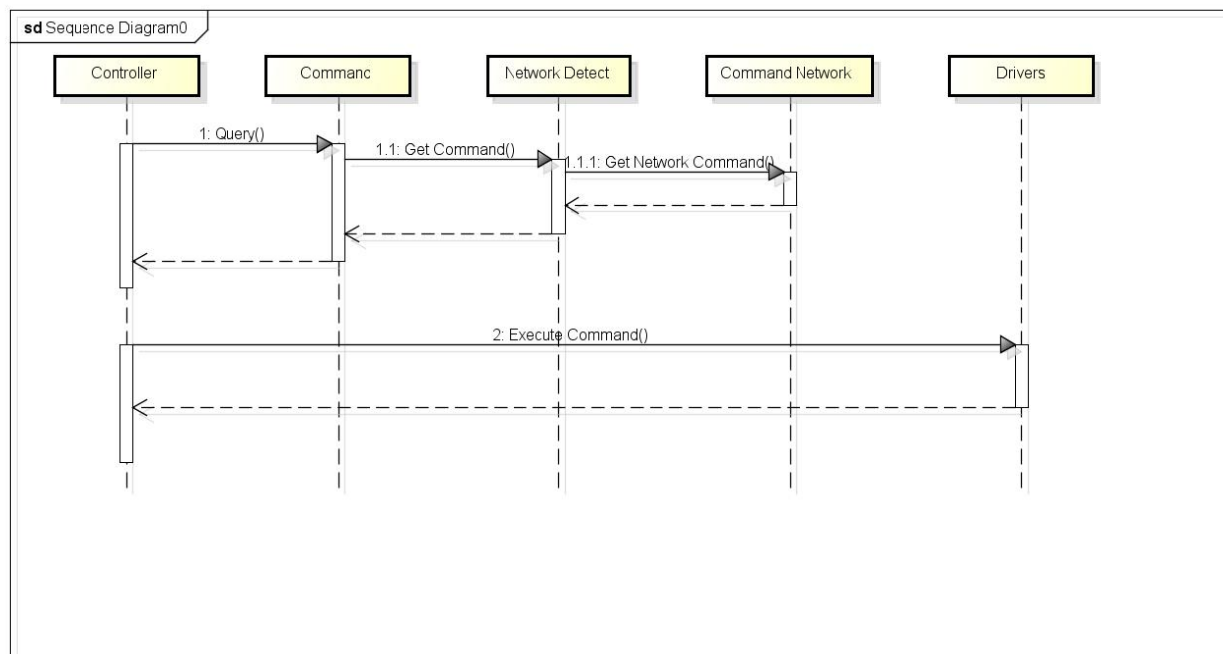


Рис. 5. Диаграмма последовательностей, иллюстрирующая исполнение команды блоком управления в сети исполнительных устройств

В общем случае последовательность действий следующая:

- управляющий модуль программы (Controller) отправляет запрос (query) к модулю Command;
- модуль Command в зависимости от физической реализации сети исполнительных устройств отправляет запрос соответствующему методу модуля Network Detect, который осуще-

ствяет физический прием команды из сети (Command Network);

- полученная команда возвращается в управляющий модуль программы (Controller);
- далее команда отправляется на исполнение (Drivers); опрашиваются датчики (в этом случае формируется ответ и отправляется в сеть) или формируется управляющее воздействие на исполнительные устройства;

– в управляющий модуль программы (Controller) возвращается статус исполнения команды.

На данный момент реализовано управление устройствами в сетях Ethernet и ZigBee [2]. Число поддерживаемых сетей исполнительных устройств может быть несложно расширено путем разработки классов пакета Network (на данный момент разработаны два класса – Ethernet и ZigBee).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Егунов, В. А. Управление «умным домом» с использованием беспроводного канала связи / В. А. Егунов, Х. А. Ал-Саади // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 20. № 6(133). С. 73–75.

УДК 004.82

А. А. Ерофеев, А. М. Дворянкин, М. Б. Кульцова

ИЗВЛЕЧЕНИЕ И СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ

Волгоградский государственный технический университет

yerofeyev.aa@gmail.com, dvam@vstu.ru, marina.kultsova@mail.ru

В статье рассмотрены различные аспекты процесса принятия решений по управлению водными ресурсами Волго-Ахтубинской поймы. Каждый аспект включает в себя цели заинтересованных сторон, атрибуты, которые используются для описания целей, и возможные значения этих атрибутов. Также описаны различные альтернативные управляющие воздействия, которые могут быть применены для улучшения ситуации в пойме. В заключение сформулированы требования к модели представления знаний для разработки базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами поймы.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, управление водохозяйственными системами, Волго-Ахтубинская пойма, системный анализ, извлечение знаний, структурирование знаний, онтологическая модель представления знаний.

A. A. Yerofeyev, A. M. Dvoriankin, M. B. Kultsova

CAPTURING AND ACQUISITION OF KNOWLEDGE IN WATER MANAGEMENT OF VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN

Volgograd State Technical University

In this paper the different aspects of decision making in water management of Volga-Akhtuba floodplain are considered. Each aspect includes aims of stakeholders, attributes that are used for description of the aims and possible values of these attributes. Also it describes different alternate actions that can be performed on floodplains to improve situation from different points of view. In conclusion, the requirements to knowledge representation model are identified for the development of the knowledge base of intelligent decision support system in floodplain water management.

Keywords: decision making support, water management, Volga-Akhtuba floodplain, system analysis, knowledge capturing and acquisition, ontological knowledge representation model.

Введение

В настоящее время водные ресурсы используются во многих отраслях хозяйственной деятельности – рыбоводстве, водном транспорте, промышленном и коммунальном водоснабжении, в сфере гидроэнергетики, а также в рекреационных целях. Решения по управлению водными ресурсами, как и другие решения по рациональному использованию окружающей среды, зачастую принимаются властями непрозрачно, без учета целей всех заинтересованных сторон и не сопровождаются информацией о том, какие прогнозы и риски были рассмотрены в ходе принятия решений. При этом заинтере-

сованные стороны имеют разные точки зрения на проблему и предлагают часто взаимоисключающие и противоречивые альтернативы. Поэтому поддержка принятия согласованных и обоснованных решений по управлению водохозяйственными системами является актуальной задачей.

Ярким примером такой сложной системы является Волжско-Камский каскад гидроузлов (ВКК) на реке Волга – 11 гидроузлов различной мощности распределены по 3500 км крупнейшей реки в Европе. Среди прочих водохранилищ и плотин выделяется Волжская ГЭС, так как она является последней по течению реки.

Эта особенность дает большой простор для решения экологических проблем Волго-Ахтубинской поймы (ВАП), так как нет необходимости учитывать интересы других водохранилищ при расчете графика сбросов.

Несмотря на очевидную пользу гидроэнергетики, использование водохранилищ негативно сказывается на экологии. Известны случаи засухи в ВАП; страдают от неправильного сброса и птицы, использующие пойму как место для отдыха во время сезонных миграций; увеличивается средний возраст дубрав, что означает общее старение леса. Еще больший экологический урон наносят окружающей среде пожары, причина которых также в недостаточном обводнении ВАП.

Подводя итог, можно сказать, что Волго-Ахтубинская пойма нуждается как в усовершенствовании системы управления сбросами, так и в прочих мерах поддержания ВХС.

1. Извлечение знаний по управлению ВХС

Главной целью функционирования системы поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами поймы является поддержка процесса выработки комплекса мер по консервации и развитию Волго-Ахтубинской поймы в соответствии с целями оптимального водохозяйствования, защиты от наводнений, сельского хозяйства, рыболовства, защиты окружающей среды, туризма и судоходства. Решения принимаются как на глобальном уровне – для всей поймы в целом в виде руководящих принципов и действий, так и на локальном уровне – для отдельных участков акватории и территории природного парка в виде конкретных действий по изменению территорий и способов хозяйствования на них. Решения принимаются в краткосрочной (несколько раз в год), среднесрочной (раз в 3–5 лет) и долгосрочной (раз в 10–20 лет) перспективах. Первым этапом при разработке подобных систем является извлечение и структурирование экспертных знаний. Этот этап был выполнен в соответствии с методологией, предложенной в работах [1–4], которая включает в себя следующие шаги: фиксация проблемы; составление списка стейкхолдеров; выявление целей, подцелей и атрибутов; генерирование альтернатив.

Фиксация проблемы. Пойма расположена на территории Среднеахтубинского, Светлоярского и Ленинского районов Волгоградской об-

ласти. Территория природного парка имеет кластерный характер и состоит из двух кластеров, не граничащих друг с другом. Административным центром территории природного парка является рабочий поселок Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области. ВАП разделена на четыре зоны: природоохранного режима, рекреации, буферную зону, агрохозяйственную зону. На территории ВАП находятся следующие природные водные объекты: 2 реки, 2 тракта, 3 рукава, 4 затона, 4 протока, 120 ериков, 190 озер, болота. Среди неприродных объектов поймы 5 пристаней, 15 хуторов, 4 города, 77 поселков, 2 урочища, 11 прочих видов поселений. На территории природного парка обитают редкие и исчезающие биологические виды (виды, находящиеся под угрозой исчезновения, уязвимые виды с крайне невысокой численностью, реликтовые растения): 8 видов растений, 19 видов птиц, 5 видов рыб, 1 вид моллюсков, 1 вид пиявок, 20 видов насекомых. Одна из самых критичных проблем – нерациональное управление водохозяйственной системой Волго-Ахтубинской поймы – и будет рассмотрена в данной статье.

Составление списка стейкхолдеров. При управлении пойменными землями власти должны учитывать интересы множества заинтересованных сторон, преследующих зачастую противоположные цели. Был сформирован список сторон, чьи интересы соприкасаются при использовании водохозяйственной системы Волго-Ахтубинской поймы, который содержит более 20 правительственных и частных организаций и ассоциаций, в том числе: РусГидро – энергетическая компания, владеющая ГЭС и устанавливающая график сбросов; Волгоградский речной порт, владеющий речным транспортом области; турбазы и дачные хозяйства; жители населенных пунктов на территории ВАП; сельскохозяйственные предприятия и фермерские хозяйства; Комитет благоустройства и охраны окружающей среды; Нижневолжрыбвод; муниципалитеты административно-территориальных образований и др.

Выявление целей, подцелей и атрибутов. В результате экспертного анализа списка стейкхолдеров были выделены следующие аспекты использования водохозяйственной системы и соответствующие им цели и подцели, отражающие различные группы интересов (табл. 1).

Таблица 1

Цели, подцели и атрибуты

Подцель	Атрибуты
1. Защита окружающей среды	
1.1. Сохранение ареалов расселения животных	$S_{animal\ i\ yt}$ – площадь ареала расселения вида животных i в период моделирования y, t , км ²
1.2. Сохранение и увеличение популяции животных	$Q_{animal\ i\ yt}$ – популяция вида животных i в период моделирования y, t
1.3. Увеличение биологического разнообразия животных	$\Delta N_{animal\ yt}$ – изменение количества видов животных, произошедшее в период моделирования y, t
1.4. Сокращение числа пожаров	$N_{fires\ i\ yt}$ – число пожаров, произошедших на участке моделирования i в период моделирования y, t
1.5. Предотвращение осушения водохранилища	H_{min} – уровень мертвого моря; для Волгоградского водохранилища установлено значение 12 м H_{yt} – фактический уровень Волгоградского водохранилища в год y и период t , м
2. Гидроэнергетика	
2.1. Сокращение холостых сбросов	$V_{idle\ yt}$ – общий объем холостых сбросов в год y в период моделирования t , м ³
2.2. Поддержание НПУ водохранилища	H_{normal} – НПУ Волгоградского водохранилища (15 м)
2.3. Сохранение плотины в рабочем состоянии	ΔV_{yt} – разница в уровнях сброса из водохранилища между текущим периодом (y, t) и прошлым (м ³); V_{yt} – объем сбросов из водохранилища в год y в период t (м ³)
2.4. Увеличение вырабатываемой энергии	J_y – выработка электроэнергии Волжской ГЭС за год y , ГВтч
3. Рыболовство	
3.1. Увеличение популяции рыбы	a_{31} – экспертная оценка по шкале {«Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо»}
3.2. Увеличение биологического разнообразия рыбы	a_{32} – экспертная оценка по шкале {«Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо»}
4. Защита от наводнений	
4.1. Предотвращение переполнения плотины	H_{max} – форсированный подпорный уровень, максимально допустимый уровень воды, для Волгоградского водохранилища установлено значение 16,3 м
4.2. Сохранение плотины в рабочем состоянии	V_{yt} – объем сбросов из водохранилища в год y в период t (м ³)
5. Судоходство	
5.1. Поддержание минимального необходимого для судоходства уровня воды	H_{nav} – минимально возможный уровень для осуществления навигации в ВАП, м; $H_{river\ i\ yt}$ – уровень воды в ВАП на участке моделирования i в период моделирования t , в год y , м
6. Сельское и коммунальное хозяйство	
6.1. Обводнение поймы весной	a_{61} – экспертная оценка по шкале {«Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо»}
6.2. Обеспечение орошения	a_{62} – экспертная оценка по шкале {«Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо»}
6.3. Сокращение объемов подтопления территорий	$S_{sink\ yt}$ – площадь территорий ВАП, подтопленная в период моделирования t года y , м ²
6.4. Удовлетворение потребностей животноводства в воде	a_{64} – экспертная оценка по шкале {«Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо»}
6.5. Обеспечение населения водой	C_{yit} – потребляемый населением объем воды на участке i в год y и период t , м ³
7. Туризм	
7.1. Повышение прибыли за счет увеличения площади пригодных для отдыха земель	$\Delta S_{new\ recreation\ yt}$ – прирост площади пригодных для отдыха земель в период моделирования t в год y ; $S_{recreation\ yt}$ – площадь пригодных для отдыха земель в период моделирования t в год y , м ²

Генерирование альтернатив. Для различных значений атрибутов выделены решения/действия, которые можно предпринять для улучшения состояния системы. Для каждого из

альтернативных действий выделены: частота принятия решения, сезон реализации решения и список атрибутов, на которые действие косвенно влияет (табл. 2).

Таблица 2

Альтернативы, сгруппированные по аспектам управления

Подцель	Атрибуты
Защита окружающей среды	
A2. Расчистка основных ериков	b_2 – суммарная ширина расчищенных ериков, м
A3. Выявление и ликвидация самовольно возведенных дамб и плотин	b_3 – суммарная ширина ликвидированных дамб и плотин, м
A4. Искусственное увеличение биологического разнообразия ВАП	b_4 – количество новых видов, привнесенных в пойму
A7. Использование насосных станций для подкачки воды в ВАП	b_7 – суммарный объем воды, перекачанный станцией, м ³
Гидроэнергетика	
A1. Регулирование сбросов воды ГЭС	b_1 – экспертная оценка по шкале {Очень слабое, слабое, среднее, сильное, очень сильное}
A6. Возвращение отдельных территорий в парк	$b_{6.1}$ – площадь, возвращенная в парк, м ² $b_{6.2}$ – количество биологических видов, поселившихся на возвращенной территории
Рыболовство	
A1. Регулирование сбросов воды ГЭС	b_1 – экспертная оценка по шкале {Очень слабое, слабое, среднее, сильное, очень сильное}
A4. Искусственное увеличение биологического разнообразия ВАП	b_4 – количество новых видов, привнесенных в пойму
Судоходство	
A7. Использование насосных станций для подкачки воды в ВАП	b_7 – суммарный объем воды, перекачанный станцией, м ³
Сельское и коммунальное хозяйство	
A3. Выявление и ликвидация самовольно возведенных дамб и плотин	b_3 – суммарная ширина ликвидированных дамб и плотин, м
A5. Сооружение новых и поддержание в рабочем состоянии существующих запорных дамб	$b_{5.1}$ – общая протяженность новых дамб, м $b_{5.2}$ – общая протяженность дамб, на которых проводились работы по восстановлению и поддержанию, м
Туризм	
A6. Возвращение отдельных территорий в парк	$b_{6.1}$ – площадь, возвращенная в парк, м ² $b_{6.2}$ – количество биологических видов, поселившихся на возвращенной территории

2. Требования к модели представления знаний

Управление водохозяйственной системой Волго-Ахтубинской поймы представляет собой непрерывный процесс реализации управляющих воздействий, с одной стороны, с целью обеспечения наиболее благоприятных условий хозяйствования, с другой – предотвращения разрушительных последствий паводков и со-

хранения экологического баланса поймы. По отношению к объекту управления – водохозяйственной системе поймы, существуют несколько хозяйствующих субъектов, преследующих взаимоисключающие цели (например, гидроэнергетики, экологи, туристические компании, фермеры и др.). Множество хозяйствующих субъектов, заинтересованных в управленческом решении, формирует набор аспектов (каждому

хозяйствующему субъекту соответствует один аспект), по которым оценивается ситуация принятия решения. Для управления водохозяйственной системой применяется множество управляющих воздействий, каждое из которых может быть направлено на изменение физических и биологических характеристик различных объектов поймы. Каждая альтернатива состоит из одного или нескольких управляющих воздействий; в силу сложности биологической системы управляющие воздействия при совместной реализации сложным образом влияют друг на друга, что может давать как положительный, так и отрицательный синергетический эффект.

Знания, необходимые для всестороннего описания ВАП и процесса управления ВАП как ВХС, имеют разнородный характер: используются и количественные показатели, и качественные оценки. Также необходимо отметить, что знания экспертов в предметной области слабо формализованы и имеют разную природу – экспертные правила, качественные зависимости и знания о ранее решенных задачах, аналогичных данной. Модель представления знаний в рассматриваемой предметной области должна удовлетворять следующим требованиям: поддерживать представление знаний различной природы и возможность реализации различных типов рассуждений на знаниях и их интеграции; обеспечивать возможность хранения разнородных знаний в единой базе знаний. Этим требованиям отвечает онтологическая модель представления знания, которую планируется использовать в дальнейшем при создании базы знаний интеллектуальной системы.

Заключение

В данной статье рассмотрены начальные этапы системного анализа проблемы нерационального управления водохозяйственной системой ВАП: фиксация проблемы, выявление заинтересованных сторон, целей, подцелей, ат-

рибутов и генерирование альтернатив. Практическая ценность данной разработки состоит в учете специфики ВАП, а также системном подходе к оценке состояния поймы. Разработанную систему оценки состояния поймы планируется в дальнейшем использовать как основу для создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению водохозяйственной системой поймы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Agrell, J. An Interactive Multicriteria Decision Model for Multipurpose Reservoir Management: the Shellmouth Reservoir / J. Agrell, Barbara J. Lence, A. Stam // JOURNAL OF MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS. – 1998. – № 7. – С. 61–86.
2. Capturing expert knowledge for threaten species assessments: a case study using NatureServe conversation status ranks / [T. J. Regan и др.] // Acta Oecologica. – 2004. – № 26. – С. 95–107.
3. Reichert, P. Concepts of decision support for river rehabilitation / P. Reichert, M. Borsuk, M. Hostmann et al. // Environmental Modelling & Software. – 2007. – № 22. – С. 188–201.
4. Капши, А. С. Интеллектуальная система поддержки принятия решений на основе рассуждений по прецедентам (на примере задачи управления водохозяйственной системой) : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 – Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2011. – 238 с.
5. Кавешников, Н. Т. Менеджмент водохозяйственного производства и охраны окружающей среды : учеб. / Н. Т. Кавешников. – М.: КолоС, 2008. – 309 с.
6. Кузнецов, П. И. Научное обоснование антропогенной нагрузки в агроландшафтах нижней Волги, обеспечивающей сохранение биоразнообразия водно-болотных угодий / П. И. Кузнецов // Современное состояние водных ресурсов нижней Волги и проблемы их управления : матлы науч.-практ. конф. (18–19 ноября 2009 г., г. Астрахань). – Астрахань, 2009. – С. 89–96.
7. Разработка онтологической базы знаний для интеллектуальной системы поддержки принятия решений в сфере управления водохозяйственной системой / [А. М. Дворянkin и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 6. № 6(54). С. 95–99.
8. Тарасенко, Ф. П. Прикладной системный анализ : учеб. пособие / Ф. П. Тарасенко. – М. : КНОРУС, 2010. – 224 с.
9. Управление водохозяйственными системами : учеб. / Р. Г. Мумлазде [и др.] – М. : КНОРУС, 2013. – 208 с.

УДК 004.942:336.761

*А. В. Петрухин, А. С. Стешенко***КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ БИРЖЕВЫХ ДАННЫХ
О ДИНАМИКЕ ФОНДОВОГО РЫНКА****Волгоградский государственный технический университет**

htr753@list.ru

Статья посвящена вопросу эффективного построения модулей визуализации данных о динамике фондового рынка. Рассмотрены различные типы формализованных отображений информации, получаемой с биржи посредством торговых терминалов. Показаны проблемы, возникающие при построении специализированных модулей биржевой визуализации. Предлагаются методики построения подсистем визуализации с использованием библиотек OxyPlot и matplotlib, упрощающие процесс построения соответствующих программных приложений.

Ключевые слова: визуализация, трейдинг, биржевые графики, японские свечи, интерфейс, технические индикаторы, фондовый рынок.

*A. V. Petrukhin, A. S. Steshenko***COMPUTER VISUALIZATION OF STOCK EXCHANGE DATE
RELATED TO STOCK MARKET DYNAMICS****Volgograd State Technical University**

The article focuses on the effective creation of software modules for visualization of stock market dynamics. The different kinds of formalized presentation of information received via stock exchange terminal are shown. Some challenges in the process of construction of the specialized modules for stock exchange data visualization are examined. The methods of software modules for visualization creating using the OxyPlot and matplotlib libraries are offered. These methods simplify the constructing process of the stock exchange oriented software applications.

Keywords: visualization, trading, stock charts, candlesticks, interface, technical indicators, stock market.

Для эффективного принятия решений при работе на фондовом рынке необходимо иметь возможность оперативного анализа значительного количества информации об изменении цен на биржевые активы, о динамике разнообразных технических индикаторов, характеризующих поведение акций, фьючерсов, опционов и других финансовых инструментов фондового рынка, а также поведение рынка в целом.

Традиционным решением для компактного и наглядного представления больших объемов данных являются графики. Использование в современных биржевых программных системах (системах технического анализа рынков, торговых терминалах и т. п.) модулей компьютерной визуализации – это широко распространенное и, как правило, совершенно необходимое решение. Графики являются важной частью систем биржевой торговли. Они помогают эффективнее определять процессы, происходящие на рынке – появление и развитие трендов, движения в ценовых коридорах, уровни поддержки и сопротивления, ценовые разрывы и т. п. Именно поэтому на создание подсистем визуализации биржевых данных следует обращать особое внимание и делать их максимально удобными и гибкими для решения конкретных задач анализа и принятия

решений в рамках выбранных торговых стратегий.

Существует множество систем для биржевой торговли, включающих инструментарий для графической визуализации данных. Такое разнообразие систем вызвано тем, что каждая из них решает свои специализированные задачи, определяемые различными аспектами биржевого трейдинга. При их построении могут использоваться как различные подходы, входящие в арсенал информационных технологий в области инструментальных средств экономики [1, 2, 11], так и средства автоматизации формальных и неформальных процедур в других предметных областях, используемые в контексте междисциплинарной конвергенции [3–6].

Проблема заключается в том, что существующие системы визуализации данных о фондовых рынках, интегрированные в биржевые приложения, зачастую существенно ограничивают возможности при необходимости создания пользовательских типов графиков, являясь высокоуровневыми средствами визуализации биржевых данных. В ряде случаев возникают достаточно серьезные сложности вплоть до невозможности при работе с конкретным приложением сделать то, на чем оно не специализируется, что достаточно естественно.

Биржевые задачи, возникающие при анализе рынка и принятии решений, например, в контексте той или иной торговой стратегии, часто требуют особых построений при визуализации. Например, может потребоваться добавлять текстово-графические метки определенной структуры непосредственно на график, накладывать графики друг на друга с нужным интервалом, а также применять собственные технические индикаторы с соответствующими, и часто отличающимися от традиционных, графическими представлениями.

Для решения указанных выше задач создаются специализированные приложения. Однако не всегда конкретный трейдер, а особенно индивидуальный, имеет возможность (прежде всего, из-за высокой стоимости) приобрести подобное приложение или заказать его разработку. Поэтому в ряде случаев такие приложения создаются самими пользователями, если они имеют определенную квалификацию в программировании, причем уровень этой квалификации чаще всего не очень высок.

Для того чтобы обеспечить возможность для этой группы потенциальных разработчиков биржевых программ оперативно создавать модули компьютерной визуализации данных о динамике фондового рынка, требуется решить две основные задачи и выбрать гибкие с точки зрения функциональности и надежные базовые программные средства для низкоуровневой визуализации и разработать простые и наглядные методики – шаблоны для построения программных модулей биржевой визуализации на их основе.

Для функционального выбора средств низкоуровневой визуализации вначале рассмотрим наиболее часто используемые виды представления биржевых данных в виде графиков.

Графики, визуализирующие информацию о динамике фондового рынка, прежде всего, должны отображать первичную информацию, получаемую с биржи – данные об изменении цен на биржевые активы (например, акции или фьючерсы) во времени и данные об объемах торгов. Графические представления также используются для представления информации об изменении во времени значений, так называемых технических индикаторов – показателей, отражающих различные аспекты поведения финансовых инструментов фондового рынка и рассчитываемых в процессе выполнения процедур технического анализа на основе первичной информации, получаемой с биржи.

График на основе баров (иногда их называют OHLC – Open High Low Close) – это столбчатый график, на котором отражены цены открытия и закрытия, а также максимальная и минимальная цены за определенный период времени. Пример визуализации бара приведен на рис. 1, а.

Каждый элемент графика на основе японских свечей – свеча – состоит из черного либо белого тела и верхней/нижней тени (иногда называемой фитилем). Верхняя и нижняя тень отображает максимум и минимум цены за соответствующий период. Верхняя и нижняя границы тела отображают цену открытия и закрытия. Если цены за отображаемый с помощью свечи период выросли, то тело свечи белое (или просто светлое, часто зеленое); нижняя граница тела отражает цену открытия, верхняя – цену закрытия. Если цены за период снизились, то тело свечи черное (темное, часто красное), верхняя граница тела отражает цену открытия, нижняя – цену закрытия. Цвет свечей может нести и другую смысловую нагрузку (в этом случае свечи при росте цен изображаются с пустым телом, а при снижении – с цветовой заливкой). Пример визуализации свечей приведен на рис. 1, б.

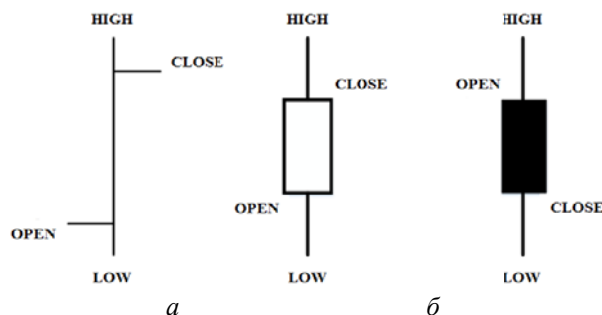


Рис. 1. Примеры визуализации бара (а) и японских свечей (б)

Линейный график – наиболее «экономный». Линиями пользуются, когда нужно проанализировать большое количество данных на достаточно широком интервале времени. С помощью таких графиков удобно отслеживать глобальные тенденции. Они легки в реализации и потребляют меньше вычислительных ресурсов, чем другие.

Гистограммы – это узкие вертикальные прямоугольные области. В большинстве случаев они используются для отображения технических индикаторов.

Помимо достаточно традиционных представлений биржевой информации, рассмотрен-

ных выше, в ряде случаев используются и другие виды отображения данных. Важно чтобы средства, выбранные в качестве базового инструментария для визуализации, и соответствующие методики их использования допускали гибкое построение разнообразных форм представлений. На рис. 2 приведен пример подобной визуализации данных в форме boxplot и beanplot. Данные графики полезны, когда нужно сравнивать данные, объединенные в группы [10].

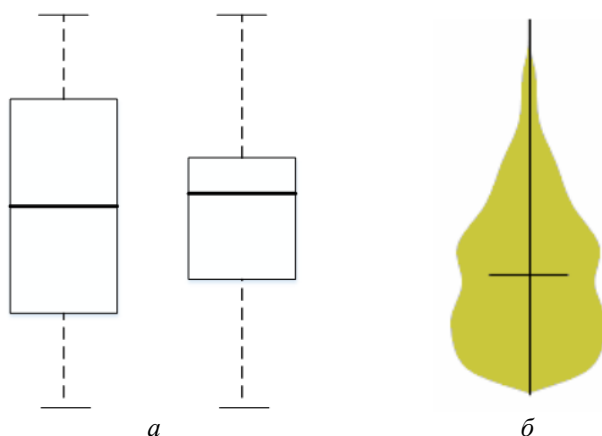


Рис. 2. Примеры визуализации элементов boxplot (а) и beanplot (б)

Помимо вывода самих графиков, в подсистемах визуализации в большинстве случаев требуется реализация дополнительных функций, увеличивающих эффективность использования графических представлений биржевой информации. К ним, в частности, можно отнести вывод легенды с обозначением значения того или иного типа линии и/или их цвета, наложение различных графиков, в том числе и разных типов, синхронизированных по шкале времени, автоматический поиск пересечений графиков, скроллинг графиков по оси X с автоматическим масштабированием по оси Y, пропорциональное масштабирование при изменении области индикации графика и т. п. Важными также являются возможности интерактивного взаимодействия пользователя с графическим представлением, такие как получение информации при наведении курсора на определенный элемент или ручное построение дополнительных графических и/или текстовых примитивов привязанных либо к системе координат графика, либо к системе координат области индикации.

Существуют различные средства для поддержки процесса построения графиков – как специализированные, так и инвариантные. Мы остановили свой выбор на двух библиотеках – (OxyPlot [7] и matplotlib [8].

OxyPlot предоставляет богатые функциональные возможности для создания двумерных графиков на языке C#. Matplotlib – это инструмент для построения двумерных и объемных графиков на языке Python [9].

Языки, которые используют данные библиотеки, широко распространены и хорошо поддерживаются, что придает дополнительные достоинства выбранным инструментам.

OxyPlot поддерживает построение множество различных типов 2D-графиков и использует векторный формат изображений. Обеспечивает работу, в частности, с WPF, WinForms, Metro, Silverlight. Присутствует ряд дополнительных возможностей, таких например, как экспорт в openXml и pdf.

Matplotlib предоставляет набор функций для визуализации данных в 2D/3D, а также для создания анимации. Поддерживает широкий набор форматов изображений как векторных, так и растровых. По своим функциональным возможностям matplotlib превосходит OxyPlot, что можно расценивать как преимущество и одновременно как недостаток в некоторой степени, ведь значительная часть функционала достаточно высокоуровневая и не требуется для визуализации биржевых данных. Стоит отметить также, что matplotlib – это библиотека для языка Python, который является интерпретатором, соответственно, она будет работать медленнее чем OxyPlot.

Для упрощения процесса применения библиотек OxyPlot и matplotlib при визуализации биржевых данных были разработаны методики их использования в виде шаблонов, описывающих типовые маршруты (последовательности этапов) построения модулей визуализации на модельных задачах. Используя такие методики – шаблоны, – можно по аналогии создавать и другие элементы визуализации, необходимые для решения тех или иных конкретных задач отображения биржевых данных.

Шаблон для построения подсистемы визуализации с использованием OxyPlot:

1. Создать проект WPF Application и подключить нужные связи – для WPF это OxyPlot.WPF.

2. Создать холст, на котором будут рисоваться графики при помощи модели PlotModel. Использование холста удобно тем, что настраивание всех элементов на холсте можно производить при помощи одного объекта модели. Уже на модель добавляются графики (в OxyPlot они называются сериями – Series), аннотации и оси.

3. Создать четыре графика: с использованием японских свечей, баров, линий и элементов boxplot. Для этого можно использовать соответствующие серии: `CandleStickSeries`, `HighLowSeries`, `LineSeries` и `BoxPlotSeries`. Титул задается при помощи свойства `Title` – можно назвать графики по наименованиям их типов.

4. Добавить оси. Оси по умолчанию задаются по ординате и абсциссе, то есть стандартные оси уже имеются. Для добавления новых осей можно воспользоваться свойствами `XAxisKey` и `YAxisKey`.

5. Добавить данные, получаемые из внешнего источника (это может быть обычный файл, JSON, XML, база данных). Сами данные, которые будут отображаться в зависимости от выбранной серии, содержатся в свойстве `Points` модели, но в своем формате (например, для точки это будет `DataPoint(x, y)`).

6. Добавить серию к модели. Сделать это можно при помощи функции `Add` свойства `Se-`

`ries` модели (после создания серии и установки ее свойств).

7. Добавить элементы аннотирования. За это отвечает поле `Annotation` модели, которое также предоставляет довольно большой выбор типов аннотирования, в частности, `ArrowAnnotation`, `FunctionAnnotation`, `ImageAnnotation`, `PointAnnotation`, `PolyLineAnnotation`, `TextAnnotation`.

8. Прописать в XAML представление модели. Это определяет вид модели, то есть то, что будет отображаться на экране.

9. Создать событие (это может быть таймер, либо событие о наличии новых данных, пришедшее из API терминала и т. п.) и подписаться на него. Это требуется для добавления динамики. Теперь, когда функция-подписчик оповещается о том, что событие произошло, графики перерисовываются с новыми данными.

Примеры работы программного модуля визуализации, использующего библиотеку `OxyPlot` и созданного на языке C# на базе предложенного шаблона, приведены на рис. 3.

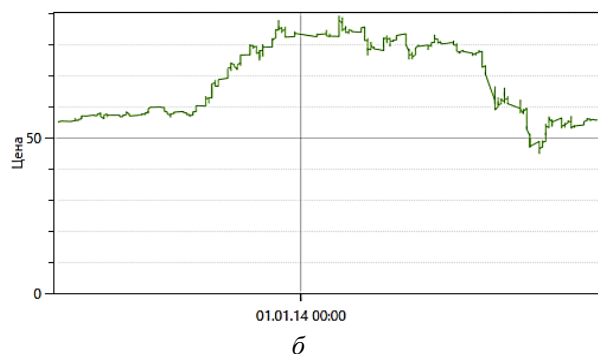
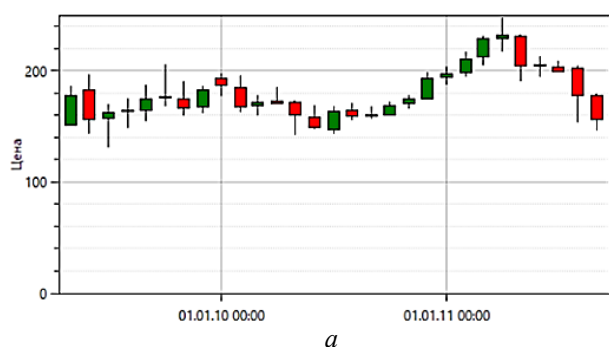


Рис. 3. Построение биржевого графика на основе японских свечей (а) и линейного биржевого графика (б) с использованием `OxyPlot`

Далее рассмотрим шаблон для построения подсистемы визуализации с использованием `matplotlib`:

1. Создать пустой файл с расширением `.py` и импортировать нужные модули (а именно, `pyplot`, `dates`, `finance`) при помощи инструкции `import`.

2. Создать список акций. Акция в списке должна быть представлена кортежем со следующими элементами: ([представление даты в качестве числа с плавающей точкой], [цена открытия], [цена закрытия], [наибольшая цена], [наименьшая цена], [объем]), где «()» обозначает сам кортеж, а «[]» – обязательный элемент набора. Итоговая структура данных – это список кортежей.

3. Задать оси, для чего вызвать функцию модели `subplots`. Модель холста уже содержит

ся внутри библиотеки, достаточно лишь использовать ссылку на нее.

4. Задать масштаб осей, для чего использовать функции `xlim` и `ylim`.

5. Задать расположение и количество графиков на холсте. Для этого используются тройки цифр (например, `subplot(221)` – верхний левый график; `subplot(222)` – верхний правый график; `subplot(223)` – нижний левый график и т. д.).

6. При необходимости создать вложенный график командой `axes`.

7. Создать легенду для графика. Следует учесть, что при необходимости `matplotlib` хорошо интегрируется с текстовым процессором `LaTeX`, позволяя создавать качественные и удобные надписи.

8. Построить свечной график при помощи функции `candlestick_ohlc`, передав ему настроенные оси и данные по акции (вывод графика осуществляется функцией `show`).

9. Построить график баров при помощи функции `plot_day_summary`, передав ему настроенные оси и данные по акции (вывод графика осуществляется функцией `show`).

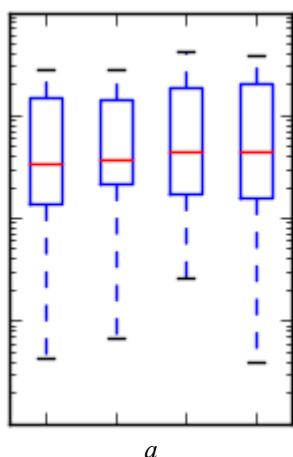
10. Построить линейный график, для чего вызвать функцию модели `plot`, передав ей два списка. Первый определяет координаты x , второй – список (соответствующие значения по y ; длины списков обязательно должны совпадать). В качестве первого списка следует передать функции `plot` список дат в представлении с плавающей точкой (time stamp),

а в качестве второго – список цен закрытия акции.

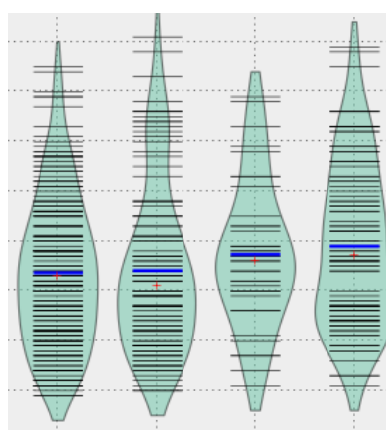
11. Построить график с использованием элементов `boxplot` с помощью функции `boxplot`, которой передается список данных, состоящий из следующих компонентов: наблюдаемый минимум, нижний квантиль, медиана, верхний квантиль и наблюдаемый максимум.

12. При необходимости запуска скрипта, например из C#, создать новый процесс, в котором открыть интерпретатор Python, передав ему на выполнение имя скрипта.

Примеры работы программного модуля визуализации, использующего библиотеку `matplotlib` и созданного на языке Python на базе предложенного шаблона, приведены на рис. 4.



а



б

Рис. 4. Визуализация представлений `boxplot` (а) и `beanplot` (б) с использованием `matplotlib`

Итак, в процессе проведенного исследования были сформированы подходы к увеличению эффективности процесса построения подсистем компьютерной визуализации биржевых данных о динамике фондового рынка. Проанализированы основные способы представления как первичной информации, получаемой с биржи – цен и объемов торгов, – так и производной информации в виде расчетных данных о значениях технических индикаторов, характеризующих рыночную ситуацию. Осуществлен выбор базовых библиотек, обладающих достаточной функциональностью и гибкостью для решения данного круга задач. Предложены методики в форме шаблонов, описывающих типовые маршруты построения модулей визуализации для биржевых программных систем, в значительной мере упрощающие этот процесс и позволяющие уменьшить сроки создания приложений, а также снизить уровень квалификационных требований к разработчикам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рычков, В. В. Теория и практика работы на российском рынке акций / В. В. Рычков. – М.: Олимп-Бизнес, 2007. – 320 с.
2. Петрухин, А. В. Архитектура биржевого робота для работы в среде торгового терминала QUIK // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. Т. 23. № 2(157). С. 138–141.
3. Петрухин, А. В. Использование физических знаний при решении задач концептуального проектирования технических 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. Петрухин, А. В. Компьютерная поддержка автоматизированного подбора комплектующих деталей при сборке многоопорного подшипников 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 // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2004. – № 5. – С. 64–65.

7. OxyPlot [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://oxyplot.org/>

8. Matplotlib [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://matplotlib.org/>

9. Python [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <https://www.python.org/>

10. Kampstra, P. Beanplot: A Boxplot Alternative for Visual Comparison of Distributions. Journal of Statistical Software Volume 28, Code Snippet 1 – November 2008.

11. Van Vliet B., Hendry R. Modeling Financial Markets – New-York: McGraw-Hill – 2004. – 304 p., ISBN:063-9785386025.

УДК 504.05:004.62

А. А. Платонов, С. С. Федоров

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ О ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

aplat@mail.ru, colton2010@mail.ru

Представлен пространственный анализ открытых данных Волгоградской области с использованием открытого ПО PostGRE, Postgis и QGIS. Показано распределение потенциально опасных предприятий по районам области, проведен анализ их близости к основным населенным пунктам. Описаны основные инструменты работы. Представлены дальнейшие планы работ.

Ключевые слова: пространственный анализ открытых данных, геоанализ, SQL запрос, анализ близости, QGIS.

A. A. Platonov, S. S. Fedorov

SPATIAL ANALYSIS OF THE OPEN DATA RELATING VOLGOGRAD REGION POTENTIALLY HARMFUL FACILITIES

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

Spatial analysis of the open data of the Volgograd region ecology is presented. Open source software including PostgreSQL, PostGIS and QGIS is used for data processing. Distribution of potentially harmful facilities of Volgograd region is analyzed and their proximity to large settlements is analyzed. Main work tools are described. Further work plans are presented.

Keywords: spatial analysis of the open data, geo analysis, SQL request, proximity analysis, QGIS.

Бурный рост экономик развитых стран вызвал объективную необходимость введения экономического механизма природопользования и охраны окружающей среды. Учитывая общемировую и российскую экологическую действительность, существующие тенденции и угрозы, можно сказать, что общество и государство попытались совместить формирование государственно-рыночного механизма, охраны окружающей природной среды и обеспечения экологической безопасности в единый экономический механизм экологически устойчивого развития.

Структуру развития любого региона России во многом определяют: природно-ресурсная база, исторически унаследованная производственная инфраструктура, особенности климата, количество и качество земельных ресурсов, исторически сложившаяся специализация, качество и количество трудовых ресурсов, ближайшее внешнее окружение (соседние регионы). При этом выбор цели развития региона во мно-

гом влияет на формирование рационального механизма природопользования в целом.

Проведение экологических исследований для решения задач территориального планирования в значительной степени опирается на использование геоинформационных технологий (ГИС).

При геоанализе открытых данных об экологии Волгоградской области одной из важнейших задач является пространственный анализ. В рамках разработки и осуществления проекта [1] была поставлена задача о пространственном анализе открытых данных об экологии Волгоградской области, что позволит находить наиболее загрязненные места Волгоградской области.

В соответствии с [2], а также [3] был составлен список объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности по территории Волгоградской области и подлежащих федеральному государственно-му экологическому надзору.

В нашем случае информация подготавливается модулем извлечения фактов, и в дальнейшем наносится на карты, полученные из открытых источников – OpenStreetMap.

Одним из важных аспектов пространственного анализа является выбор определенных объектов из списка по определенным условиям, или фильтрация. Для нашего проекта, в соответствии с этой операцией, выбираются:

- районы области с наибольшим количеством вредных предприятий;
- предприятия, ближе всех расположенные к населенным пунктам.

Развитие геоинформационных систем привело к появлению большого количества разнообразных по возможностям и целям баз данных, среди которых выделяются специализированные системы для задач экологического мониторинга и перспективного планирования развития городских территорий.

Существуют достаточно развитые системы, обладающие многофункциональными интерфейсами прикладных программ (API), причем многие из них могут с успехом применяться как на федеральном, так и на региональном уровне [4].

Для решения текущих задач в качестве ГИС выбрана открытая платформа QGIS в связке с PostgreSQL (с установленным PostGIS) в качестве СУБД.

Простейшим способом фильтрации является

`"admin_lvl" LIKE '6' AND "PNTCNT" > 0 OR "admin_lvl" LIKE '8' AND "PNTCNT" > 0`

где admin_lvl – атрибут, указывающий на принадлежность географического объекта к типу (например город или район области); PNTCNT – атрибут с количеством необходимых объектов

использование встроенных или загружаемых модулей используемой ГИС. В дополнение к фильтрации возможно также выделение этих областей на карте.

Однако не для всех задач есть графические модули, и некоторые задачи необходимо выполнять через SQL запросы к базе.

В используемой нами QGIS для решения задачи по поиску районов области с наибольшим количеством вредных предприятий был использован инструмент «Пространственный запрос», выполняющий непосредственный подсчет объектов, а также фильтр атрибутов и выделение. Данный комплекс процедур позволяет не только получить список районов, но и графически отобразить их на карте.

В инструменте «Количество точек в полигонах» выбираем необходимые данные, название поля атрибутов для результата и путь, куда сохранить новый файл. В результате получаем новый полигональный слой, отличный от исходного только наличием нового атрибута, имя которому указывали ранее.

Следующим шагом является выбор необходимых данных из множества, или фильтрация. Для применения фильтрации выбираем слой, созданный ранее функцией «Количество точек в полигонах». В контекстном окне свойств слоя выбирается «Фильтр», в открывшемся окне которого затем выбираются параметры выбора, а в данном случае это будет выражение вида:

(предприятий) внутри других объектов (районов области и городов).

Результатом будет являться отфильтрованный список атрибутов:

Таблица 1

Список атрибутов

id	Name	admin_lvl	PNTCNT
375	Городской округ Волгоград	6	807
461	Городской округ Волжский	6	189
316	Городищенский район	6	69
537	Городской округ Камышин	6	67
160	Городской округ Михайловка	6	54
286	Среднеахтубинский район	6	52
417	Городищенское городское поселение	8	36
326	Светлоярский район	6	32
51	Городской округ Урюпинск	6	31
391	Жирновский район	6	30
242	Иловлинский район	6	27

Окончание табл. 1

id	Name	admin_lvl	PNTCNT
39	Городское поселение Средняя Ахтуба	8	26
139	Суровикинский район	6	24
30	Новоаннинский район	6	22
246	Калачевское городское поселение	8	22
425	Котовский район	6	21
549	Николаевский район	6	21
559	Палласовский район	6	21
413	Дубовский район	6	20
168	Городское поселение Суровикино	8	18
269	Городской округ Фролово	6	18

Для решения этой задачи придется воспользоваться SQL запросом непосредственно к таблице. Данные запросы можно делать непосредственно из QGIS, не прибегая к сторонним про-

граммам и консолям. Для этого в QGIS встроен Менеджер БД, через который можно подключиться к нужной базе.

Сам запрос будет выглядеть следующим образом:

SELECT tmp1.area **AS** Rasstoyanie, tmp1.name1 **AS** Firma, tmp1.name2 **AS** Mesto

FROM (

SELECT DISTINCT ON ("perechen_volgogradskaya_oblast1".name)

ST_Distance("perechen_volgogradskaya_oblast1".geom, "tempbig".geom) **AS**

area,

"perechen_volgogradskaya_oblast1".name **AS** name1,

"tempbig".name **AS** name2

FROM

public."perechen_volgogradskaya_oblast1"

LEFT JOIN public."tempbig" **ON** **ST_DWithin**("perechen_volgogradskaya_oblast1".geom, "tempbig".geom, 100.0)

ORDER BY "perechen_volgogradskaya_oblast1".name,

ST_Distance("perechen_volgogradskaya_oblast1".geom, "tempbig".geom)

) **AS** tmp1

ORDER BY area

LIMIT 15

Результат:

Результаты анализа близости

Таблица 2

Rasstoyanie	Firma	Mesto
0.00101048843566	ООО «Автохозяйство № 1»	Латошинка
0.00101738355447	Государственное специализированное стационарное учреждение социального обслуживания граждан пожилого возраста и инвалидов «Жирновский дом-интернат для престарелых и инвалидов»	Жирновск
0.0010333166123	ООО МП «ЖКХ»	Петровский
0.0010333166123	ОАО птицефабрика «Урюпинская»	Петровский
0.00104215240122	ООО «Центральный Универмаг»	Волгоград
0.00104215240122	ООО «ТРАНЗИТ»	Волгоград
0.00104215240122	ГОУ «Волгоградский государственный медицинский университет Росздрава»	Волгоград
0.00105360115162	ЗАО «Гамма-сервис»	Волгоград
0.00105360115162	ООО «Вита-Сервис»	Волгоград
0.00105360115162	ООО «Строминвест»	Волгоград
0.00110642147469	ООО «Теплоэнергосервис»	Волгоград

Rasstoyanie	Firma	Mesto
0.00115676702352	ООО «Ангелина»	Катричев
0.00115676702352	ООО «Катричевское»	Катричев
0.00119331369748	МКП «ВМЭС»	Волжский
0.00125488754915	ОАО «ПТП "Макарна"»	Волгоград

Данные примеры демонстрируют лишь часть задач, которые могут быть решены с использованием инструментов ГИС. Пространственный анализ открытых данных позволит снизить финансовые затраты на анализ экологических проблем, а также стабилизировать экологию в регионе, определить наиболее уязвимые места и планировать расположение объектов с учетом экологической безопасности.

В дальнейшем в рамках того же проекта [1] будут реализованы:

- обработка экспертных оценок экологической обстановки на основе алгоритмов нечеткой логики, используемой как в задаче распознавания растровых слоев [5], так и в целях автоматизированных экспертных заключений об экологической обстановке городских и пригородных территорий [6].

- обработка и анализ данных геомониторинга на основе вейвлет-преобразования;

- прогноз изменений экологической обстановки на основе экспертных оценок [7];

- обратное преобразование данных в формат ГИС для последующей передачи в модуль визуализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Платонов, А. А. Автоматизированная система сбора и анализа данных при планировании развития городских территорий / А. А. Платонов, Б. Х. Санжапов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительная информатика 2014. Вып. 11(32). Ст. 5. – Режим доступа : <http://www.vestnik.vgasu.ru> (дата обращения: 30.03.2015).
2. О перечне объектов, подлежащих федеральному государственному экологическому контролю. Утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. N 285 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://eco.lenobl.ru/Document/1359057639.doc> (дата обращения: 30.03.2015).
3. Перечень объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности на территории Волгоградской области и подлежащих федеральному государственному экологическому надзору. Утвержден Приказом Минприроды России от 10 сентября 2010 г. № 399 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=572405;frame=30>
4. Sui D. Z. A fuzzy GIS modeling approach for urban land evaluation // Computers, environment and urban systems. – 1992. – Т. 16. – №. 2. – С. 101–115.
5. Садовникова, Н. П. Управление экологическими рисками проектов территориального развития / Н. П. Садовникова, М. С. Кузнецов, С. А. Васильев // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительная информатика. 2012. № 8 (24). – С. 6.
6. Санжапов, Б. Х. Упорядочение объектов в иерархических системах при полимодальных экспертных оценках // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 6. № 6(54). С. 106–109.

УДК 330.43

А. Б. Симонов, П. В. Терелянский, В. Н. Цыганкова
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА
В РОССИЙСКОЙ МЕЖКРИЗИСНОЙ ЭКОНОМИКЕ
Волгоградский государственный технический университет
 absimonov@gmail.com, ise@vstu.ru, mmiop@vstu.ru

В работе исследованы вопросы моделирования инновационного процесса, отражены результаты построения моделей течения инновационного процесса в межкризисный период. Сделаны выводы о наличии структурных проблем в инновационной сфере российской экономики, а также об эффективности государственной политики по решению данных системных проблем.

Ключевые слова: инновационный менеджмент, инновационный процесс, эконометрическое моделирование, статистика инноваций.

A. B. Simonov, P. V. Terelyanskiy, V. N. Tsigankova
RUSSIAN POSTCRISIS ECONOMICS INNOVATION PROCESSES MODELING
Volgograd State Technical University

This article is devoted to the problems of the innovation processes modeling. A number of models that describe Russian economics innovation processes in the 2010-2012 are explored. Structure problems in the Russian economics innovative sphere are studied with this models. Government policy efficiency in the innovative sphere is estimated.

Keywords: innovation management, innovation processes, econometric modeling, innovation statistic.

Развитие экономики России требует наличия стабильной и эффективно функционирующей инновационной сферы, обеспечивающей устойчивое течение инновационного процесса. Состояние данного процесса в период между кризисами 2008–2009 годов и 2014 года и будет объектом исследования в рамках данной работы. Межкризисный период интересен тем, что именно в данное время государством были приложены значительные усилия по формированию устойчиво функционирующей инновационной экономики. Несмотря на то, что данный период был очень непродолжителен, и в 2013–2014 годах направление на инновационное развитие было смещено в сторону модернизации и обеспечения импортозамещения, потенциал, заложенный в данные годы, способен влиять на развитие экономики еще продолжительное время.

В данной работе был использован корреляционно-регрессионный метод для исследования изучаемого процесса в регионах России на основании данных, имеющих в открытом доступе Федеральной службы государственной

статистики [8]; построена модель инновационного процесса; изучена связь между его отдельными этапами и сделан вывод о состоянии инновационной сферы в Российской Федерации как единой сложной системы. Корреляционно-регрессионный анализ выбран в качестве мощного и универсального средства моделирования, широко применяемого как в экономике, так и за ее пределами, например, [3]. Его применение позволяет обеспечить простоту и верифицируемость построенных моделей, которые в дальнейшем могут использоваться для оценки и прогнозирования.

Для выбора показателей для моделирования инновационного процесса нами были рассмотрены описательные модели technology push (технологического толчка) и market pull (вызова спроса) [1,2]. Первая модель основывается на трудах Й. Шумпетера [4], хотя и не сформулирована в них напрямую. Она описывает инновационный процесс как последовательность этапов, начинающихся с появления новых технологий, которые, таким образом, становятся «толчком» для всего дальнейшего процесса (см. рис. 1).

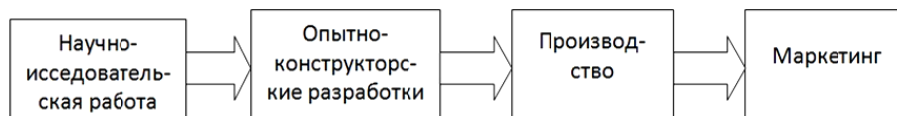


Рис. 1. Technology push модель инновационного процесса – модель технологического толчка (разработано авторами на основе [5])

Данная модель подразумевает, что инновации возникают, по-сути, вне экономического пространства; основная же деятельность инноватора направлена на поиск и внедрение «зрелых» научных идей, создание их инвестиционного, технологического и маркетингового «сопровождения».

Market-pull модель инновационного процесса основывается на работах Дж. Шмуклера [6] (Jacob Schmookler), в которых требования рынка и создаваемые учеными идеи сравниваются с двумя лезвиями у ножниц – только вместе они способны привести к эффективному достижению цели.

В целом обе модели основываются на одинаковом компонентном описании инновационной системы, однако различаются в описании связей между компонентами. При этом обе модели требуют для эффективного ведения инновационной деятельности наличия хорошо развитых на компонентном уровне, а также тесно взаимосвязанных между собой академической

науки, прикладной науки, системы проведения опытно-конструкторских разработок, инвесторов, восприимчивых к инновациям производства [1]. Рассмотрим эти компоненты более подробно при помощи корреляционно-регрессионного анализа показателей инновационной деятельности российских регионов.

В качестве основных показателей, характеризующих различные этапы инновационной деятельности, были выбраны: 1 – число организаций, выполнявших научные исследования; 2 – численность персонала, занятого в НИР; 3 – численность исследователей, занятых в НИР (как часть п 2); 4 – внутренние затраты на НИР; 5 – затраты на технологические инновации; 6 – выдано патентов, всего; 7 – созданные (разработанные) передовые производственные технологии; 8 – используемые передовые производственные технологии; 9 – стоимость инновационных товаров; 10 – общая стоимость товаров, выпущенных в регионе.

Из приведенного списка первые четыре пункта характеризуют активность научно-ис-

следовательской работы в регионе. Пункты с пятого по седьмой отражают затраты на ОКР и их результативность – количество патентов и количество созданных передовых технологий. Затраты на технологические инновации, исходя из российской специфики, разумно рассматривать именно как затраты на ОКР, а количество полученных патентов и созданных технологий отражают эффективность опытно-конструкторской деятельности. Разумно предположить, что эти два показателя будут тесно связаны между собой, однако, как мы увидим ниже, они далеко не идентичны. Пункты с восьмого по десятый отражают использование инноваций в производстве. При этом необходимо отметить, что производство инновационных товаров может базироваться как на собственных технологиях, так и на технологиях, перенятых со стороны. Несмотря на отсутствие в открытом доступе статистических данных о количестве заимствованных технологий, а также их структуре (технологии, разработанные в научных институтах региона; перенятые из других регионов; перенятые из-за рубежа), слабая связь между созданием инноваций и их внедрением будет косвенно подтверждать сильную роль инновационной восприимчивости.

Данные, характеризующие изучаемые показатели, представлены в [8]. Для моделирования были взяты данные по 80 субъектам Российской Федерации на 2010 и 2012 гг. (условное окончание кризиса и начала предкризисного спада в 2013 году). Из изучаемых субъектов были исключены г. Севастополь и республика Крым (не входящие в изучаемый период в состав Российской Федерации), а также, для обеспечения однократного учета изучаемых объектов, Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа (как входящие в другие субъекты РФ). Перед началом построения корреляционно-регрессионных моделей нами был проведен статистический анализ данных по каждому показателю, выявлены показатели однородности и нормальности распределения, изучены выбросы.

В ходе анализа было выявлено, что все показатели отражают крайнюю неравномерность развития инновационной деятельности в российских регионах, и это необходимо учитывать при интерпретации результатов исследования. В большинстве (сорока одном из восьмидесяти) российских регионов производится крайне незначительное количество инновационных това-

ров; в двадцати восьми «средних» регионах количество инновационных товаров подчиняется ярко выраженному нормальному закону, однако из них выбиваются три региона с высокими значениями показателей инновационной деятельности, и еще восемь регионов, производство инновационных товаров в которых значительно (более чем на треть) превышает границу в 62 млрд. руб., выделенную для остальной выборки. Эта же неравномерность подтверждается значением коэффициента Джини, равным 0,93. Таким образом, в связи с явной неоднородностью данных, необходимо сегментировать регионы при изучении всех показателей и с особым вниманием отнести к тому, чтобы резко выделяющиеся регионы не исказили результаты исследования.

Другой серьезной проблемой, возникшей при интерпретации результатов исследования, стала оценка качества представленных данных. Например, при изучении динамики объема инновационных товаров можно отметить необычные скачки и спады производства инновационных товаров при незначительном изменении общего объема товаров, а также других инновационных показателей. Типичным примером можно считать Сахалинскую область – в изучаемом периоде второй по объему производства инновационных товаров регион России. Тем не менее, с учетом большого количества регионов и возможности отброса резко выделяющихся наблюдений, результаты проводимого анализа можно считать достаточно точными и отражающими общие тенденции, происходящие в инновационной сфере российской экономики.

Итак, рассмотрим характеристику инновационной системы Российской Федерации как совокупности взаимосвязанных элементов инновационной деятельности, а также оценим динамику связей между элементами. Слабую тесноту связей будем рассматривать как показатель структурных проблем в соответствующей части инновационного процесса (необходимость связанности отдельных элементов постулируется теоретическими моделями). Наличие тесных связей в целом будет показывать стабильно функционирующие этапы инновационного процесса (эффективность самих этих этапов в данном исследовании рассматриваться не будет).

На начальном этапе анализа нами было построено 90 моделей, попарно характеризующих взаимосвязь между отдельными показателями инновационной деятельности по России в це-

лом в 2010 и 2012 годах. В качестве регрессионных моделей использовались линейные функции (наиболее точно описывающие имеющиеся данные), для которых были рассчитаны значения параметров регрессии, коэффициентов корреляции, *t*-критериев Стьюдента. Значение рассчитанных коэффициентов корреляции как показателей качества построенных моделей отражено в рис. 2 и 3 (коэффициенты корреляции были выбраны нами как наиболее легко интерпретируемый показатель тесноты связи).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,000									
2	0,986	1,000								
3	0,986	0,997	1,000							
4	0,981	0,998	0,997	1,000						
5	0,442	0,430	0,415	0,420	1,000					
6	0,964	0,972	0,981	0,973	0,405	1,000				
7	0,964	0,953	0,950	0,944	0,520	0,910	1,000			
8	0,724	0,745	0,719	0,734	0,630	0,700	0,747	1,000		
9	0,491	0,468	0,429	0,441	0,526	0,414	0,512	0,619	1,000	
10	0,702	0,683	0,680	0,685	0,717	0,684	0,685	0,743	0,550	1,000

Рис. 2. Показатели корреляции между показателями инновационной деятельности регионов России в 2010 году

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,000									
2	0,981	1,000								
3	0,982	0,996	1,000							
4	0,977	0,999	0,997	1,000						
5	0,894	0,903	0,895	0,905	1,000					
6	0,964	0,964	0,977	0,965	0,890	1,000				
7	0,809	0,763	0,761	0,763	0,703	0,686	1,000			
8	0,788	0,792	0,760	0,784	0,861	0,719	0,660	1,000		
9	0,786	0,778	0,770	0,777	0,874	0,760	0,657	0,718	1,000	
10	0,682	0,642	0,640	0,645	0,753	0,627	0,570	0,760	0,618	1,000

Рис. 3. Показатели корреляции между показателями инновационной деятельности регионов России в 2012 году

При рассмотрении данных таблиц надо помнить, что значение коэффициента корреляции изменяется от 0 до 1 и может интерпретироваться как степень тесноты связи (0 – отсутствие связи; 1 – идеально тесная, функциональная связь). На рисунке более тесная связь отражена более темным цветом, градации построены на основе шкалы Чеддока.

Как видим из приведенных рисунков, инновационный процесс в Российской Федерации в 2010 году характеризуется достаточно тесными связями в рамках НИР (пересечение строки 1–4 и столбцов 1–4), а также тесной взаимосвязью между количеством созданных технологий, полученными патентами и всеми показателями

НИР (пересечение строк 6, 7 и столбцов 1–4, а также столбца 6). Это может служить индикатором явного проявления эффективной работы части российской инновационной системы, связанной с НИР (как отмечалось выше, в первую очередь прикладными), а также с ОКР. Однако экономическое взаимодействие между ними, традиционно связанное с инвестициями, фактически отсутствует – значения показателей корреляции в строке 6 меньше 0,5, что характерно для слабой связи. Связь показателей НИОКР с показателями инновационного производства также слабая; возникает ощущение, что производство инновационных товаров вообще слабо связано с остальными этапами инновационного процесса – что может быть объяснено как ошибками при учете соответствующей информации, так и высокой ролью процесса заимствования технологий (по-видимому, из-за рубежа).

Отдельно стоит рассмотреть взаимосвязь между показателями инновационной деятельности и общим производством товаров (строка 10). Данная взаимосвязь особо важна, так как, с одной стороны, появление инновационных товаров ведет к наращиванию экономической мощи региона и росту общего выпуска товаров, а с другой – доходы от выпуска товаров являются основой для инвестиций в НИОКР. Однако надо признать, что тесноту связи данных показателей в лучшем случае можно считать умеренной. Только показатели корреляции выпуска товаров с инвестициями в технологические инновации; количеством организаций, занятых НИР, а также с количеством инновационных товаров выше значения 0,70; остальные лежат в интервале 0,6–0,7, что еще раз показывает значительную оторванность инновационных процессов от остальной экономики.

Таким образом, модель инновационного развития 2010 года в значительной степени строится на «технологическом толчке», который позволяет довести научные идеи до создания технологии и получения патентов, но дальше наталкивается на отсутствие взаимосвязи с реальной экономикой и инвестициями. Необходимость развития процесса коммерциализации неоднократно отмечалась президентом и правительством (в частности, [7]), и именно на развитие этого этапа инновационного процесса были направлены основные усилия в изучаемом периоде. Для того чтобы оценить результаты этих усилий, рассмотрим значения,

приведенные на рис. 3. Как видим из рис. 3, целостность инновационного процесса в регионах Российской Федерации значительно возросла. Значение коэффициентов корреляции между показателями с 1 по 6 указывают на наличие тесной связи (все значения, кроме трех, больше 0,9, а оставшиеся значения близки к этой величине). Исчез «барьер» из низких значений показателя корреляции в четвертой строке, что, как было отмечено ранее, характеризовало слабую связь НИОКР с производством. Однако возникает новый барьер – умеренная связь между показателями НИОКР и количеством созданных технологий (строка 7). НИОКР теперь стремится к созданию и оформлению патентов, при этом общее количество (надеемся, что не качество) созданных технологий как бы «выпадает» из интересов сферы НИОКР. Процесс коммерциализации же, в свою очередь, оста-

ся недостаточно интегрированным в инновационный процесс: все показатели с 8 по 9 умеренно связаны как с показателями 1–7, так и друг с другом. Одновременно за два года фактически устранен разрыв между инновационным процессом и производством инновационных товаров – все значения коэффициента корреляции в девятой строке больше 0,65. Что любопытно, почти не улучшились связи между показателями НИОКР и выпуском иных товаров – возможно, для этого прошло слишком мало времени. В любом случае, инновационная продукция все еще не оказывает сколько-либо стабильного влияния на остальную экономику. Тем не менее, как мы видим из приведенной ниже таблицы, инновационная активность организаций за два года выросла с 9,5 в 2010 году до 10,3 % в 2012; удельный вес инновационных товаров – с 4,8 в 2010 году до 8,0 % в 2012.

Динамика инновационной активности организаций и доли инновационных товаров в Российской Федерации в 2010–2013 гг. [8]

Год	2010	2011	2012	2013
Инновационная активность организаций (удельный вес организаций, осуществлявших инновации в отчетном году), %	9,5	10,4	10,3	10,1
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме, %	4,8	6,3	8,0	9,2

Резюмируя результаты сравнения рис. 2 и 3, можно утверждать, что значительные затраты государства в межкризисные годы позволили значительно увеличить связанность этапов инновационного процесса, однако полностью устранить проблемы на этапе коммерциализации новаций и органично встроить инновационную сферу в российскую экономику не удалось.

Как уже отмечалось, ценность проведенного анализа снижается в связи с крайне высокой неравномерностью распределения инновационной деятельности в российских регионах. Поэтому нами была проведена кластеризация регионов по всем 10 показателям инновационной деятельности, в результате чего был выделен кластер «ведущих регионов», включающих Москву, Московскую область, Санкт-Петербург, значительно отличающихся от других регионов. Были построены 90 корреляционно-регрессионных моделей по всем регионам, исключая эти три наиболее выделяющиеся. В основу проведенного анализа без трех ведущих инновационных регионов были положены те же принципы, что и на первом этапе исследования; при этом сравнивалась как динамика значений

коэффициентов корреляции, так и значения данных показателей с учетом трех важнейших регионов, и без их учета (см. рис. 2, 3, 4, 5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,000									
2	0,837	1,000								
3	0,861	0,987	1,000							
4	0,763	0,970	0,966	1,000						
5	0,459	0,507	0,522	0,531	1,000					
6	0,870	0,764	0,752	0,675	0,514	1,000				
7	0,717	0,800	0,806	0,768	0,597	0,678	1,000			
8	0,665	0,765	0,771	0,776	0,608	0,622	0,775	1,000		
9	0,599	0,616	0,589	0,579	0,456	0,689	0,508	0,579	1,000	
10	0,513	0,424	0,461	0,477	0,699	0,495	0,439	0,586	0,479	1,000

Рис. 4. Взаимосвязь между показателями инновационного процесса в 2010 году

На рис. 4 мы видим достаточно странную картину. С одной стороны, целостность инновационного процесса по «периферийным» регионам ниже, чем по стране в целом. Значительно слабее связь между количеством инновационных организаций и количеством работников, занятых НИР, а также внутренними затратами на НИР. Значительно слабее и связи в рамках про-

цесса ОКР - почти все в строках с 6 по 8 лежат в интервале от 0,5 до 0,9, что указывает на весьма умеренную связь (на рис. 2 в строках 6, 7 почти все значения больше 0,9). Однако барьеры между процессами НИР и ОКР, а также между ОКР и производством в 2010 году по «периферийным» регионам, в общем, слабее, чем по экономике в целом. Связь инновационного процесса с производством товара (строка 10, рис. 4) очень слабая, большинство значений коэффициента корреляции менее 0,5.

Резюмируя, можно сказать, что в 2010 году протекание инновационного процесса в «периферийных» регионах, в целом, было аналогичным протеканию инновационных процессов в «ведущих» регионах, хотя связанность этих процессов была меньше.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,000									
2	0,807	1,000								
3	0,836	0,990	1,000							
4	0,730	0,977	0,963	1,000						
5	0,653	0,765	0,750	0,789	1,000					
6	0,874	0,693	0,711	0,617	0,652	1,000				
7	0,684	0,770	0,764	0,759	0,629	0,604	1,000			
8	0,717	0,785	0,783	0,782	0,795	0,653	0,684	1,000		
9	0,453	0,472	0,456	0,469	0,728	0,471	0,379	0,473	1,000	
10	0,516	0,399	0,452	0,429	0,610	0,437	0,369	0,637	0,343	1,000

Рис. 5. Взаимосвязь между показателями инновационного процесса в 2012 году

Однако рассматривая те же регионы в 2012 году (см. рис. 5), мы приходим к выводу, что картина отличается и от рис. 4 (состояние инновационного процесса в 2010 году), и от рис. 2 (состояние инновационного процесса в 2010 году по всем регионам). Возрастание целостности инновационных процессов, характерное для экономики в целом, проявляется и для «периферийных» регионов; как и для страны в целом (см. рис. 3) значительно улучшается взаимосвязь между затратами на технологические инновации и всеми другими показателями инновационного процесса, что, на наш взгляд, указывает на улучшение взаимодействия между НИР и ОКР. С другой стороны, в 2012 году мы все также можем наблюдать низкую целостность процесса НИОКР.

Самым серьезным недостатком инновационного процесса в российской экономике, наблюдаемым из рис. 5, является ослабление связи между стоимостью инновационных и всеми остальными показателями инновационного процесса. Данный барьер, характерный для 2010 го-

да, для страны в целом был значительно ослаблен; большинство значений в строке 9 рис. 3 больше 0,7. Однако для «периферийных» областей этот барьер не только остался, но и стал сильнее; коммерциализация в этих регионах стала значительно менее системной. Конечно, это частично связано с наличием «странных регионов», однако исключение их из выборки приводит к росту коэффициента корреляции до уровня, незначительно превышающего 0,5, что все еще не позволяет говорить о достаточно тесной связи.

Таким образом, можно сделать вывод, что улучшение коммерциализации в российском инновационном процессе в последние годы происходил, в первую очередь, в крупных инновационных центрах Москвы и Подмосковья (в меньшей степени – Санкт-Петербурга). При этом коммерциализация в других регионах даже ослабла, по-видимому, за счет «экспорта» готовых к внедрению новаций в столицу. Являясь в целом абсолютно ожидаемым процессом, ухудшение процесса коммерциализации в регионах тем не менее нельзя назвать положительной тенденцией, и в долгосрочной перспективе необходимо выстраивать систему возвращения инноваций в «периферийные» регионы и улучшать в них процесс коммерциализации.

Резюмируя результаты исследования, необходимо отметить:

1) значительные затраты государства в межкризисный период позволили существенно увеличить связанность этапов инновационного процесса;

2) особенно значимы улучшение коммерциализации инноваций, а также улучшение связи между вложениями в технологические инновации и всеми этапами НИОКР;

3) за пределами Москвы, Санкт-Петербурга и Московской области целостность инновационного процесса остается небольшой, в первую очередь за счет оторванности науки от производства;

4) более того, коммерциализация в регионах за пределами Москвы, Санкт-Петербурга и Московской области в целом стала менее системной, возможно, за счет оттока ряда готовых к внедрению технологий в три ведущих региона;

5) рост доли инновационной составляющей российской экономики тем не менее продолжается, хотя и незначительными темпами (инновационная активность организаций выросла с 9,5 в 2010 до 10,3 % в 2012 году; удельный

вес инновационных товаров с 4,8 в 2010 до 8,0 % в 2012 году).

Авторы считают, что все результаты данной работы обладают новизной. Авторам не известны другие исследования такого рода статистических данных. Ими построены математические модели взаимосвязи между различными этапами инновационного процесса, изучена динамика связанности инновационной системы в Российской Федерации. При проведении исследований использовались ППП Statgraphics, Microsoft Office.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ методов исследования и прогнозирования инновационной активности на региональном уровне / А. Ф. Московцев, Р. А. Косенков, В. В. Великанов, А. Б. Симонов, В. Н. Цыганкова // Вопросы инновационной экономики. – 2012. – № 2. – С. 15–29.
2. Антоненко, Т. С. Динамика функций маркетинга в инновационном процессе / Т. С. Антоненко // Механізм регулювання економіки. – 2009. – Т. 2, № 3. – С. 56–59.
3. Голованчиков, А. Б., Кидалов, Н. А., Князева, А. С. Корреляционный анализ линеаризованного реологического уравнения для водно-глинистых суспензий с добавлением углекислого реагента (УЩР) // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12 (139). С. 16–19.
4. Шумпетер, Йозеф. Теория экономического развития. Капитализм, социализм, демократия // Й. Шумпетер – М.: Эксмо, 2007. – 864 с.
5. Coombs, Rod, Paolo Saviotti, Vivien Walsh (1987). Economics and Technological Change. Rowman & Littlefield.
6. Schmookler, Jacob Invention and economic growth / J. Schmookler – Harvard University press, 1966.
7. Государственная программа Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.economy.gov.ru/minec/about/structure/depstrategy/doc20130408_01
8. Сайт «Федеральная служба государственной статистики», раздел «Наука» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/

УДК 004.55

О. А. Сычев, Н. В. Калинин

АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

oasychev@gmail.com, nixorv@gmail.com

В статье рассматриваются проблемы использования существующих инструментов оценки студенческих работ в разных системах дистанционного образования (СДО) при организации многокритериального оценивания, а также описывается программная разработка, значительно расширяющая возможности преподавателя при оценивании работ студентов по множеству критериев различного вида.

Ключевые слова: проверка заданий, критерии оценки заданий, инструменты оценивания, система управления обучением, Moodle.

O. A. Sychev, N. V. Kalinin

AUTOMATISATION OF MULTI-CRITERIA GRADING OF STUDENTS WORK IN LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the problem of using existing student assignment grading tools in different learning management systems (LMS) with multi-criteria grading. The paper describes developed program which significantly improve teacher abilities to grade student's assignments by criteria of different types.

Keywords: assignment grading, assignment grading criteria, grading tools, learning management system, Moodle.

Введение

Системы дистанционного образования (learning management systems, LMS) являются современным средством поддержки как очного, так и дистанционного обучения. Они дают преподавателям возможности для разработки качественных, наглядных методических материалов; помогают снабжать этими материалами студентов; позволяют проводить оценку каче-

ства знаний студентов различными способами.

При получении высшего образования, особенно по техническим специальностям, студенты должны научиться анализировать и конструировать сложные технические системы и объекты. При проверке результатов сложных работ, направленных на развитие и закрепление этих навыков, одной оценки не всегда достаточно. Студент представляет к оцениванию

один или несколько артефактов (артефактом в рамках данной работы будет называться результат деятельности студента, представленный преподавателю для проверки и оценивания). Оценка каждого артефакта может быть сложной, то есть состоять из оценок по различного рода критериям, причем оценка по некоторым критериям может быть автоматической, другие же критерии не могут быть оценены без участия преподавателя.

Во многих случаях множество критериев учитывается преподавателем неявно в процессе выведения итоговой оценки. Однако явная спецификация критериев и формализация вычисления по ним итоговой оценки дает значительные преимущества [1]. Во-первых, четкий перечень критериев с правилами оценивания делает ситуацию прогнозируемой для обучаемых и позволяет добиваться более высокого качества выполненных работ ввиду более точной информации, за какие нарушения будет снижаться оценка. Во-вторых, многокритериальная система дает значительно более устойчивые результаты в случае, если из-за объема работ в оценке задействовано несколько преподавателей (ассистенты на лабораторных работах и т. д.), с ней также легче знакомить новых членов педагогического коллектива. Кроме того, многокритериальное оценивание упрощает реализацию компетентностного подхода к оцениванию [2].

Отметим, что шкалы для различных критериев при многокритериальном оценивании могут различаться: обычно применяют порядковые или интервальные шкалы.

Многокритериальное оценивание работ студентов ВолгГТУ

В качестве примера многокритериального оценивания рассмотрим оценивание лабораторных работ по дисциплине «Основы программирования». Эта потоковая дисциплина читается на первом и втором курсах факультета электроники и вычислительной техники студентам направлений «Информатика и вычислительная техника» и «Программная инженерия». Она является основной для многих профилирующих предметов в дальнейшем. Учитывая большое количество обучаемых студентов и частую смену ассистентов на предмете, формализация требований к оцениванию лабораторных работ была актуальной проблемой, которая решалась преподавателями кафедры ПОАС в течение нескольких лет.

Результатами лабораторной работы, представляемыми студентами на проверку (артефактами) в данном случае являются:

1) протокол лабораторной работы (текстовый документ);

2) программный код решения задачи на лабораторную работу (один или несколько файлов на языке C или C++, на основе которых после компиляции может быть собран исполняемый файл .exe);

3) программный код решения отчетного задания на модификацию (аналогично предыдущему пункту).

Оценка за всю лабораторную работу складывается из результата тестирования входного контроля, результатов тестирования основного и отчетного заданий, оценивания качества оформления и решения для программного кода основного задания, а также протокола.

Таким образом, программный код основного задания оценивается по следующим критериям:

а) работоспособность:

1) тестирование успешно пройдено (флажок);

2) количество попыток тестирования;

б) выполнение обязательных требований к оформлению кода (все критерии являются флажками):

1) для каждой переменной имеется комментарий с объяснением ее назначения;

2) единый стиль в наименовании переменных;

3) соответствующее стандарту проекта расположение фигурных скобок составных операторов;

4) соответствующие стандарту проекта отступы операторов внутри составных операторов;

5) ко всем функциям имеются комментарии в формате Doxygen;

в) выполнение дополнительных требований к оформлению кода (все критерии являются флажками):

1) по названиям переменных понятно их назначение;

2) единый язык слов в именах переменных (функций, классов);

3) в каждой строке не более одного оператора;

4) на строке непосредственно после управляющего оператора имеется комментарий, поясняющий назначение блока;

5) строки, содержащие case, содержат комментарий, объясняющий рассматриваемый случай;

б) логические блоки программы предваряются строчкой комментария, описывающей назначение блока;

г) качество кода (решения задачи):

1) краткость и ясность записи решения на языке программирования (порядковая шкала);

2) алгоритмическая сложность (порядковая шкала);

3) наличие кода, дублирующего стандартные функции (флажок);

4) наличие «неструктурных» операторов (флажок);

5) наличие глобальных переменных (флажок).

Для модификации вводится также критерий «количество выданных модификаций», так как при неудаче в решении одного отчетного задания студент должен решить другое на следующем занятии; при этом оформление кода и качество решения не оцениваются. К протоколу также предъявляется обширный список требований, который на данный момент слабо формализован.

Оценивание результатов конкретных лабораторных работ может дополняться специальными критериями, связанными с темой. Например, в работах, связанных с обучением использованию динамически выделяемой памяти, вводится критерий освобождения всей памяти к концу работы программы.

Важным аспектом многокритериального оценивания лабораторных работ по дисциплине «Основы программирования» является необходимость оценивать именно один и тот же артефакт, представляющий разработанную программу. Если исходный код программы и полученный из него исполняемый файл считать различными артефактами и оценивать их в различных элементах курса, то появляется возможность предоставления для проверки исполняемого файла, полученного не из исходного кода, загруженного в другой элемент курса (например, скрывая выдачу «правильных» результатов при конкретных тестовых данных вместо алгоритмического решения).

Возможности оценивания работ студентов в современных системах дистанционного образования

На сегодняшний день все наиболее развитые системы дистанционного образования позволяют применять простое непосредственное

оценивание (преподаватель выставляет одну оценку за всю работу в виде числа из некоторого диапазона, например от 0 до 100), а также порядковые шкалы (задаются n уровней достижений, каждому из которых соответствует оценка из диапазона $[0; n-1]$). Примерами таких систем являются распространенные системы с открытым исходным кодом Ilias и Sakai.

Возможность применения многокритериального оценивания в современных системах дистанционного образования появилась сравнительно недавно. Коммерческая система Black-board предоставляет возможность определять рубрики (таблицы, строки которых являются критериями, а столбцы – уровнями достижений, каждому из которых приписано определенное число баллов по соответствующему критерию). При этом имеется возможность выбрать на уровне критерия, будут ли баллы за уровень достижения заданы жестко или же преподавателю будет предоставлен выбор из некоторого диапазона для данного уровня. Также имеется возможность задать максимальное число баллов по критерию, а уровни достижений задать в виде процентов или диапазонов процентов. Однако, при наличии многих критериев, оценка по каждому из них имеет жестко заданный вид в виде шкалы.

Популярная система с открытым исходным кодом Moodle, активно используемая кафедрой «Программное обеспечение автоматизированных систем» ВолгГТУ для обучения по различным дисциплинам [3], предоставляет больше возможностей. Помимо обычного числового оценивания и использования шкал, Moodle вводит понятие «Advanced Grading Method» (AGM) [4], которое определяет методы оценивания как плагины, в которых реализована собственная логика работы метода, в том числе и способ преобразования оценок критериев в итоговую оценку. С их помощью возможности оценивания в системе могут расширяться сторонними разработчиками дополнительных модулей. В стандартный пакет Moodle уже входят модули «рубрика» и «справочник оценщика». Отметим, что рубрика Moodle несколько отличается от рубрики Blackboard: преподаватель может задавать разное число уровней для разных критериев, но в рубрике Moodle возможно только жестко заданное число баллов, соответствующее одному уровню достижений критерия. Справочник оценщика позволяет задать ряд критериев, каждый из которых оцени-

вается числом из указанного интервала. Отметим также, что, кроме описанных стандартных методов оценивания, существуют также и разработанные сообществом, доступные для загрузки из Moodle Plugins Directory, например, Checklist (каждый критерий является флажком), Learning Analytics Enriched Rubric [5].

Очевидно, в текущее время Moodle предоставляет наибольшие возможности в вопросе оценивания по сравнению с другими системами дистанционного образования. Однако и ее возможностей недостаточно для оценивания сложных работ. Главным ограничением Moodle является тот факт, что при оценивании одного артефакта может быть задействован только один метод оценивания (AGM), а каждый из них способен предоставить критерии только одного вида (например, только шкалы). Это не дает преподавателю возможности полноценно использовать всю мощь различных методов оценивания.

Meta – модуль многокритериального оценивания для LMS Moodle

Для решения поставленной проблемы на кафедре «Программное обеспечение автоматизированных систем» был разработан новый плагин: метод оценивания Meta, являющийся плагином Moodle (AGM), который дает возможность создавать формы оценивания с критериями различных видов. Основная идея этого плагина состоит в том, чтобы не задавать жестко виды критериев, с которыми он способен работать, а использовать возможности уже имеющихся установленных в системе методов оценивания: разработанный плагин позволяет оценивать работу по нескольким метакритериям,

каждый из которых является другим методом оценивания (AGM). При этом результирующая оценка выводится как взвешенная сумма оценок по всем метакритериям.

В ходе реализации плагина авторы столкнулись с некоторыми ограничениями архитектуры Moodle. Использование методов оценивания возможно в так называемых зонах оценивания, список которых определяет модуль элемента курса. Под *зоной* в Moodle понимают «некоторое место, где может проводиться оценивание», а в каждой зоне активным (тем, что используется при оценивании) может быть только один метод. При этом модуль не может формировать список этих зон динамически: согласно требованиям, список поддерживаемых зон должен быть фиксирован вне зависимости от конкретных экземпляров модуля с их настройками [6].

Тем не менее, если рассматривать ситуацию на более низком уровне, то создание дополнительных зон оценивания в том же контексте, что и основная зона, возможно – это так называемые «ложные» зоны (fake area). В терминологии плагина Meta они называются подзонами (subarea).

Метакритерий в плагине описывается следующими свойствами: название, вес оценки, подзона. В подзоне располагается один из установленных в системе Moodle методов оценивания (рубрика, справочник оценщика, и другие); вес определяет долю оценки, полученной от активного метода оценивания подзоны в общей, итоговой оценке плагина Meta; название необходимо преподавателю, чтобы быстрее ориентироваться среди всех метакритериев. Диаграмма классов модуля MetaAGM приведена на рис. 1.

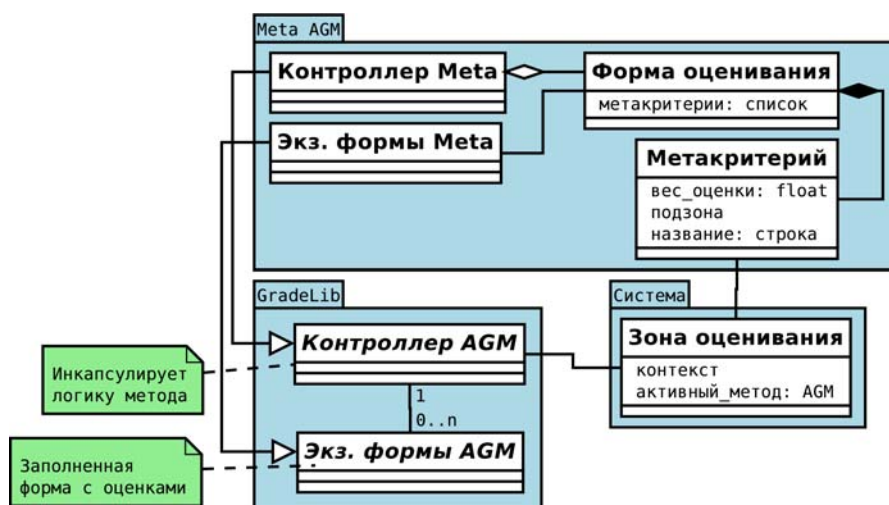


Рис. 1. Диаграмма классов логического уровня плагина Meta в нотации UML

Пример использования разработанного модуля

Рассмотрим возможности плагина Meta на примере приведенного выше оценивания кода лабораторной работы по дисциплине «Основы программирования».

Разработанный модуль обладает ограничением – каждый метакритерий должен быть методом оценивания Moodle. В связи с этим ограничением приведенный ранее список критериев для программного кода требует адаптации. Работоспособность будет представлена двумя критериями из числовых оценок (успешность – 0–1, бонус за количество попыток 0–7); критерии вида «да/нет» из группы «качество кода» были заменены на аналогичные шкалы. Итоговый набор метакритериев следующий:

а) работоспособность (метод оценивания – справочник оценщика):

1) тестирование пройдено успешно [0; 1];

2) бонус за количество попыток [0; 7];

б) оформление кода (метод оценивания – Checklist):

1) обязательные требования:

1.1) для каждой переменной имеется комментарий с объяснением ее назначения;

1.2) единый стиль в наименовании переменных;

1.3) соответствующее стандарту проекта расположение фигурных скобок составных операторов;

1.4) соответствующие стандарту проекта отступы операторов внутри составных операторов;

1.5) ко всем функциям имеются комментарии в формате Doxygen;

2) дополнительные требования:

2.1) по названиям переменных понятно их назначение;

2.2) единый язык слов в именах переменных, функций, классов;

2.3) в каждой строке не более одного оператора;

2.4) на строке непосредственно после управляющего оператора имеется комментарий, поясняющий назначение блока;

2.5) строки, содержащие case, содержат комментарий, объясняющий рассматриваемый случай;

2.6) логические блоки программы предваряются строчкой комментария, описывающей назначение блока;

в (качество кода (метод оценивания – рубрика):

1) краткость и ясность записи решения на языке программирования (шкала: более 5 лишних циклов и/или условий; 1–5 лишних циклов и/или условий; нет лишних циклов и/или условий);

2) алгоритмическая сложность (шкала: увеличение степени сложности; увеличение коэффициента при той же степени сложности; минимальная для поставленной задачи);

3) наличие кода, дублирующего стандартные функции (шкала: разработаны собственные аналоги стандартных функций; библиотечные функции использованы везде, где это требуется);

4) наличие «неструктурных» операторов (шкала: хотя бы одно использование break; continue или go to (кроме switch); применение «опасных» операторов только в разрешенных случаях);

5) наличие глобальных переменных (шкала: есть хотя бы одна глобальная переменная, используются только локальные переменные).

Внешний вид формы во время оценивания представлен на рис. 2.

Когда преподаватель завершает оценивание, происходит вычисление итоговой оценки, которая выставляется в журнал Moodle; она рассчитывается как взвешенная сумма оценок по метакритериям (оценкам, полученным от внутренних AGM). Однако экземпляр формы (конкретные значения оценок по критериям) не теряется, а также сохраняется. Эта заполненная форма также будет видна студенту вместе с комментариями преподавателя, которые помогут ему быстрее сориентироваться и понять свои ошибки. При этом на уровне метакритерия имеется возможность гибкого задания прав на просмотр студентом результатов оценивания: возможность видеть всю форму, ее часть или только итоговую оценку зависит от настроек внутренних методов оценивания. Это позволяет преподавателю гибко решать вопрос о доведении до сведения студента его ошибок и оценок качества работы по различным критериям.

В модуле POAS Assignment [7], активно применяемом кафедрой «Программное обеспечение автоматизированных систем» при проведении лабораторных по дисциплинам «Информатика», «Основы программирования», «Программирование» (и другим), авторами была реализована поддержка методов оценивания, которая заменила ранее разработанные критерии. Поэтому в новой версии модуль POAS Assignment будет включать в себя возможность

применять плагин Meta. Модуль POAS Assignment, в отличие от стандартного «задания» Moodle, позволяет выдавать индивидуальные

варианты заданий, что является эффективным методом борьбы с заимствованием студентами чужих работ.

Работоспособность

Тестирование успешно Все автоматические тесты пройдены	Проведено 15 тестов.	баллы 1 /1
Бонус за количество попыток Чем меньше попыток -- тем больше бонус	Номер попытки: 2	баллы 6 /7

Оформление кода

Обязательные требования

☐	Для каждой переменной имеется комментарий с объяснением ее назначения	1 points	Нет комментария для weight (функция tmain).
☒	Единый стиль в наименовании переменных	1 points	
☒	Соответствующее стандарту проекта расположение фигурных скобок составных операторов	1 points	

Качество кода

Краткость и ясность записи решения на языке программирования	Более 5 лишних циклов и/или условий 0 пунктов	1-5 лишних циклов и/или условий 1 пунктов	нет лишних циклов и/или условий 5 пунктов	Конструкции и if (condition) { var = true; } else { var =
Алгоритмическая сложность	Увеличение степени сложности 0 пунктов	Увеличение коэффициента при той же степени сложности 3 пунктов	Минимальная для поставленной задачи 4 пунктов	Обратите внимание на смысл счетчика внешнего
Наличие кода, дублирующего стандартные функции	Разработаны собственные аналоги стандартных функций 0 пунктов	Библиотечные функции использованы везде, где это требуется 5 пунктов		

Рис. 2. Фрагменты заполненной формы оценивания плагина Meta

Поскольку на лабораторных работах применяется автоматизированное тестирование разработанных программ по методу черного ящика, в перспективе планируется интеграция программы-тестировщика с Meta. Предполагается, что оценки по критериям работоспособности будут определяться автоматически именно этой программой с возможностью коррекции преподавателем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sparrow S. M. Describing the Ball: Improve Teaching by Using Rubrics – Explicit Grading Criteria // Michigan State Law Review. – 2004. – Т. 2004. – Р. 1.
2. Золотарева, С. С. Оценивание профессиональных компетенций в процессе обучения студентов в педагогическом вузе / С. С. Золотарева // Ярославский педагогический вестник. – 2014. – № 3. – С. 116–121.
3. Дворянкин, А. М. Применение автоматизированного тестирования на лабораторных работах / А. М. Дворянкин, И. Г. Жукова, О. А. Сычев // Изв. ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе»; вып. 4). – С. 166–168.
4. Advanced grading methods [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа : https://docs.moodle.org/28/en/Advanced_grading_methods
5. Dimopoulos I. et al. Using Learning Analytics in Moodle for assessing students' performance // 2nd Moodle Research Conference. Conference Proceedings. – 2013. – Pp. 40–46.
6. Advanced Grading API [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : https://docs.moodle.org/dev/Advanced_grading_API
7. Сычев, О. А. Совершенствование программного обеспечения модуля Assignment автоматизированной системы дистанционного обучения Moodle для применения в учебном процессе при изучении основ программирования / О. А. Сычев, А. А. Ерофеев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 13. № 4(91). С. 148–151.

УДК 519.816

Н. К. Усачева, Н. П. Садовникова

МОДЕЛЬ ВЫБОРА ПРОЕКТА ТЕХНИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА*

Волгоградский государственный технический университет

n.k.usacheva@gmail.com, npsn1@ya.ru

В статье рассматривается задача выбора наилучшего проекта технической модернизации промышленного предприятия, проведен анализ критериев, по которым необходимо проводить оценку проектов. Предложена иерархическая модель критериев, по которым проводится оценка проектов. Для выбора наилучшего варианта проекта модернизации предложено использовать подход, основанный на применении нечеткого логического вывода.

Ключевые слова: модернизация предприятий, техническая модернизация, нечеткий логический вывод.

N. K. Usacheva, N. P. Sadovnikova

SELECTION MODEL PROJECTS OF TECHNICAL MODERNIZATION OF THE ENTERPRISE BASED ON FUZZY INFERENCE

Volgograd State Technical University

In this paper we consider the problem of selecting the best project of technical modernization of industrial enterprises, analyzed the criteria which are necessary to evaluate projects. We propose a hierarchical model of the criteria for project evaluation. To select the best option modernization project we proposed to use an approach based on the use of fuzzy inference.

Keywords: modernization of enterprises, technical modernization, fuzzy inference.

Одной из основных проблем российских предприятий является проблема своевременного обновления оборудования и технологий, используемых данным предприятием.

Согласно официальным данным Росстата, степень износа основных фондов предприятий

на конец отчетного года в 2013 году составляла 48 %. Выше среднероссийского уровня изношены основные фонды в добыче полезных ископаемых (53 %), производстве транспортных средств и оборудования (52 %) [1]. Это приводит к уменьшению прибыли предприятия след-

© Усачева Н. К., Садовникова Н. П., 2015

* Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках проектной части Госзадания (проект № 2.1917.2014/К).

ствие поломок оборудования, возникновению профессиональных заболеваний работников, загрязнению окружающей среды.

Для повышения конкурентоспособности на мировом рынке, обеспечения условий для экономического роста российским предприятиям необходимо осуществить техническую и технологическую модернизацию производства.

Модернизация промышленности в технологическом отношении предполагает ее подтягивание до современных стандартов, которые задаются странами-лидерами технологического прогресса [2]. Модернизация предприятия включает в себя как обновление производства в технологическом и техническом плане, так и модернизацию управления предприятием и социально-экономическую модернизацию. Обновление производства, в свою очередь, подразумевает техническое перевооружение в сочетании с технологической модернизацией [3].

Результатом успешной реализации проекта модернизации производства является ежегодная экономия от внедрения новой технологии и установки нового оборудования. Предполагаемый экономический эффект рассчитывается заранее и является одним из главных критериев выбора проекта из ряда альтернативных. Важно учитывать соотношение стоимости нового оборудования и затрат на его эксплуатацию в течение всего жизненного цикла [4]. Помимо экономических параметров важную роль играют и технические параметры приобретаемого оборудования, такие как надежность системы и энергоэффективность, а также соответствие современным экологическим стандартам.

Выбор проекта модернизации

Выбор проекта модернизации зависит от целей, которые были поставлены. Обычно в качестве целей модернизации выступают следующие [5]:

- повышение качества выпускаемой продукции, выпуск новых видов продукции, применение современных технологий в производстве, автоматизация производственного процесса;
- снижение затрат на производство продукции, снижение потерь от брака, снижение эксплуатационных затрат, оптимизация энергоресурсов;
- удовлетворение современным экологическим требованиям к производству продукции.

Для выбора наилучшего проекта модернизации необходимо разработать систему критериев, в соответствии с которой оцениваются проекты.

Как уже было сказано выше, экономическая эффективность является наиболее важным критерием отбора проектов, так как любая модернизация требует значительных затрат ресурсов. Экономическая эффективность – показатель, характеризующий соотношение экономического эффекта (результата) и затрат, породивших этот эффект.

При подготовке модернизации необходимо учитывать риски, которые могут возникнуть при реализации проекта: финансовые риски (риск инфляции, риск изменения цен на готовую продукцию и др.), проектные риски (инвестиционные риски, риск превышения стоимости или сроков реализации проекта), экологические риски и пр.

Одной из важнейших задач является обеспечение экологической безопасности. Используемое оборудование и технологии должны соответствовать современным экологическим нормам для уменьшения степени негативного воздействия на окружающую среду. Концепция «экологически чистого производства» подразумевает выпуск изделий с более низким воздействием на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла. Такой подход подразумевает: во-первых, применение технологий с наименьшим потреблением токсичных веществ, природного сырья и энергии; во-вторых, создание экологичных изделий (не токсичных, сохраняющих энергию, требующих минимальной упаковки, долговечных и ремонтпригодных); в-третьих, возможность повторной переработки (сбор отработанных изделий изготовителем, восстановление исходных материалов, минимизация отходов) и, наконец, экологически чистое производство, направленное на поддержание биологического разнообразия (бережное отношение к праву на жизнь, осторожное обращение с генной инженерией, проживание в пределах экологического бюджета) [6].

Одним из важнейших аспектов экономии от модернизации является энергосбережение и энергоэффективность. На текущий момент энергоемкость российских предприятий в 2–3 раза превышает общемировую, к тому же на многих предприятиях широко используются более энергозатратные технологии [7].

Среди факторов, влияющих на энергоэффективность, можно выделить следующие [8]:

- применение энергосберегающих технологий;
- использование вторичных энергоносителей;

- использование возобновляемых источников энергии;
- создание системы управления энергосбережением;
- учет и контроль за расходом энергоресурсов;
- совершенствование организации производства и труда с целью экономии энергии.

Помимо этого, при разработке проекта модернизации необходимо учитывать изменения, касающиеся различных аспектов производственной деятельности, например, такие как [3]:

изменение требований к исходному сырью, материалам и полуфабрикатам, и как следствие

– вероятная необходимость поиска новых поставщиков;

изменение себестоимости выпускаемой продукции, и как следствие – вероятная необходимость пересмотра ценовой политики;

изменение оснастки, и как следствие – дополнительная загрузка инструментального отдела;

необходимость обучения и переквалификации персонала, возможное высвобождение рабочих мест.

Таким образом, факторы, которые необходимо учесть при выборе проекта модернизации, можно сгруппировать следующим образом:

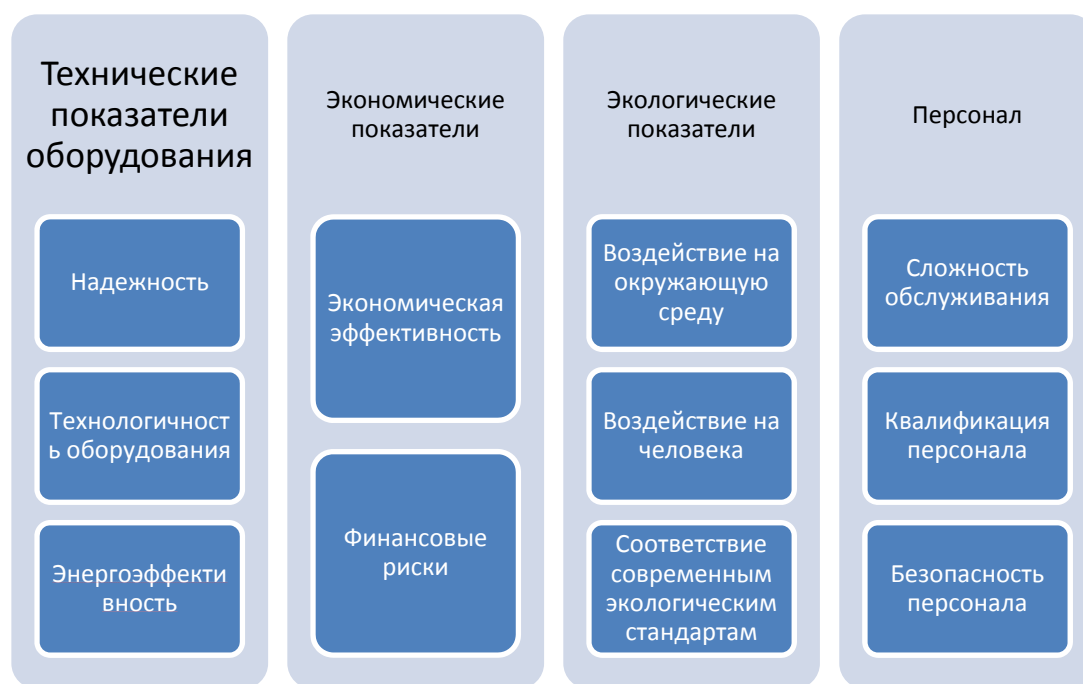


Рис. 1. Критерии выбора проекта модернизации

Постановка задачи

Решаемая задача может быть сформулирована как задача принятия решений, которая заключается в выборе лучшего проекта модернизации. Параметры, описывающие ситуацию принятия решения, следующие: условия функционирования предприятия (климатические и экономические и др.); множество оборудования и технологий, доступных для внедрения; численность и квалификация персонала, необходимость переобучения персонала для работы на новом оборудовании.

Для оценки альтернативных проектов используются следующие критерии: экономический, экологический, технический, квалификация персонала. Решающее правило для выбора

альтернативы – интегральная оценка, полученная на основе свертки критериев.

Анализ подходов к выбору проекта модернизации

Учитывая тот факт, что задача решается в условиях неполноты и неточности информации о протекающих процессах, недостаточности и недостоверности знаний, при наличии субъективности оценок, считаем целесообразным использовать для ее решения нечеткие методы. Метод многокритериального выбора альтернатив с использованием правил нечеткого вывода организует выбор лучшей альтернативы на основе композиционного правила агрегирования описаний альтернатив с информацией

о предпочтениях лица, принимающего решение, которые заданы в виде нечетких суждений.

Описание метода

Для оценки проектов все критерии представляются в виде иерархии, где оценка по каждому критерию рассчитывается на основе значений нижестоящих критериев [9]. Например, для экологического показателя иерархиче-

ская структура могла бы выглядеть так, как представлено на рис. 2.

Нечеткий логический вывод включает в себя следующие основные этапы: идентификацию критериев оценки проектов модернизации, заполнение базы правил, фаззификацию входных переменных, агрегирование подусловий, активизацию подзаключений, аккумуляцию заключений и дефаззификацию выходных переменных.

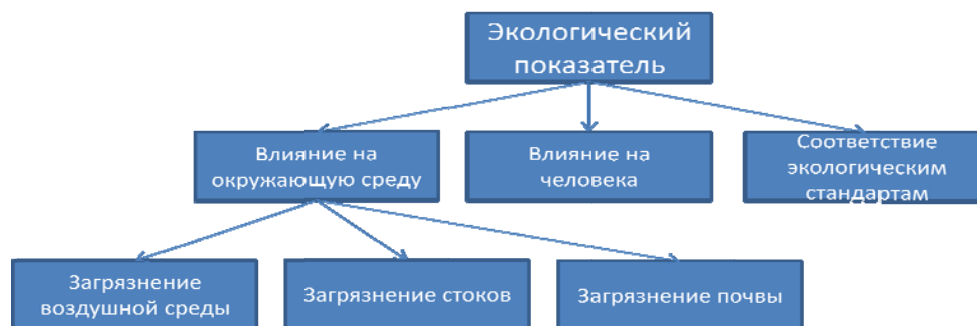


Рис. 2. Иерархия факторов, влияющих на оценку проекта модернизации с точки зрения экологии

На этапе заполнения базы правил происходит формализация эмпирических знаний о предметной области в виде правил нечетких продукций. На этом этапе знания эксперта обобщаются в виде правил «Если ... то ...».

На этапе фаззификации для каждой входной переменной строится соответствующая ей функция принадлежности. При этом обычно используют трапециевидные или треугольные функции принадлежности.

После фаззификации определяется степень истинности условий по каждому из правил (агрегирование) и находится степень истинности каждого из подзаключений (активизация). Полученные функции принадлежности по всем правилам объединяются (аккумуляция) и затем находится количественное значение для выходной переменной (дефаззификация).

Оценку каждого из проектов предполагается производить на основе применения нечеткого вывода для каждого уровня иерархии. Это осуществляется следующим образом. Непосредственно перед процедурой оценки критериев разрабатываются правила нечеткого вывода для каждого из уровней иерархии. То есть для представленного выше примера база правил включала бы в себя правила для выходной переменной «Негативное влияние на окружающую среду», «Негативное влияние на человека», «Соответствие экологическим стандартам», а также правила для выходной переменной верхнего уровня

«Экологический показатель». Правила записываются в следующем виде:

«IF<Уровень загрязнения воздушной среды = очень низкий> & <Уровень загрязнения почвы = очень низкий> & <Уровень загрязнения водной среды = очень низкий> THEN < Негативное влияние на окружающую среду = очень низкий>»

...

«IF<Уровень загрязнения воздушной среды = высокий> & <Уровень загрязнения почвы = высокий> & <Уровень загрязнения водной среды = высокий> THEN < Негативное влияние на окружающую среду = очень высокий>»

Нечеткий вывод для иерархической структуры можно осуществлять двумя способами. В первом случае четкие значения, полученные при нечетком выводе, передаются на следующий уровень иерархии, где эти значения приводятся к нечетким. То есть в этом случае для промежуточных переменных выполняются операции фаззификации и дефаззификации, поэтому для промежуточных переменных также необходимо задавать функции принадлежности.

При втором способе процедуры дефаззификации и фаззификации для промежуточных переменных не выполняются. Результат логического вывода в виде нечеткого множества напрямую передается в машину нечеткого вывода следующего уровня иерархии [10].

После того, как описана база правил, эксперту необходимо оценить критерии, находя-

щиеся на нижних уровнях иерархии. После процедуры нечеткого логического вывода для каждого из критериев (технический, экономический, экологический, квалификация персонала) будет получено четкое значение. Результирующая оценка для каждого проекта рассчитывается как интегральная сумма каждого их показателей верхнего уровня иерархии, умноженного на значимость показателя. Все проекты сортируются по возрастанию полученной оценки и, соответственно, наилучшим проектом для модернизации будет являться первая альтернатива в полученном списке.

Таким образом, при выборе проекта модернизации промышленных предприятий важно опираться не только на экономические и технические показатели, такие как прибыль, срок окупаемости, возможные риски, но и учитывать возможное негативное влияние на окружающую среду и человека, энергоэффективность предлагаемых решений, необходимость обучения и переквалификации персонала. Модернизация предприятий позволяет существенно экономить в будущем за счет применения современных технологий на производстве, вследствие чего снижается величина издержек производства и, следовательно, понижается цена на единицу готовой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Портал Федеральной службы государственной статистики. Основные фонды [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/fund/.
2. Балабанова, Е. С. Модернизация предприятий: факторы и направления / Е. С. Балабанова, А. О. Грудзинский, Ю. Г. Кудряшов // Социологические исследования. – 2002. – № 6. – С. 18–28.
3. Сиразетдинова, А. З. Особенности проектов модернизации производства на промышленном предприятии / А. З. Сиразетдинова // Казанский экономический вестник. – 2012. – № 2. – С. 86–90.
4. Кизим, А. В. Задачи и методы поддержки ТОИР обслуживания на протяжении его жизненного цикла // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 13. № 4(91). С. 55–59.
5. Мишанова, В. Г. Управление проектом по модернизации производства на металлургическом предприятии / В. Г. Мишанова // Организатор производства. – 2013. – № 1. – С. 27–30.
6. Фирова, И. П. Современные аспекты концепции устойчивого развития / И. П. Фирова // Ученые записки российского государственного гидрометеорологического университета. – 2005. – № 1. – С. 137–144.
7. Загоскин, М. С. Энергосбережение и энергоэффективность – важнейшее направление совершенствования горнодобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей / М. С. Загоскин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2010. – № 5. – С. 103–107.
8. Голованова, Л. А. Оценка факторного влияния на энергоэффективность производственной системы / Л. А. Голованова, Н. А. Бондаренко, М. С. Сюпова // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2014. – № 2 (34). – С. 241–248.
9. Садовникова, Н. П. Управление экологическими рисками проектов территориального развития / Н. П. Садовникова, М. С. Кузнецов, С. А. Васильев // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер. Строительная информатика. 2012. № 8 (24). С. 6.
10. Иванова, Н. Н. Исследование многошагового нечеткого вывода на примере построения экспертной системы оценки экологической безопасности производственной деятельности [Электронный ресурс] / Н. Н. Иванова, Н. Г. Ярушкіна. – Режим доступа : www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Ivanova.doc

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 621.372.54

Е. А. Богатырев, Д. С. Торопчин

СИНТЕЗ КОМПЛЕКСНЫХ SC-ФИЛЬТРОВ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПОДСИСТЕМ САПР ANADIGM DESIGNER 2

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

BogatyrevYA@mpei.ru, dionisiy_delph@mail.ru

Статья посвящена разработке теоретических предпосылок для автоматизированного проектирования комплексных SC-фильтров в однородном базисе с использованием метода комплексной задержки на базе подсистем САПР Anadigm Designer 2. Впервые подробно рассматривается вопрос фазировки комплексных КИХ- и БИХ-фильтров для устранения возможных дополнительных задержек. Теоретические результаты работы позволяют реализовывать перестраиваемые комплексные SC-фильтры в виде микросхем частного применения с использованием САПР Anadigm Designer 2.

Ключевые слова: разработка комплексного SC-фильтра, комплексный SC-фильтр, комплексная задержка, метод комплексной задержки, SC-схема комплексной задержки, реализация комплексных SC-фильтров с использованием САПР Anadigm Designer 2.

Y. A. Bogatyrev, D. S. Toropchin

SYNTHESIS of COMPLEX SC-filters AT SUPPORT of SUBSYSTEMS of a CAD ANADIGM DESIGNER 2

National Research University «MPEI»

The paper is devoted to development of the theoretical premises for computer-aided design of complex SC-filters in homogeneous basis with usage of a method of complex delay on the basis of CAD subsystems Anadigm Designer 2. For the first time question of phasing complex IIR- and FIR-filters for elimination of possible additional delays in detail is considered. The theoretical results of operation allow realizing tunable complex SC-filters as chips of private application with usage of a CAD Anadigm Designer 2.

Keywords: design of complex SC-filters, complex delay, complex delay method, the SC-circuit of complex delay, design of method of complex SC-filters by CAD Anadigm Designer 2.

Введение

Использование современных САПР для разработки телекоммуникационных систем дистанционной передачи информации на небольшие расстояния (Bluetooth), а также радиочастотных систем идентификации объектов (RFID системы) находит сегодня все более широкое распространение. В частности, одним из лидеров в разработке базисных комплектующих таких систем является компания Anadigm. С помощью САПР Anadigm Designer 2 сегодня широко внедряются подсистемы проектирования программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС) на переключаемых МОП-конденсаторах в виде так называемых комплексных SC-фильтров (Switched capacitors filters).

Известно [2], что SC-фильтры – это устройства дискретно-аналоговой обработки сигнала, в которых входное напряжение дискретизируется только по времени, с сохранением непрерывности по уровню.

В последние десятилетия комплексные полосовые фильтры высокого порядка, в силу технологичности производства и возможностей проектирования с помощью САПР Anadigm Designer 2, находят все большее применение на практике. Частотный диапазон таких частотно-избирательных устройств в большинстве случаев позволяет осуществить их практическую реализацию в базисе операционных усилителей и электронных ключей на МОП-транзисторах и переключаемых МОП-конденсаторах. Отметим,

что современный SC-фильтр восьмого порядка занимает на кристалле примерно в девять раз меньшую площадь, чем цифровой фильтр такого же порядка [4]. Кроме того, в таких схемах играют роль не столько номиналы емкостей, сколько их отношение, которое выдерживается в рамках единого технологического процесса с высокой точностью, что позволяет создавать прецизионные схемы обработки сигналов.

Основные достоинства SC-фильтров – это высокая степень интеграции, достигаемая использованием современной КМОП-технологии; простота сопряжения с чисто цифровыми устройствами; отсутствие дискретизатора в явном виде; возможность практической реализации на основе программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС, field programmable analog arrays – FPAА). Практическая реализация SC-устройств на ПАИС компании Anadigm представляет собой несколько конфигурируемых аналоговых блоков (КАБ), состоящих из матриц МОП-конденсаторов, ключей и операционных усилителей (ОУ).

На базе КАБ целесообразно создать библиотеку конфигурируемых аналоговых модулей (КАМ), которая может быть включена в базу данных САПР [7] для быстрого виртуального доступа к уже созданным подобным структурам при вариации ТЗ на проектирование SC-устройства. Ресурсы нескольких КАМ позволяют разработчику многовариантно конфигурировать конкретные SC-устройства под требования заказчика, а в дальнейшем осуществлять многокритериальный выбор лучших устройств из сгенерированного множества, реализуя тем самым синтез оптимальных проектов [6].

Таким образом, задача реализации комплексных SC-фильтров на ПАИС требует разработки целевых теоретических предпосылок и частных методик построения подсистем САПР для формирования базовых звеньев современных SC-фильтров требуемых порядков [8, 9].

Отсюда, актуальность разработки и внедрения подсистем для САПР Anadigm Designer 2, позволяющих проектировать современные комплексные SC-фильтры с учетом многофакторной модели и способов генерации конфигурации переключаемых структур, не вызывает сомнения.

Теоретические предпосылки синтеза SC-фильтров

Рассмотрим особенности синтеза комплексных SC-фильтров как дискретно-аналоговых

устройств в однородном базисе. Синтез таких SC-фильтров можно осуществлять двумя способами:

- 1) синтезировать аналоговый RC-фильтр с соответствующей передаточной функцией с последующим переходом к его SC-реализации путем замены резисторов их SC-эквивалентами;
- 2) получить передаточную функцию и функциональную схему устройства в z-области с использованием методов синтеза цифровых фильтров, после чего заменить блоки функциональной схемы их SC-эквивалентами.

Первый способ справедлив только в том случае, если частота входного сигнала намного меньше частоты тактирующей последовательности $f_{вх} \ll f_T$. Если это условие не выполняется, то АЧХ полученного SC-фильтра существенно отличается от АЧХ аналогового фильтра, на базе которого построен SC-фильтр.

Второй подход позволяет получить SC-фильтр, передаточная функция которого в z-области будет соответствовать ожидаемой и в диапазоне частот входных сигналов, когда условие $f_{вх} \ll f_T$ перестанет выполняться.

Цифровые комплексные фильтры можно рассчитывать, используя метод инвариантных частотных характеристик, метод смещения частотных характеристик цифровых ФНЧ, метод цифрового моделирования однородных аналоговых комплексных фильтров и др. Весьма распространенным является метод смещения частотных характеристик. Использование звена комплексной задержки позволяет синтезировать комплексные полосовые и режекторные фильтры в однородном базисе с достаточно простым алгоритмом перестройки по центральной частоте [1]. Для синтеза комплексных SC-фильтров с использованием метода комплексной задержки необходимо распространить его в область дискретно-аналоговых устройств с учетом их специфики.

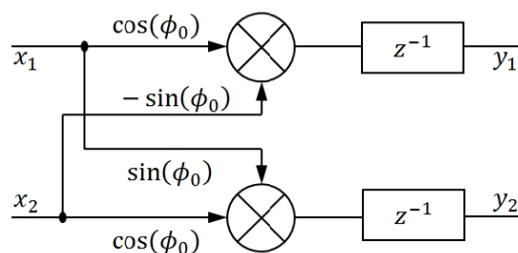


Рис. 1. Функциональная схема звена комплексной задержки

Функциональная схема звена комплексной задержки, реализующая передаточную функцию $\underline{z}^{-1} = e^{j\varphi_0} z^{-1}$, представлена на рис. 1. Предлагается SC-реализация звена комплексной за-

держки [3, 5], передаточная функция которого в точности соответствует приведенной функциональной схеме в z-области (рис. 2).

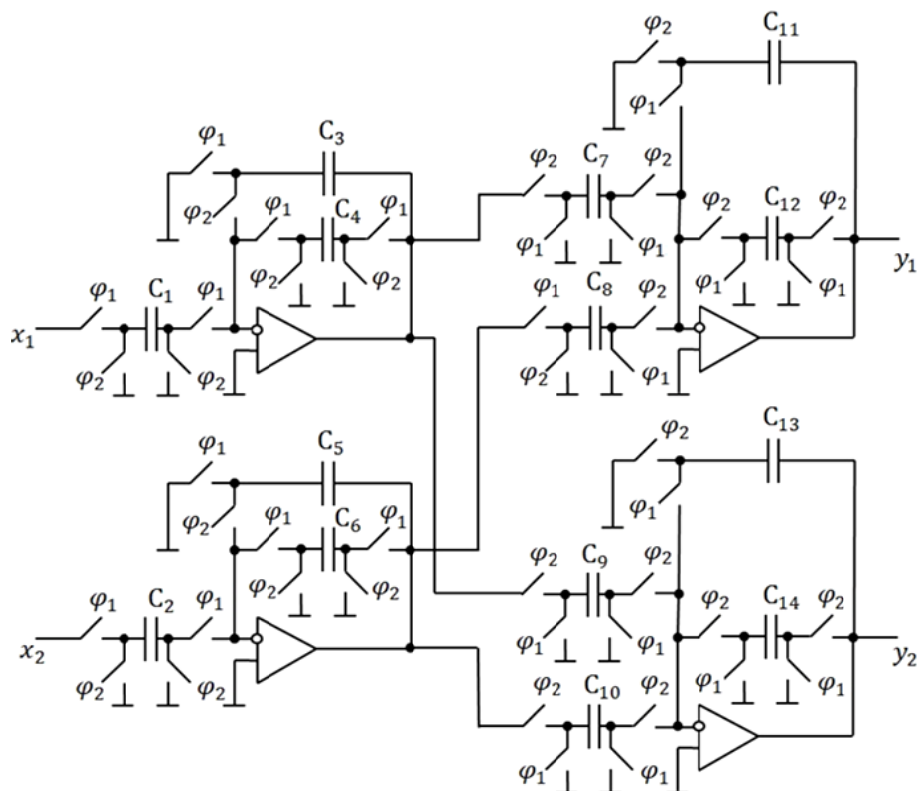


Рис. 2. SC-реализация блока комплексной задержки

Считывание входного сигнала в предложенном звене осуществляется во время фазы φ_1 тактирующей последовательности. Выходной сигнал становится доступен для считывания во время фазы φ_2 , т. е. через полтакта, и остается доступным для считывания во время следующей фазы φ_1 . Такая возможность появляется за счет подключения конденсаторов C_{11} и C_{13} , которые поддерживают постоянным выходной сигнал во время фазы φ_1 , когда происходит сброс заряда емкостей C_{12} и C_{14} . Необходимость считывать сигнал на полтакта раньше возникает, когда сигнал с выхода звена комплексной задержки подается на неинвертирующий масштабный усилитель. Такой масштабный усилитель вносит дополнительную задержку на полтакта, поэтому на его вход необходимо подавать сигнал раньше, чтобы не вносить дополнительных задержек в SC-схему [3].

Если сдвиг по частоте осуществляется менее, чем на $f_r/4$, т. е. $\varphi_0 < \pi/2$ (наиболее распространенный случай), то схема звена комплексной задержки в точности соответствует рис. 2.

Выбор емкостей в таком случае предлагается осуществлять следующим образом:

$$\frac{C_1}{C_4} = \frac{C_3}{C_4} = \frac{C_2}{C_6} = \frac{C_5}{C_6} = \frac{C_{11}}{C_{12}} = \frac{C_{13}}{C_{14}} = 1;$$

$$\frac{C_7}{C_{12}} = \frac{C_{10}}{C_{14}} = \cos(\varphi_0); \quad \frac{C_8}{C_{12}} = \frac{C_9}{C_{14}} = \sin(\varphi_0).$$

Если условие $\varphi_0 < \pi/2$ не выполняется, то необходимо изменить фазировку выходных сумматоров SC-звена комплексной задержки в соответствии со знаками выражений $\cos(\varphi_0)$ и $\sin(\varphi_0)$.

Рассмотрим особенности синтеза комплексных КИХ- и БИХ-фильтров на переключаемых МОП-конденсаторах. Пусть требуется реализовать комплексный полосовой SC-фильтр четвертого порядка. Передаточная функция ФНЧ, АЧХ которого сдвигается по частоте, будет в общем случае выглядеть так:

$$H_{КИХ}(z) = K_o(a_o + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}) - \quad (1)$$

для КИХ-фильтра;

$$H_{БИХ}(z) = K_o(a_o + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}) / (1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}) - \quad (2)$$

для БИХ-фильтра.

Соответствующие функциональные схемы приведены на рис. 3 и 4.

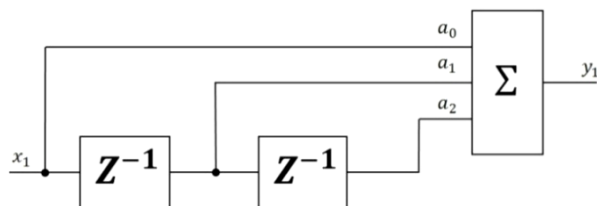


Рис. 3. Функциональная схема КИХ-фильтра 2-го порядка

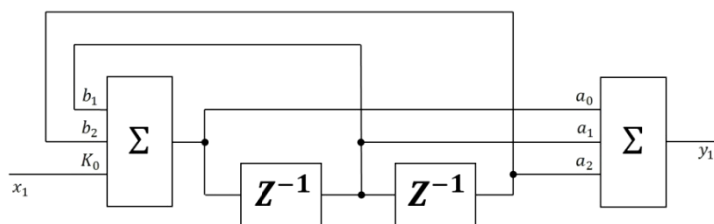


Рис. 4. Функциональная схема БИХ-фильтра 2-го порядка

Функциональные схемы комплексных КИХ- и БИХ-фильтров, полученных в результате смещения частотных характеристик вдоль оси частот методом комплексной задержки, представлены на рис. 5 и 6 [2, 5].

Теоретические предпосылки проектирования SC-фильтров

Далее, в процессе синтеза структуры, возникает вопрос о переходе от функциональной схемы фильтра к его SC-реализации. Как уже

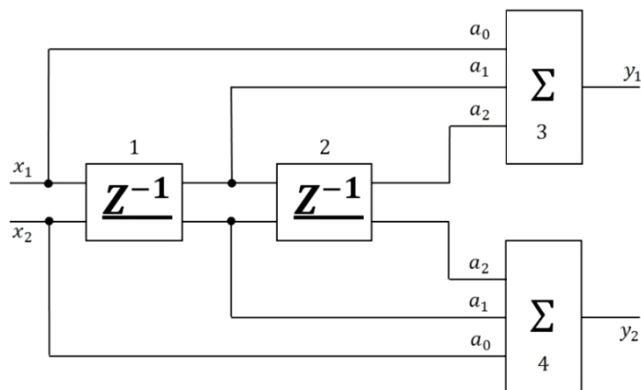


Рис. 5. Функциональная схема комплексного КИХ-фильтра 4-го порядка

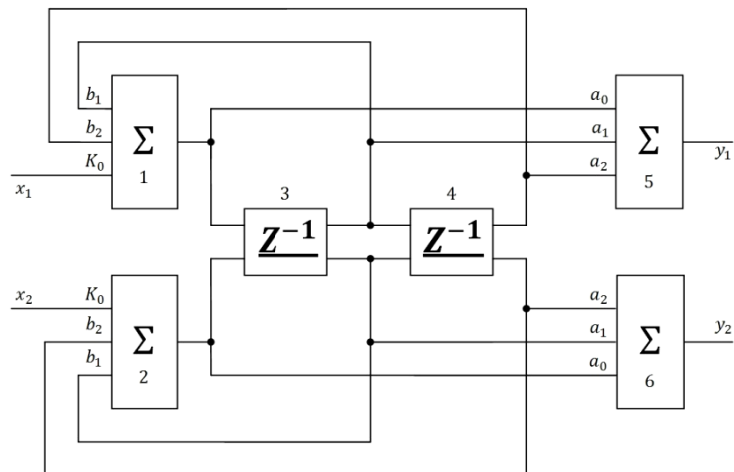


Рис. 6. Функциональная схема комплексного БИХ-фильтра 4-го порядка

отмечалось ранее, неинвертирующий масштабный усилитель вносит в сигнал дополнительную задержку на полтакта. Если в ветвях передачи с коэффициентами a_1, a_2, b_1, b_2 для обоих типов фильтров можно просто считывать сигнал с блока комплексной задержки на полтакта раньше, то в случае с коэффициентом a_0 такая возможность отсутствует. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Если в выражении (1) для КИХ-фильтра требуется реализовать $a_0 > 0$, то для устранения нежелательной задержки есть, по крайней мере, два пути. Можно поставить в соответствующей ветви передачи дополнительный SC-инвертор, однако это приведет к увеличению количества ОУ в схеме. Второй путь предполагает (если это допустимо) выполнение КИХ-фильтра в инверсной форме, т. е. смену знаков всех коэффициентов фильтра с целью сделать $a_0 < 0$.

Осуществим переход от функциональной схемы комплексного КИХ-фильтра к его SC-

реализации для случая, когда коэффициенты передаточной функции (1) имеют следующие знаки: $a_0 < 0, a_1, a_2 > 0$. Поскольку коэффициенты $a_1, a_2 > 0$, сигнал с блоков комплексной задержки 1 и 2 должен считываться соответствующими входами сумматоров 3 и 4 (рис. 5) на полтакта раньше, что должно найти отражение в выборе фазировки (рис. 7). Так, сигнал должен считываться во время фазы φ_2 . С использованием библиотеки базовых звеньев получим SC-реализацию соответствующих блоков [2]. SC-реализация блоков 1 и 2 приведена на рис. 2. Блоки 3 и 4 представляют собой трехвходовые сумматоры. С учетом описанных выше особенностей фазировки их SC-реализация приобретает вид, показанный на рис. 7. Отношения емкостей следует выбирать равными модулю коэффициентов передачи, так как их знак уже учтен при выборе фазировки: $C_1/C_4 = a_0, C_2/C_4 = a_1, C_3/C_4 = a_2$ для сумматора 3; $C_1/C_4 = a_2, C_2/C_4 = a_1, C_3/C_4 = a_0$ для сумматора 4.

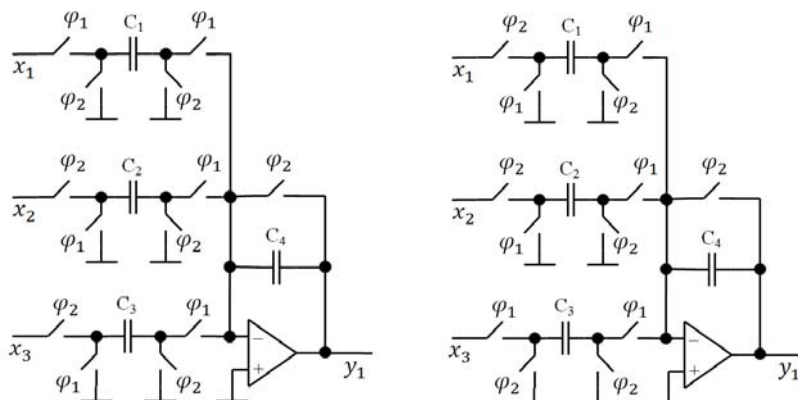


Рис. 7. SC-реализация сумматоров 3 (слева) и 4 (справа)

Таким образом, выполнена SC-реализация всех блоков, входящих в состав комплексного КИХ-фильтра четвертого порядка. Итоговая схема не приводится в тексте статьи из-за некоторой громоздкости. Однако ее получение, как отмечалось выше, связано лишь с подстановкой SC-реализаций блоков (рис. 2, 7) в схему, изображенную на рис. 5, с полным соответствием расположения входов и выходов. Можно сделать вывод, что при реализации комплексного фильтра порядка N количество операционных усилителей K будет выражаться формулой $K=4N+2$. Если необходимо ввести дополнительные инверторы, то формула примет вид $K=4N+4$.

При SC-реализации комплексного БИХ-фильтра также необходимо не допустить возникновения дополнительных задержек в ветви

передачи с коэффициентом a_0 (см. формулу (2)). Если коэффициенты K_0 и a_0 одинакового знака, то следует выбрать их отрицательными, соответствующим образом поменяв знаки остальных коэффициентов. Если же они разных знаков, то, как и в случае с КИХ-фильтром, есть два варианта действий: либо сделать фильтр инверсным, либо внести в соответствующие ветви дополнительные инверторы.

Осуществим переход от функциональной схемы комплексного БИХ-фильтра к его SC-реализации для случая, когда коэффициенты передаточной функции (2) имеют следующие знаки: $K_0, a_0, a_1, a_2, b_1 > 0, b_2 < 0$. Поскольку коэффициент $a_0 > 0$, изменим знаки с целью устранения нежелательных задержек следующим образом: $K_0, a_0, a_1, a_2, b_2 < 0, b_1 > 0$. В таком случае

считывание сигнала с блока комплексной задержки 3 (рис. 6) сумматорами 1 и 2 по входам b_1 должно производиться на полтакта раньше, т. е. во время фазы φ_2 тактирующей последовательности.

SC-реализация блоков комплексной задержки 3 и 4 (рис. 6) приведена на рис. 2. Блоки 1, 2, 5 и 6 представляют собой трехвходовые сум-

маторы. С учетом особенностей фазировки их SC-реализация приобретает вид, показанный на рис. 8 и 9.

Отношения емкостей выбираются так: $C_1/C_4=b_1$, $C_2/C_4=b_2$, $C_3/C_4=K_0$ для сумматора 1; $C_1/C_4=K_0$, $C_2/C_4=b_2$, $C_3/C_4=b_1$ для сумматора 2; $C_1/C_4=a_0$, $C_2/C_4=a_1$, $C_3/C_4=a_2$ для сумматора 5 и $C_1/C_4=a_2$, $C_2/C_4=a_1$, $C_3/C_4=a_0$ для сумматора 6.

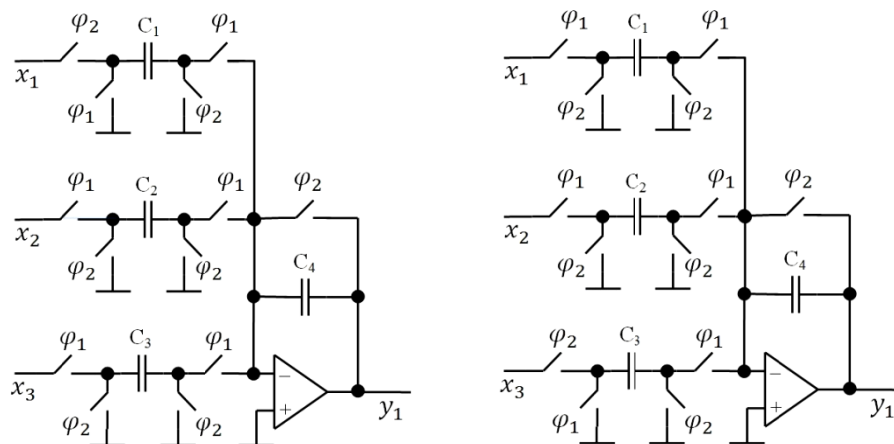


Рис. 8. SC-реализация сумматоров 1 (слева) и 2 (справа)

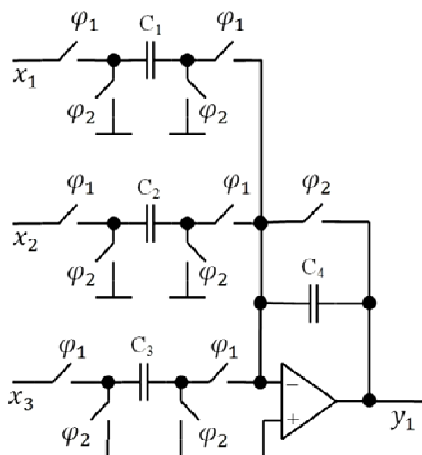


Рис. 9. SC-реализация сумматоров 5 и 6

Итак, выполнена SC-реализация всех блоков, входящих в состав комплексного БИХ-фильтра четвертого порядка. При реализации комплексного SC-фильтра порядка N количество операционных усилителей K будет выражаться формулой $K=4N+4$. Если необходимо ввести дополнительные инверторы, то формула примет вид $K=4N+6$.

Использование САПР Anadigm Designer 2 при разработке SC-фильтров

Реализация комплексных SC-фильтров четвертого порядка проводилась на ПАИС компа-

нии Anadigm с использованием в качестве конфигурируемых аналоговых модулей для проектирования комплексных SC-фильтров звена комплексной задержки и многовходовых сумматоров. Экспериментальные данные, полученные при использовании САПР Anadigm Designer 2 при разработке SC-фильтров, подтверждают правильность основных теоретических результатов. В работе впервые представлены теоретические предпосылки и практические примеры SC-реализации блоков, входящих в состав комплексного БИХ-фильтра, которые могут быть использованы в подсистеме САПР Anadigm Designer 2 для автоматизированного проектирования комплексных SC-фильтров [6, 8, 9]. В частности, показано, что для комплексного КИХ SC-фильтра порядка N количество операционных усилителей K будет выражаться формулой $K = 4N + 2$. Если необходимо ввести дополнительные инверторы, то формула примет вид: $K = 4N + 4$. Для комплексных БИХ-фильтров количество операционных усилителей будет выражаться формулой $K = 4N + 4$, а в случае введения дополнительных инверторов – $K = 4N + 6$, что на два операционных усилителя больше, чем для КИХ-фильтров. Однако следует отметить, что БИХ-фильтры позволяют получить лучшую избирательность при одина-

ковом порядке с КИХ-фильтрами. В то же время при определенных условиях КИХ-фильтры могут обладать линейной ФЧХ.

Выводы

Теоретические результаты работы дают возможность использовать систему автоматизированного проектирования Anadigm Designer 2 для разработки и реализации комплексных SC-фильтров на ПАИС в виде микросхем частного применения. Для этого авторами предложен новый подход к синтезу комплексных SC-фильтров, базирующийся на методе комплексной задержки. В частности, SC-реализация звена комплексной задержки позволяет распространить метод комплексной задержки на дискретно-аналоговые устройства. Переход от передаточной функции комплексного SC-фильтра к его SC-реализации проиллюстрирован на примере комплексных КИХ- и БИХ-фильтров четвертого порядка. Рассмотрены вопросы выбора фазировки SC-схемы с целью устранения дополнительных задержек в ветвях прямой передачи и обратной связи. Предложенные разработки могут быть полезны специалистам по информационным системам, теории фильтрации и САПР в области радиотехники и обработки сигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гребенко, Ю. А. Проектирование цифровых комплексных фильтров методом комплексной задержки / Ю. А. Гребенко, Акар Мью // Вестник МЭИ. – 2009. – № 1. – С. 70.
2. Торопчин, Д. С. Теоретические и практические аспекты проектирования устройств на переключаемых МОП-конденсаторах / Д. С. Торопчин // Вестник МЭИ. – 2014. – № 3. – С. 89–97.
3. Торопчин, Д. С. Комплексные фильтры на переключаемых МОП-конденсаторах / Д. С. Торопчин // Тр. междунар. конф. «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» REDS-2014. – М., 2014. – С. 311–314.
4. Щерба, А. Программируемые аналоговые ИС Anadigm: применение конфигурируемых аналоговых модулей в составе программы Anadigm Designer2 / А. Щерба // Компоненты и технологии. – 2007. – № 12.
5. Toropchin, D. S. Complex switched MOS capacitor filters // 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. 2014. – P. 963–965.
6. Кандырин, Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР : учеб. пособие для вузов / Ю. В. Кандырин, – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 174 с.
7. Камаев, В. А., Кандырин, Ю. В. Онтологические предпосылки проектной деятельности и САПР // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 20. № 6(133). С. 97–101.
8. Фоменков, С. А. Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний : монография / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 278 с.
9. Представление физических знаний для автоматизированных систем обработки информации : моногр. / С. А. Фоменков, А. В. Петрухин, В. А. Камаев, Д. А. Давыдов. – Волгоград : Принт, 1998. – 152 с.

УДК 621.83

А. А. Гончаров, Ан. А. Гончаров

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСИЛИЯ ПРИЖИМНОГО УСТРОЙСТВА НА ТОРМОЖЕНИЕ КЛИНОВОГО МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА

Волгоградский государственный технический университет

dtm@vstu.ru

В статье приводятся результаты моделирования напряженно-деформированного состояния механизма свободного хода при наличии поджимающего клин устройства. Исследовано влияние величины усилия пружины на торможение механизма.

Ключевые слова: механизм свободного хода, усилие прижимного устройства, нормальное давление, максимальное касательное напряжение, фрикционное сцепление.

A. A. Goncharov, An. A. Goncharov

ASSESSMENT OF EFFORTS CLAMPING DEVICES FOR BRAKING WEDGE FREE-WHEEL MECHANISM

Volgograd State Technical University

The article presents the results of modeling of stress-strain state of the freewheel in the presence of a wedge braking device. The influence of the magnitude of the spring force on the brake mechanism.

Keywords: freewheel, the force of the press device, normal pressure, the maximum shear stress, friction clutch.

Функционирование самотормозящихся клиновых механизмов свободного хода (МСХ) с дополнительной кинематической связью [1] полностью зависит от работоспособности триботехнической системы. Ее обязательным конструктивным элементом служит прижимное устройство, основным назначением которого является обеспечение постоянного контакта клина с обоймами и исключение ударов в МСХ. В самозаклинивающихся механизмах передача крутящего момента обеспечивается за счет сил трения, возникающих в кинематических парах клина с обоймами. Поэтому дополнительное усилие $\bar{F}$ со стороны прижимного устройства является незначительным (рис. 1). Оно должно компенсировать действие на клин массовых и динамических нагрузок. В МСХ с принудительным заклиниванием величина воздействия на клин со стороны дополнительных устройств может быть соизмеримой с силами, возникающими при действии функциональной нагрузки. Возможность создания МСХ обоих типов обуславливает причины, благодаря которым при проектном расчете величина усилия пружины может и должна рассматриваться в качестве внутреннего силового фактора.

Свойство самоторможения МСХ при заданном коэффициенте трения обеспечивается за счет выбора геометрических параметров элементов механизма. Отметим, что величина коэффициента трения под воздействием различных эксплуатационных факторов (приработка деталей, изменение температуры, скорости движения и т. п.) может существенно снижаться, приводя к нестабильной работе триботехнической системы. Для предотвращения такого явления при проектировании МСХ должен обеспечиваться гарантированный запас по сцеплению элементов. Одним из вариантов создания указанного запаса является использование усилия прижимного устройства в качестве фактора, улучшающего условия фрикционного сцепления тел. Практический интерес представляет анализ ситуации, возникающей в самотормозящемся механизме при снижении коэффициентов трения в областях клина с обоймами. В этом случае нарушаются условия фрикционного замыкания, и МСХ проскальзывает. Силовое замыкание элементов может осуществляться только за счет усилия пружины.

В данной публикации исследована реакция триботехнической системы клинового МСХ, имеющей прижимное устройство, на внешнее меха-

ническое воздействие. Моделирование выполнено при использовании неконсервативной гранично-элементной модели МСХ, описание которой, а также наиболее важных процедур контактного алгоритма приведены в работах [2, 3].

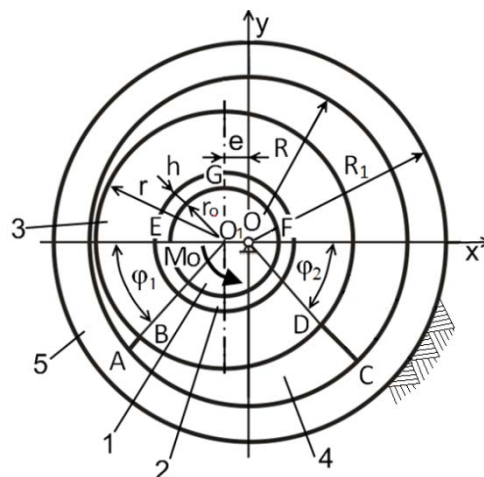


Рис. 1. Расчетная схема триботехнической системы клинового МСХ:

1 – ведущий вал-эксцентрик; 2 – подшипник скольжения; 3 – ведущая обойма; 4 – клин; 5 – ведомая обойма

Рассмотрим поведение МСХ в стоповом режиме при действии внешнего крутящего момента M_o , приложенного к ведущему валу-эксцентрику. Усилие пружины $\bar{F}$ используется в качестве постоянно действующего внутреннего силового фактора. Конфигурацию звеньев определяют эксцентриситет e , радиус вала r_o , внутренний радиус подшипника r_1 , толщина подшипника h , а также радиусы обойм (клина) соответственно r , R , R_1 и углы радиальных срезов клина φ_1 , φ_2 . Согласно принятым допущениям [2], вал-эксцентрик является жестким телом, и во всех областях контакта (кроме подшипника) реализуется идеальное сопряжение элементов. Упругие свойства тел задают значения материальных констант – модуля Юнга (E) и коэффициента Пуассона (ν); в областях контакта клина с обоймами реализуются постоянные коэффициенты f_{AC} , f_{BD} , значения которых соответствуют условиям граничного трения.

Предварительное моделирование показало, что при реализации в областях контакта клина с обоймами коэффициентов трения $f_{AC} = f_{BD} = 0,12$ МСХ с геометрическими параметрами элементов: $e = 5$ мм; $r_o = 13$ мм; $h = 3$ мм; $r = 29$ мм; $R = 35$ мм; $R_1 = 50$ мм; $\varphi_1 = 60^\circ$; $\varphi_2 = 60^\circ$ является самотормозящимся в отсутствие поджимающего устройства. С уменьшением коэффициентов до 0,1 МСХ в идентичных условиях нагруже-

ния утрачивает эту способность. В дальнейшем данный механизм будем называть несамотормозящимся.

Действие внешней нагрузки M_0 обеспечивает необходимое сжатие элементов МСХ и одновременно инициирует их скольжение относительно неподвижной ведомой обоймы. Создаваемая пружиной однонаправленная касательная нагрузка на клин вызывает в областях AC и BD дополнительные касательные и нормальные усилия, которые суммируются с контактными напряжениями, возникающими от действия момента. В таком случае кинематическое состояние конструкции зависит не только от соотношения нагрузок, но и от истории ее нагружения.

Исходя из предположения, что заданное постоянное усилие пружины $\bar{F}$ обеспечивает торможение механизма, решение задачи осуществлялось в процессе поэтапного нагружения: $M_0 = 0, \dots, M_{tr}^{\max}$, где $M_{tr}^{\max}$ – определяемая при решении задачи величина момента, вызывающая проскальзывание МСХ. На рис. 2, 3 показаны распределения нормальных давлений и сил трения в неблагоприятной для сцепления области контакта клина с ведомой обоймой. На оси абсцисс графиков показаны номера граничных элементов (ГЭ) регулярной сетки. Семейства кривых построены при значении $F = 30$ Н для фиксированных углов поворота вала-эксцентрика $\varepsilon = 0,03, 0,045, 0,05, 0,06$ и $0,07^\circ$, которым соответствовали интегральные значения удельного момента $M_0 = 2,2, 3,3, 3,7, 4,4$ и $5,1$ Нм.

Анализ графических зависимостей показал, что усилие пружины оказывает влияние на механизм контактного взаимодействия элементов, создавая при определенном ее уровне условия для вырождения кинематических пар клина с обоймами и торможения МСХ. Для самотормозящегося МСХ, находящегося в условиях простого нагружения, характерным является пропорциональное возрастание нормальной и касательной нагрузок, создаваемых при малых углах поворота эксцентрика. Поэтому реализация включения механизма не зависит от уровня прикладываемого момента M_0 .

Действие даже незначительной внутренней силы $\bar{F}$ улучшает фрикционное сцепление элементов и обеспечивает возможность передачи МСХ большей касательной нагрузки или создает запас по сцеплению. Поведение несамотормозящейся конструкции с поджимающим

устройством существенно зависит от величины момента. При значениях $M_0 < M_{tr}^{\max}$ происходит торможение механизма, и распределения нормальных и касательных напряжений в областях контакта элементов имеют общий характер с соответствующими напряжениями, возникающими в случае нагружения самозаклинивающейся конструкции [4]. Усилие пружины практически не оказывает влияния на распределение нормальных давлений. Увеличение момента приводит к пропорциональному росту давлений при неизменном характере их распределения по длине области контакта AC (рис. 2, а).

От усилия пружины наиболее существенно зависит формирование системы сил трения, создающих сопротивление относительному скольжению элементов (рис. 2, б). Сила упругости пружины оказывает влияние на закономерности распределения сил трения в указанной области. Кривые, соответствующие значениям момента 2,2; 3,3; 3,7 и 4,4 Нм, имеют смещенную к широкому краю клина седловидную зону, размеры которой уменьшаются при поэтапном увеличении момента. Присутствие такой зоны является признаком наличия зоны жесткого сцепления в области контакта. В частности, подобный характер имеет распределение сил трения в самотормозящейся модели МСХ ($f_{AC} = f_{BC} = 0,12$) без поджимающей пружины. Действие момента $M_0 = 5,1$ Нм приводит полному исчезновению седловины зоны. Аналогичным образом распределяются силы трения в несамотормозящемся механизме ($f_{AC} = f_{BC} = 0,1$).

Более детально состояние фрикционного контакта клина с обоймами описывают построенные на его границах графические зависимости модуля отношения сил трения и нормальных давлений $|\sigma_s / \sigma_n|$ (рис. 3). Они определяют наличие, локализацию и протяженность зон жесткого сцепления тел, в пределах которых выполняется условие $|\sigma_s| \leq f_{AC} |\sigma_n|$. Размеры зон определены графически при пересечении кривых $|\sigma_s / \sigma_n|$ линией постоянного уровня $f_{AC} = 0,1$. Зона жесткого сцепления, соответствующая внешнему моменту $M_0 = 3,7$ Нм, обозначена как L_{st} . Представленные графические зависимости наглядно иллюстрируют процесс эволюционного вырождения зон жесткого сцепления в области контакта AC при увеличении M_0 .

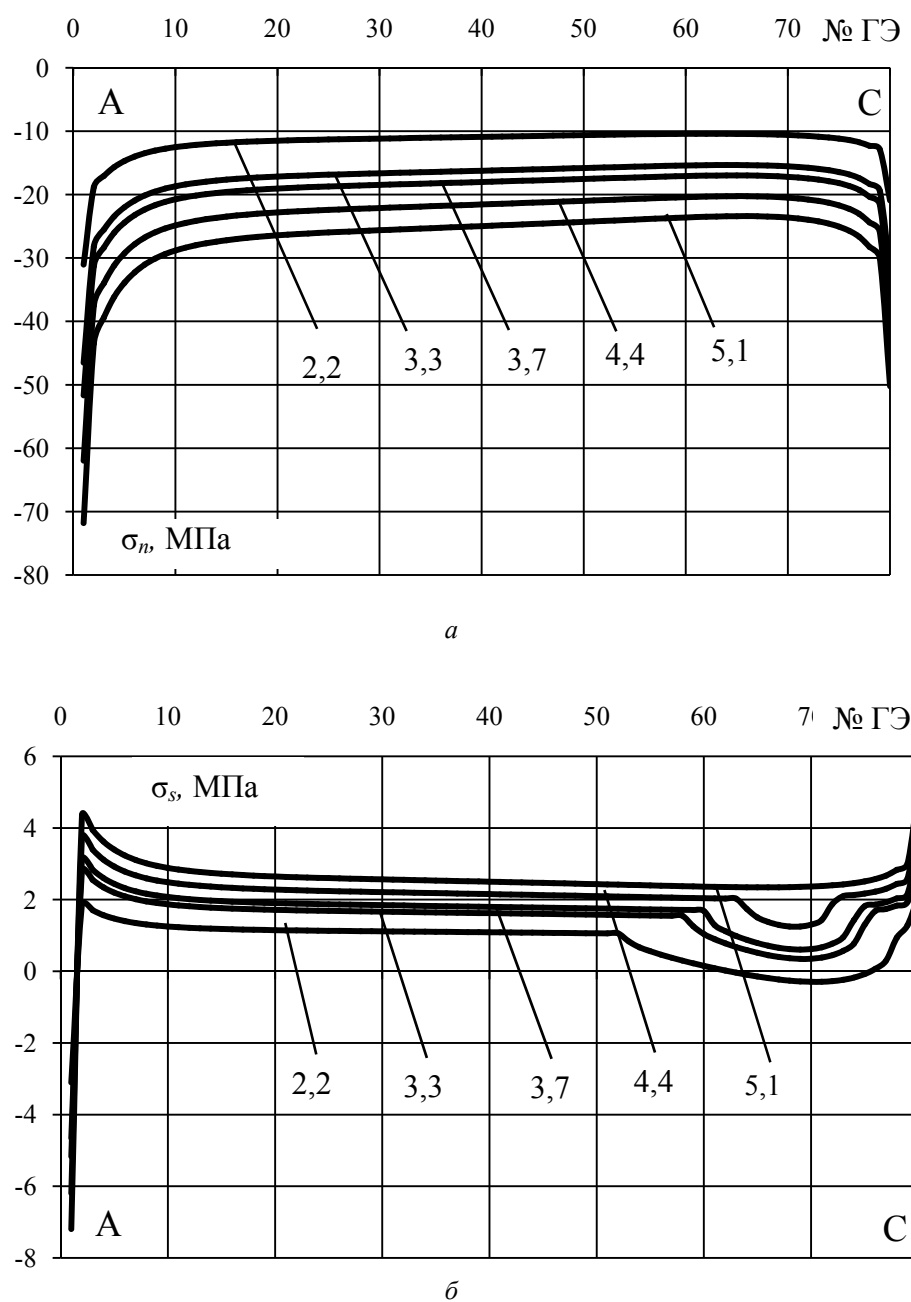


Рис. 2. Влияние величины вращающего момента на распределение нормальных давлений (а) и сил трения (б) в зоне контакта клина с ведомой обоймой

Следует отметить, что острые углы клина порождают сингулярные значения всех рассмотренных выше характеристик на концах области контакта. Однако указанные особенности имеют локальный характер, они практически не оказывают влияния на распределения контактных напряжений. Зависимости размеров зон жесткого сцепления на границах клина AC и BD от величины момента построены на рис. 4. Они показывают, что в диапазоне изменения внешней нагрузки $0 < M_o < 5,1$ Нм клин жестко связан с обеими обоймами.

Очевидно, что в отличие от самотормозящегося механизма размеры зон сцепления элементов зависят от величины крутящего момента. На границах клина BD и AC максимальную относительную длину $L_{st} = 0,65$ и $L_{st} = 0,275$ соответственно зоны сцепления имеют при значении $M_o^{\min} = 2,2$ Нм.

Соотношение размеров зон подтверждает ранее полученные выводы о реализации различных условий фрикционного сцепления клина с обоймами при одинаковых значениях ко-

коэффициентов трения. Вполне закономерным является нарушение фрикционной связи между клином и ведомой обоймой с увеличением момента $M_o \geq M_{tr}^{max}$. Величина $M_{tr}^{max} = 5,1$ Нм со-

ответствует моменту вырождения зоны сцепления ($L_{st} = 0$) и изменению статуса механизма – перехода от заторможенного состояния к проскальзыванию.

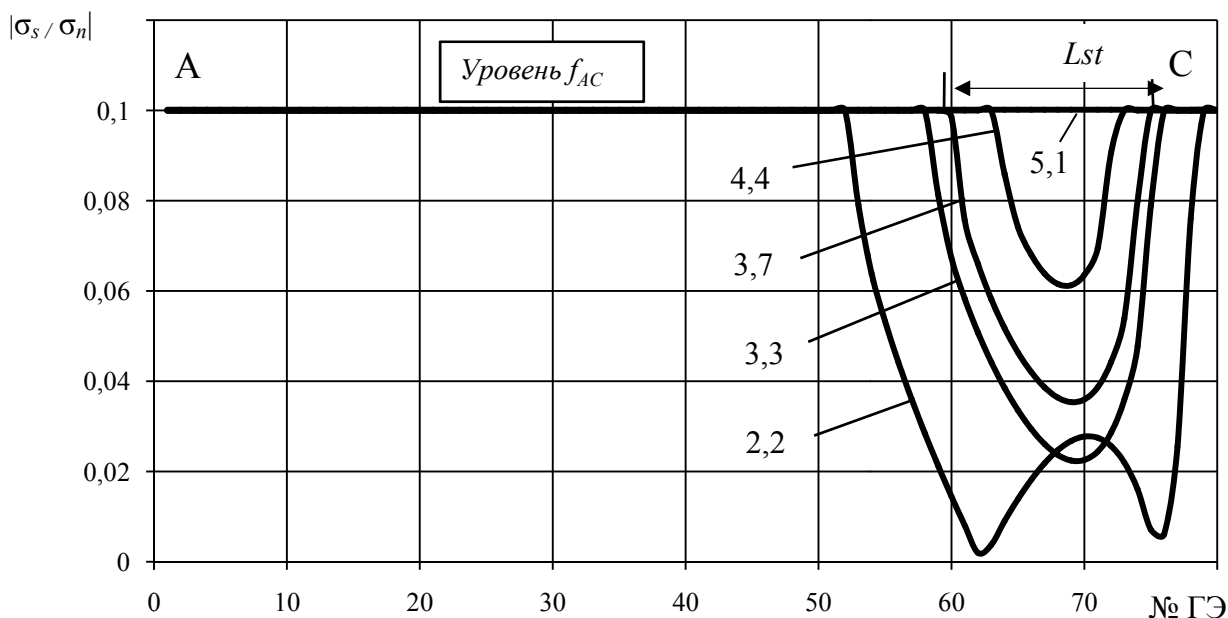


Рис. 3. Эволюционное вырождение зон сцепления клина с ведомой обоймой при увеличении внешней нагрузки

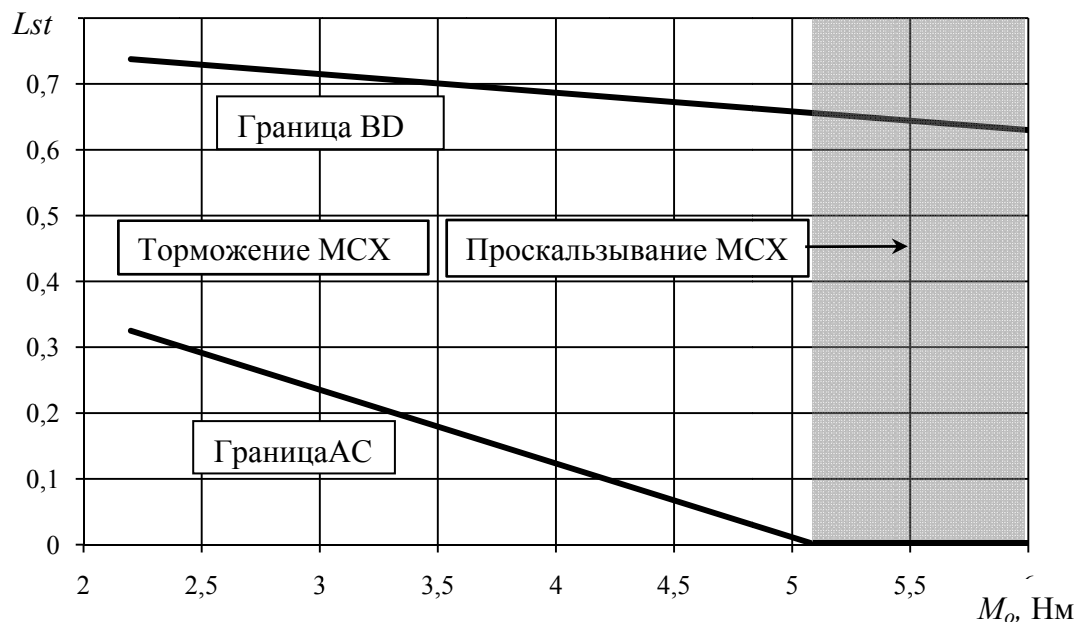


Рис. 4. Изменение условий сцепления клина с обоймами при увеличении внешней нагрузки

Определяя момент усилия пружины $F = 30$ Н относительно центра механизма $M_o(F) = 0,96$ Нм, получим силовое условие торможения исследуемого механизма в виде: $0 < M_o < 5,31 M_o(F)$. Необходимо отметить, что все полученные при

гранично-элементном моделировании количественные соотношения между параметрами нагружения имеют частный характер; они определяют кинематическое состояние только рассматриваемой триботехнической системы.

Результаты выполненного анализа отражают характерные особенности поведения клиновых МСХ при действии дополнительной внутренней силы – усилия пружины. Они показывают, что в условиях действия переменных нагрузок, а также при изменении величины коэффициента трения структура и кинематическое состояние несамотормозящегося МСХ при прочих равных условиях существенно зависит от условий нагружения.

Соотношение между внешним моментом и моментом, создаваемым усилием пружины, определяет необходимое силовое условие включения таких механизмов. Поджимающее устройство создает положительный эффект, заключающийся в улучшении фрикционного сцепления обойм с клином. Использование данного эффекта позволяет осуществлять проектирование МСХ при нестабильных значениях коэффициентов трения. За счет усилия поджимающего устройства может обеспечиваться определенный запас по сцеплению элементов. Выбор его оптимального значения должен осу-

ществляться с учетом типа проектируемого механизма, конструктивных и динамических особенностей привода. При этом следует учитывать, что минимальное усилие должно обеспечивать контакт клина с обоймами в момент включения, а максимальная величина усилия не должна создавать большие потери на трение в период свободного хода МСХ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Благодранов, А. А. Механические бесступенчатые передачи нефрикционного типа / А. А. Благодранов. – М.: Машиностроение, 1977. – 145 с.
2. Гончаров, А. А. Модифицированная контактная модель клиновых механизмов свободного хода / А. А. Гончаров, Ан. А. Гончаров // Вестник машиностроения. – 2014. – № 9. – С. 24–29.
3. Гончаров, Ан. А. Контактный алгоритм конструкционного анализа клинового механизма свободного хода / Ан. А. Гончаров, А. А. Гончаров // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 17. № 14(117). С. 106–113.
4. Гончаров, А. А. Исследование влияния геометрических параметров элементов на самоторможение клиновых механизмов свободного хода / А. А. Гончаров, Ан. А. Гончаров // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2014. – № 1. – С. 18–28.

УДК 681.5.01:658.512.2011

Ю. В. Кандырин¹, Г. Л. Шкурина²

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА ВАРИАНТОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМАХ САПР

¹Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

²Волгоградский государственный технический университет

ywk@mail.ru, shkurina.galina@bk.ru

В работе предложен метод формирования структуры исходного множества однородных вариантов в базе данных, настроенной на решение задачи выбора в соответствии с их целевым (функциональным) назначением.

Предлагаемый подход основан на формировании структуры данных, представляющей собой частичный порядок альтернатив, построенный по безусловному критерию Парето из набора линейных или частичных порядков вариантов меньшей размерности. Результирующий частичный порядок формируется с использованием фактор-множеств.

Основным результатом работы является разработка методики адаптивной настройки данных на задачу выбора, которая позволяет начинать решение сразу с Парето оптимальных вариантов лишь проверкой на допустимость.

Ключевые слова: многокритериальный выбор, структурирование альтернатив, адаптивная структура данных, расслоение по Парето, фактор-множества, окрестности альтернатив.

Y. V. Kandirin¹, G. L. Shkurina²

ADAPTIVE ALGORITHM CHOICES IN ELECTRONIC REFERENCE SYSTEMS CAD

¹NRU "MPEI", Moscow

²Volgograd State Technical University

The method of forming the structure of the initial set of homogeneous Variants in a database set to the task of choice in accordance with their target (functionals') appointment.

The proposed approach is based on the formation of a data structure, which is a partial order of alternatives built on unconditional Pareto criterion from a set of linear or partial orders of magnitude smaller dimension options. The resulting partial order is generated by using the factor sets.

The main result of the project is the development of an adaptive data options on the task of choosing which allows you to begin immediately with the Pareto optimal solution options only checking for validity.

Keywords: multicriteria choice, structuring alternatives, adaptive structure of data, stratification across Pareto, quotient sets, vicinities of alternatives.

Введение

Создание инновационных технологий проектирования и САПР предполагает разработку эффективных методов решения задач выбора оптимальных вариантов: материалов, компонентов, деталей конструкций, лекарств и химических соединений из исходных множеств по совокупности показателей качества (ПК). Сегодня разработчикам доступны тысячи однотипных изделий одного функционального назначения и, несмотря на введение отраслевых ограничений, выбор оптимальных компонентов часто приходится осуществлять по десяткам и даже сотням характеристик, что делает проблему трудноразрешимой без привлечения средств и методов САПР [2, 4]. Важными также являются проблемы обеспечения оптимальных замен элементов при ремонтах оборудования (выбор аналога по прототипу). Подобные задачи могут быть отнесены к классу задач выбора из электронных справочников. Их решение требует создания методов и инструментальных средств, способных оптимизировать сами процедуры выбора и обеспечивать максимальную надежность получаемых результатов [1, 3, 6]. Таким образом, задачи выбора из однородных множеств вариантов существенно актуализируются.

Современные методы решения задач многокритериального выбора альтернатив обычно предполагают использование априорных, апостериорных и адаптивных критериев. Разработка критериального выбора вариантов целесообразна для первичного их усечения, чтобы отсеять заведомо худшие варианты. При этом окончательный выбор всегда осуществляет лицо, принимающее решение (ЛПР), как носитель всей системной информации об объектах выбора и особенностях решаемой задачи.

Формализованные подходы к решению задач выбора вариантов реализуются существенно эффективнее, если структуры исходных данных соответствуют целевым постановкам ЛПР и учету функционального назначения выбираемых альтернатив. Или иначе: «...всякая память должна быть настроена на задачу». Но, поскольку задачи выбора могут иметь разнообразные особенности, то для структурирования исходных вариантов целесообразно использовать слабые критерии, с тем, чтобы в решениях по ним всегда находились варианты, оптимальные по более сильным критериальным постановкам.

Для реализации методов структурирования и выбора вариантов из исходных множеств Ω

целесообразно использовать неметрические безусловные, последовательно применяемые условные или комбинированные критерии предпочтения в зависимости от полноты имеющейся информации. Возникает проблема создания методологии и разработки эффективного инженерного инструмента многоцелевого сравнения вариантов, установления порядка альтернатив на множестве критериев при выборе оптимальных (в принятом смысле) решений, а также повышения быстродействия работы с данными, в связи с отсутствием доступного инвариантного методического и программного обеспечения.

Адаптивные структуры данных

Автоматизированные системы поддержки принятия решений позволяют наиболее эффективно выбрать требуемые данные, если их структуры, представляющие собой совокупность однородных альтернатив, позволяют произвести быстрый выбор из информационного массива. Так, если задача выбора решается в соответствии с определенными целевыми установками, заданными тем или иным принципом оптимальности, то и структуры данных должны учитывать принятый ЛПР принцип оптимальности [1, 3]. Адекватный выбор подходящих вариантов, согласно целей потребителя, меняющийся алгоритм поиска нужных вариантов при изменении требований цели отвечают требованиям адаптивного выбора вариантов. Приспосабливаясь к изменениям цели пользователя, подход допускает динамическое формирование процесса выбора требуемых вариантов.

Адаптивное оптимальное упорядочивание вариантов в автоматизированной системе выбора дает основания для формирования структур информационных массивов, которые, будучи настроены на задачу, в значительной степени сократили бы полный перебор и свели бы число шагов, необходимых для выбора из исходного множества вариантов, к минимуму. В таких критериально структурированных базах данных решение сразу же начинается с проверки на допустимость тех подмножеств, которые являются первыми претендентами на оптимальность.

Подобные технологии структурирования информации в базах данных являются желательными, если скорость изменения множества исходных альтернатив много меньше, чем скорость изменения критериальных требований и требований по допустимости. Эффект приспособления обеспечивается за счет накопле-

ния информации о целях ЛПР. Это позволяет, однажды решив задачу критериального упорядочивания вариантов, в дальнейшем решать каждую новую задачу только проверкой на допустимость потенциально оптимальных вариантов. Понятно, что это возможно, если понимание ЛПР оптимальности сохраняется от задачи к задаче на заданном множестве, а изменяются только требования по допустимости. В таких задачах показатели качества привязаны к функциональному назначению вариантов из однородных множеств Ω .

Таким образом, предлагаемый подход основан на наделении исходного множества альтернатив (ИМА) структурой, связанной с функциональным назначением его элементов. Структура отражает устойчивые критериальные требования, присущие ИМА Ω . Используя многослойные модели данных, формируемые фактор-множествами, ЛПР оставляет за собой целеполагание, а его креативное участие как бы переносится с уровня собственно выбора альтернатив на выбор критериальных постановок. Принятые цели определяют задаваемый вид структурирования однородных множеств Ω .

Формирование критериальных порядков вариантов для БД

В работе предлагается адаптивный путь решения задач критериального структурирова-

ния однородного множества Ω , потребность в котором возникает в тех случаях, когда меняются цели ЛПР.

Предположим, что практическая задача выбора решается с учетом ряда показателей качества, любой из которых может присутствовать в постановке других подобных задач выбора на данном исходном однородном множестве. А так как показатели качества (ПК) положены в основу структурирования альтернатив, предлагается хранить данные о возможных вариантах в виде линейных порядков по каждому из возможных показателей качества $ПК_l$. В целом БД будет представлена в виде совокупности таких линейных порядков $\{ПК_l(\omega_i)\}$. Из этих исходных линейных структур могут быть сформированы совокупности окрестностей каждой альтернативы, а значит, и транзитивные фактор-множества для них. В свою очередь, из транзитивных фактор-множеств можно сформировать нетранзитивные частичные прядки, задающие приоритеты альтернатив и соответствующие им диаграммы Хассе, концевые элементы в которых являются оптимальными по Парето вариантами.

Поясним некоторые термины. Под *окрестностью* $O_l(\Omega/k_l)$ альтернативы $\omega_i \in \Omega$ по $ПК = k_l$ будем понимать совокупность всех доминирующих или *эквивалентных* ω_i альтернатив. Так, например, для некоторого линейного порядка $L(\Omega/k_l)$ вариантов

$$L(\Omega/k_l): <\omega_5, \omega_3, \{\omega_4, \omega_6\}, \{\omega_1, \omega_2\}>; l = \{1, L\}$$

окрестности $O_l(\Omega/k_l)$ можно представить их в виде:

$$O_1(\Omega/k_l) = \{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} - \text{окрестность варианта } \omega_1,$$

$$O_2(\Omega/k_l) = \{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} - \text{окрестность варианта } \omega_2,$$

$$O_3(\Omega/k_l) = \{\omega_5\} - \text{окрестность варианта } \omega_3,$$

$$O_4(\Omega/k_l) = \{\omega_3, \omega_5, \omega_6\} - \text{окрестность варианта } \omega_4,$$

$$O_5(\Omega/k_l) = \emptyset - \text{окрестность варианта } \omega_5,$$

$$O_6(\Omega/k_l) = \{\omega_3, \omega_4, \omega_5\} - \text{окрестность варианта } \omega_6.$$

В свою очередь, совокупность окрестностей представляет собой *фактор-множество* Φ_Ω/k_l , той или иной размерности, в зависимости от числа показателей качества, для которого оно формируется. Фактор-множество при этом будет состоять из перечисленного множества окрестностей альтернатив

$$\Phi_\Omega/k_l = \{O_1(\Omega/k_l), O_2(\Omega/k_l), O_3(\Omega/k_l),$$

$$O_4(\Omega/k_l), O_5(\Omega/k_l), O_6(\Omega/k_l)\}.$$

Ранее в [1, 2] было доказано, что решением задачи выбора в π - и L -постановках является пересечение фактор-множеств окрестностей альтернатив, для соответствующей постановки. То есть, в нашем случае, решением для приведенного примера будет вариант ω_5 , окрестностью которого является пустое множество $\emptyset$:

$$\omega_{i0} = \omega_5 = O_i(\Omega/k_l) = \emptyset, i = 5.$$

Аналогично для всех возможных совокупностей окрестностей может быть восстановлено результирующее фактор-множество на основе фактор-множеств меньшей размерности. Соответственно, из фактор-множеств первого порядка могут быть сформированы фактор-множества второго порядка (для любых пар показате-

телей качества) посредством пересечения соответствующих окрестностей альтернатив [1].

При этом решение задачи выбора в постановке более высокой размерности $\pi(\Omega/\{k_l, \dots, k_l\})$ для Парето-постановки определяется пересечением окрестностей O_i для элементов ω_i фактор-множеств $\Phi_\Omega/k_1, \dots, \Phi_\Omega/k_l$:

$$O_i(\Omega/k_1) \wedge O_i(\Omega/k_2) \wedge \dots \wedge O_i(\Omega/k_l) = \{\omega_j : [k_1(\omega_j) \leq k_1(\omega_i)] \wedge [k_l(\omega_j) < k_l(\omega_i)], \omega_{j,i,z} \subseteq \Omega\} \wedge \{\omega_p : [k_2(\omega_p) \leq k_2(\omega_i)] \wedge [k_2(\omega_p) < k_2(\omega_i)], \omega_{p,i,\gamma} \subseteq \Omega\} \wedge \dots \wedge \{\omega_q : [k_l(\omega_q) \leq k_l(\omega_i)] \wedge [k_l(\omega_q) < k_l(\omega_i)], \omega_{q,i,v} \subseteq \Omega\}.$$

Или более компактно для $l \subseteq M$ получим

$$\bigcap O_i(\Omega/k_l) = \bigcap \{\omega_j : [k_l(\omega_j) \leq k_l(\omega_i)] \wedge [k_l(\omega_j) < k_l(\omega_i)], \forall l \subseteq M, \omega_{j,i,s} \subseteq \Omega\}.$$

Таким образом, результирующие частично упорядоченные множества большей размерности, чем исходные для совокупности показателей качества $\{k_l\}$, $l = \{1, M\}$, могут быть получены пересечением фактор-множеств линейных и/или частичных порядков альтернатив меньшей размерности по всем l . Или иначе, каждое последующее по иерархии фактор-множество

$\Phi(\Omega/\{k_{l+1}\})$ находится пересечением фактор-множеств более низкого порядка, а нехудшие варианты находятся как элементы, имеющие в своих окрестностях пустое множество $\emptyset$.

Соответственно, для двух ПК $\{k_1, k_2\}$:

$$\Phi(\Omega/\{k_1, k_2\}) = \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}).$$

Для трех ПК:

$$\Phi(\Omega/\{k_1, k_2, k_3\}) = \Phi(\Omega/\{k_1, k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1, k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2, k_3\}). \quad (1)$$

Если раскрыть последнее выражение

$$\begin{aligned} \Phi(\Omega/\{k_1, k_2, k_3\}) &= \Phi(\Omega/\{k_1, k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1, k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2, k_3\}) = \\ &= \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\}), \end{aligned}$$

то, используя переместительный закон, а также то, что

$$\Phi(\Omega/\{k_i\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_j\}) = \Phi(\Omega/\{k_i\}),$$

получаем:

$$\Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\}), \quad (2)$$

т. е. принципиально не требуется получать «вторичные» окрестности, а, имея лишь линейные порядки первого уровня, можно решить задачу МКВ для любых сочетаний ПК, на которые имеется информация о линейных порядках, так как именно они несут в себе всю необходимую информацию для дальнейших решений.

Выражение (1) описывает то обстоятельство, что каждое последующее (в смысле размерности) фактор-множество может быть восстановлено из фактор-множеств более низких порядков, в том числе и непосредственно из предшествующих по размерности.

Из (1) следует также, что фактор-множество для результирующей совокупности ПК будет

содержать минимальные элементы, соответствующие минимальным элементам для проекций. Поэтому для уменьшения трудоемкости алгоритма, осуществляющего пересечение окрестностей O_i с целью выявления минимальных элементов, поиск целесообразно начинать с тех окрестностей, которые содержат либо пустые множества, либо минимальные кортежи альтернатив. Такой подход позволяет снизить в целом трудоемкость алгоритмов адаптивного априорного структурирования альтернатив.

Приведем пример поиска допустимых вариантов на структурированном множестве, представленном диаграммой Хассе H_{13} , описывающей нетранзитивный частичный порядок на множестве альтернатив (рис. 1). Диаграмме Хассе можно поставить в соответствие фактор-множество $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$, полученное для π -постановки на исходном множестве Ω .

Пусть требуется найти оптимальные варианты среди допустимых альтернатив $\Omega_d = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4\}$ на множестве $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\}$

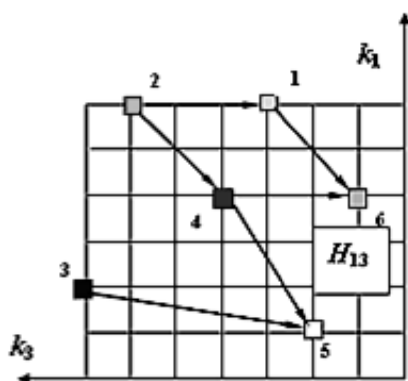


Рис. 1. Распределение альтернатив в пространстве $\{k_1, k_3\}$ и соответствующая им диаграмма Хассе H_{13}

для минимизации обоих ПК. То есть недопустимыми альтернативами являются $\Omega_{\text{нд}} = \{\omega_5, \omega_6\}$, полученные как $\Omega \setminus \Omega_{\text{нд}} = \Omega_{\text{д}}$.

Рассмотрим порядок решения такой задачи на структурированном множестве. Для этого опишем его совокупностью окрестностей, каждой альтернативы в виде реляционной матрицы, представляющей собой фактор-множество $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$ (см. таблицу), полученное из двух линейных порядков по k_1 и k_2 по правилу (2) и найденное допустимое фактор-множество $\Phi(\Omega_{\text{д}}/\pi\{k_1, k_3\})$.

Представление фактор-множеств: для исходного фактор-множества $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$ и фактор-множества допустимых вариантов $\Phi(\Omega_{\text{д}}/\pi\{k_1, k_3\})$

Фактор множества Варианты	$\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$	$\Phi(\Omega_{\text{д}}/\pi\{k_1, k_3\})$
ω_1	ω_5, ω_6	$\emptyset$
ω_2	$\omega_1, \omega_4, \omega_5, \omega_6$	ω_1, ω_4
ω_3	ω_5	$\emptyset$
ω_4	ω_5, ω_6	$\emptyset$
ω_5	$\emptyset$	—
ω_6	$\emptyset$	—

На первом этапе процедуры выбора рассматриваются варианты, оптимальные по Парето, относящиеся к первому слою Парето, как имеющие пустые окрестности. То есть выбор вариантов начинается сразу с оптимальных альтернатив проверкой на допустимость, без рассмотрения всего исходного множества. Если найденные Парето оптимальные варианты недопустимы по условию задачи, в нашем случае: $\{\omega_5, \omega_6\}$, то возможно допустимыми являются варианты из следующего слоя, за вычетом уже рассмотренных $\Omega_{\text{д}} = \Omega \setminus \{\omega_5, \omega_6\}$. Для дальней-

шего решения задачи сформируем из полного фактор-множества вариантов $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$ фактор-множество допустимых вариантов $\Phi(\Omega_{\text{д}}/\pi\{k_1, k_3\})$ посредством исключения окрестностей $\{O_i(\Omega/H_{13})\}$, $i = \{5, 6\}$, а также самих недопустимых элементов $\{\omega_5, \omega_6\}$ в оставшихся окрестностях $O_i(\Omega/H_{13})$.

Фактор-множество $\Phi(\Omega_{\text{д}}/\pi\{k_1, k_3\})$ приведено в правой части таблицы. Прочерком в таблице обозначено отсутствие окрестностей у недопустимых вариантов из-за отсутствия самих элементов $\{\omega_5, \omega_6\}$ во множестве допустимых вариантов.

Из таблицы и рис. 1 следует, что альтернативы $\omega_1, \omega_3, \omega_4$ являются решением задачи выбора для постановки $\pi\{k_1, k_3\}$, в случае недопустимости вариантов $\{\omega_5, \omega_6\}$.

Особенностью предлагаемого подхода является то обстоятельство, что хранить информацию об альтернативах в предложенной адаптивной БД необходимо только для линейных порядков по ПК, а требуемые критериально структурированные данные можно формировать *адаптивно* к каждой задаче выбора, что существенно сокращает комбинаторные бинарные сравнения при решении задач выбора в неметрических безусловных и условных постановках.

Таким образом, задача критериального адаптивного априорного структурирования альтернатив как бы приспосабливает структуры данных к их целевому использованию при решении конкретных частных задач выбора. Само же преобразование структур осуществляется в соответствии с рассмотренными выше правилами и может быть представлено в виде описанного ниже алгоритма.

Модель и алгоритм формирования критериально структурированных вариантов

В том случае, если критериальная устойчивость постановок нарушается (например, при изменении функционального использования вариантов в другом проекте), из элементов данных более низкого уровня могут быть легко сформированы новые структуры данных, отвечающие новым целям задачи выбора.

При этом для новой постановки задач выбора при множественных изменениях требований по допустимости, но при тех же целевых требованиях, критериальное структурирование может сохраняться. Данное обстоятельство дает возможность ЛПР всегда начинать решение

подобных задач выбора с концевых (лучших или нехудших) вариантов на МВА Ω . Обобщенную процедуру формирования адаптированной БД и поиска решений в ней при таком структурированном подходе можно представить так, как показано на рис. 2.

На 0-уровне в качестве исходных структур хранятся нестрогие линейные порядки вариантов по отдельным характеристикам, которые в зависимости от постановки задачи могут быть, в том числе, и показателями качества. Этот набор данных обозначим: $\{L(\Omega/k_i)\}$.

Структуры данных 0-уровня могут быть преобразованы, в случае необходимости при новой постановке задачи в структуры 1-уровня.

Эти структуры данных в случае устойчивости критериальных постановок могут быть использованы для априорного структурирования при решении различных задач выбора по допустимости.

На 1-уровне осуществляется хранение совокупности окрестностей транзитивных фактор-множеств $\{\Phi_{\Omega}^T/k_i\}$ по отдельным показателям качества.

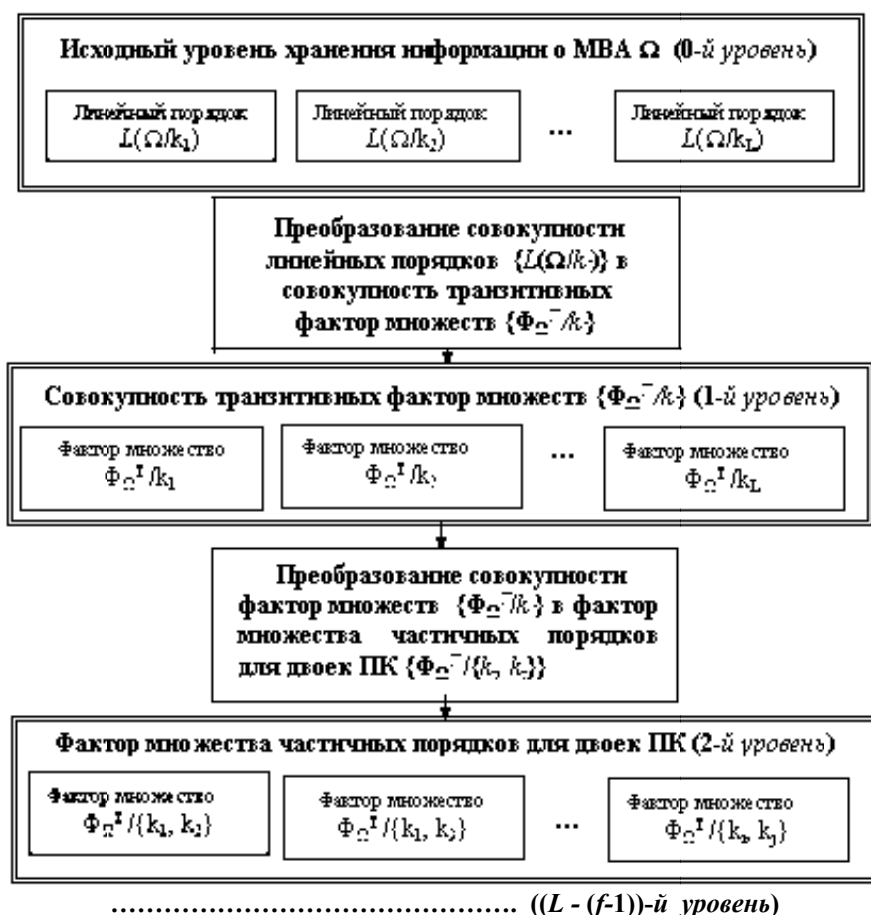


Рис. 2. Укрупненная блок-схема многоуровневого критериального структурирования альтернатив для адаптивных БД

Структуры 1-уровня, в свою очередь, могут быть трансформированы посредством пересечения окрестностей в результирующие структуры 2-уровня по правилу (2). И далее, по индукции – в структуры еще более высоких уровней, соответствующие более высоким частичным порядкам или более слабым постановкам.

Таким образом, априорное адаптивное структурирование альтернатив позволяет сформировать линейные и частичные порядки вариантов любой требуемой размерности, настраивающие

структуры данных на задачу многокритериального выбора и в итоге значительно сокращающие трудоемкость ее решения.

Заключение

В работе рассмотрен способ формирования результирующих адаптивных структур данных для справочных систем многокритериального автоматизированного выбора, подверженных определенной динамике критериальных постановок, изменяющихся от задачи к задаче. Ме-

тод основан на композиции линейных или частных порядковых структур меньшей размерности. Такое адаптивное структурирование данных позволяет динамично настраивать структуры данных на целевые постановки ЛПР. Идея изложенного способа априорного структурирования МВА Ω основана на формировании частичных порядков альтернатив посредством комбинирования линейных порядков альтернатив по наиболее значимым показателям качества с использованием фактор-множеств. Предлагаемый подход дает возможность реализовать принцип, в котором структура данных должна быть настроена на цели решаемой задачи, что позволяет резко сократить число шагов до искомого решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кандырин, Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР / Ю. В. Кандырин. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 172 с.
2. Кандырин, Ю. В. Многокритериальный анализ, выбор и структурирование вариантов в САПР / Ю. В. Кандырин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 320 с.
3. Шкурина, Г. Л. Использование процедур выбора для построения очередей ремонта оборудования / Г. Л. Шкурина // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 3 (73). – С. 74–78.
4. Кандырин, Ю. В. Два подхода к структурированию альтернатив / Ю. В. Кандырин, Г. Л. Шкурина // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 4 (80). – С. 107–110.
5. Kandyrin Yu.V., Sazonova L.T., Shkurina G.L. Structuring options in the tasks of multi-criteria choice. Trudy Kongressa po intellektual'nym sistemam i informacionnym tehnologijam "IS&IT'11". V 4 t. T. 1 : dokl. sekcij mezhdunar. nauch.-tehn. konferencij "AIS'11" i "CAD-2011" / FGOU VPO "Juzhnyj federal'nyj un-t" [i dr.]. – M., 2011. Pp 92–97.
6. Denisov, M., Kizim, A., Kamaev, V., Davydova, S., & Matohina, A. (2014). Solution on Decision Support in Determining of Repair Actions Using Fuzzy Logic and Agent System. In Knowledge-Based Software Engineering (pp. 533–541). Springer International Publishing.
7. Кандырин, Ю. В. Анализ альтернатив в задачах принятия решений / Ю. В. Кандырин, Г. Л. Шкурина // Сборник науч. тр. SWorld : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2013 г.» (18–29 июня). – 2013. – Т. 5. – № 2. – С. 7–12.
8. Мельник В. Ю., Камаев В. А., Кизим А. В. Применение неметрического метода Парето для задачи планирования технического обслуживания и ремонта // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 12. № 11(84). – С. 103–106.
9. Многокритериальное структурирование альтернатив в автоматизированных системах выбора / Ю. В. Кандырин, Л. Т. Сазонова, Г. Л. Шкурина, А. Д. Чивилев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 23–33.
10. Кандырин, Ю. В. Математические модели структурирования альтернатив для решения задач выбора в САПР / Кандырин Ю. В., Сазонова Л. Т., Шкурина Г. Л. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 10. № 3(76). С. 111–115.

УДК 004.89

Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, И. А. Кобликов, М. А. Фоменкова **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗУЕМОСТИ** **СИНТЕЗИРУЕМОГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ***

Волгоградский государственный технический университет
dkorobkin80@mail.ru

Проведен анализ подходов к оценке синтезируемых структур физического принципа действия (ФПД) технических систем на основе использования теории графов, математического аппарата сетей Байеса и Петри, позволяющих отобрать из всего множества полученных цепочек ФПД наиболее эффективные с точки зрения их практической реализуемости.

Ключевые слова: физический эффект, физический принцип действия, теория графов, сеть Байеса, сети Петри.

D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov, I. A. Koblikov, M. A. Fomenkova **METHODS OF EVALUATE THE PRACTICAL IMPLEMENTATION** **OF SYNTHESIZED PHYSICAL OPERATION PRINCIPLE**

Volgograd State Technical University

The application of the approaches presented in this paper as to evaluation of the synthesized structures of the physical operating principle (POP) of the designing technical systems on the basis of use of the graph theory and the mathematical tools of has shown the increase in the designer performance as compared to the use of the existing systems of the POP synthesis due to ignoring the knowingly unrealizable POP structures.

Keywords: physical effect, physical operating principle, graph theory, Petri nets, Bayesian networks.

© Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Кобликов И. А., Фоменкова М. А., 2015

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-09142-а); РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 15-47-02383 p_поволжье_a).

Введение

В настоящее время одной из важнейших задач является создание новых высокоэффективных технических систем (ТС). Известен ряд подходов к реализации начальных этапов проектирования ТС, среди них одним из наиболее перспективных является подход, связанный с привлечением структурированных физических знаний в форме физических эффектов (ФЭ) [1, 2] для автоматизированного формирования и выбора физического принципа действия (ФПД) [3–5] разрабатываемой ТС.

Анализ работ [6–9], связанных с использованием физических эффектов на начальных этапах проектирования ТС, показал ряд проблем, тормозящих эффективное и широкое внедрение данных методов, в том числе проблему оценки синтезируемых структур, то есть способов определения их физической реализуемости.

Таким образом, актуальной проблемой автоматизации выбора ФПД ТС является разработка методов оценки синтезируемых структур, то есть способов определения их физической реализуемости и степени соответствия их возможных конструктивных реализаций решаемой задаче.

Алгоритм синтеза структур ФПД

Под физическим принципом действия понимается структура совместимых и объединенных ФЭ, обеспечивающих преобразование заданного входного(ых) воздействия(ий) в заданное выходное, при этом два последовательно расположенных ФЭ $W_i = (A_i, B_i, C_i)$ и $W_{i+1} = (A_{i+1}, B_{i+1}, C_{i+1})$ считаются совместимыми относительно базовой модели описания ФЭ, если выходное воздействие некоторого ФЭ цепочки C_i эквивалентно входному воздействию последующего ФЭ A_{i+1} , то есть [10]:

характер выхода C_i совпадает с характером входа A_{i+1} ;

наименование выхода C_i совпадает с наименованием входа A_{i+1} ;

качественные характеристики выхода C_i совпадают с качественными характеристиками входа A_{i+1} . При этом совпадение осуществляется путем наложения И–ИЛИ дерева входного воздействия на И–ИЛИ дерево выходного воздействия;

если выход C_i и вход A_{i+1} – параметрические, то совпадают физические величины, характеризующие C_i и A_{i+1} .

Перечисленные условия совместимости входного и выходного воздействий реализованы

в виде правил сравнения вектора кодировки выхода C_i и вектора кодировки входа A_{i+1} .

Кроме того, используется следующее правило определения совместимости ФЭ: в случае, когда $(i+1)$ ФЭ имеет несколько входов (A_{i+1}), совмещение выхода C_i происходит с любым из входов A_{i+1} , удовлетворяющим условию эквивалентности с C_i .

Методы синтеза и оценки физической реализуемости ФПД

Проблему оценки реализуемости предлагается решать посредством построения множества критериев на структурах ФПД (необходимо ввести дополнительное поле ФЭ – критерий, отражающий практическую реализуемость данного ФЭ). На основе этой характеристики будут присваиваться коэффициенты (веса) ФЭ. В таком случае задача выбора наиболее оптимальных ФПД сводится к задаче комбинаторной оптимизации (оценка суммарного веса: чем меньше суммарный вес полученного ФПД, тем проще реализуема, а значит оптимальнее данная цепочка ФПД).

Значение критерия веса может быть получено из знаний о стоимости объекта, с помощью которого реализуется ФЭ, а также его сложности или частоты встречаемости в реализациях [11, 12]. В данной работе исходим из предположения, что веса получены и используются их дискретные значения для нахождения оптимальной цепочки ФПД среди имеющегося множества ФПД.

В рамках решения поставленной задачи было принято решение использовать теорию графов [13], математический аппарат сетей Байеса [14] и сетей Петри [15, 16].

Теория графов

Рассмотрим математическую постановку задачи качественного синтеза ФПД. Пусть имеется некоторое конечное множество $W = \{W_i | i = 1, \dots, N\}$ физических эффектов базы данных по ФЭ. Сопоставим этому множеству с ориентированным графом [13]:

$$G(V, E), \quad (1)$$

где V – конечное непустое множество вершин графа; E – множество дуг графа.

Ребро e_{ij} существует тогда и только тогда, когда эффект W_i совместим с W_j ($1 \leq i, j \leq N$).

ФПД – это путь $v_1, e_{1,2}, v_2, e_{2,3}, \dots, e_{k-1,k}, v_k$ (так как все ребра графа G имеют кратность 1, допустимо обозначение $v_1, v_2, v_3, \dots, v_k$) в гра-

фе G длины $k-1$ (k – налагаемое пользователем ограничение на длину искомого ФПД). Путь $v_1, v_2, v_3, \dots, v_k$ определяется заданием начального воздействия A_1 (воздействие A_1 эквивалентно входному воздействию эффекта W_1) и результирующего воздействия C_k (выход эффекта W_k эквивалентен воздействию C_k). Задача синтеза ФПД изделий состоит в нахождении всех таких путей в графе G , удовлетворяющих заданным ограничениям.

Словесное описание предлагаемой методики построения линейных структур ФПД можно представить следующим образом:

1) загружаются векторы смежности возможных переходов. Набор векторов формируется на основе условий совместимости физических эффектов и перестраивается при изменении состава эффектов в БД или при изменении компонент одного из ФЭ;

2) задается длина цепочки синтеза ФПД;

3) задаются критерии начального воздействия A_1 и критерии результирующего воздействия C_k ;

4) на основании векторов смежности строится структура ФПД.

Далее для выбора наиболее оптимальной цепочки ФПД из всего множества полученных предлагается использовать следующий алгоритм: если известны веса каждого ФЭ, отражающие соответствующую оптимальность ФЭ, то тогда задача нахождения оптимальной цепочки ФПД сводится к решению задачи нахождения кратчайшего пути на взвешенном графе. Задача нахождения кратчайшего пути или задача коммивояжера имеет множество алгоритмов решения, многие из которых реализованы в различных программных пакетах.

Однако данные алгоритмы имеют некоторый недостаток применительно к поставленной задаче. Допустим, имеется две цепочки ФПД, связывающих заданные вход и выход, одинакового веса. Возникает вопрос: как определить, какая из цепочек ФПД является наиболее оптимальной? Будем считать наиболее оптимальной цепочку ФПД с наименьшим количеством вершин. Для выбора наиболее оптимальной цепочки ФПД из двух и более равных по весу и по количеству вершин цепочек введем понятие «равномерности»:

$$\text{Вес всех ФПД} \quad w(y) = \sum_{i=1}^{n-1} w(v_i, v_{i+1}), \quad (2)$$

где $\langle v_1, v_2, \dots, v_i \rangle$ – последовательность вершин в цепочке ФПД; $l(y)$ – длина цепочки ФПД (количество ФЭ в цепочке).

Для всех ФПД с одинаковым весом:

$$\text{if } l(y) < l(POP_{\min}) \text{ then } POP_{\min} = y, \quad (3)$$

где $POP_{\min}$ – наиболее оптимальная цепочка ФПД.

Для всех ФПД с одинаковым весом и длиной:

1) возьмем среднее арифметическое значений весовых коэффициентов каждого ребра найденного кратчайшего пути:

$$A(y) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} w(v_i, v_{i+1})}{n}; \quad (4)$$

2) найдем разницу между значениями весовых коэффициентов и среднего арифметического:

$$R(y) = \sum_{i=1}^{n-1} w(v_i) - A(y); \quad (5)$$

3) сложим сумму полученных значений. Данную сумму назовем коэффициент равномерности:

$$\text{if } R(y) < R(POP_{\min}) \text{ then } POP_{\min} = y. \quad (6)$$

Таким образом, при выборе из двух ФПД одинаковой длины и веса будем учитывать данный коэффициент равномерности. Чем меньше коэффициент равномерности, тем оптимальнее полученный кратчайший путь (ФПД).

Сети Байеса

Для нахождения значений весов ФЭ предлагается применение наивного байесовского классификатора. Байесовские сети [14] представляют собой графовые модели вероятностных и причинно-следственных отношений между переменными в статистическом информационном моделировании. В машинном обучении под классификацией понимают задачу определения категории, к которой принадлежит ранее не встречавшийся образец, на основании обучающего множества, для элементов которого эти категории известны. Таким образом, можно отнести имеющуюся цепочку ФПД к некоторой категории сложности или оптимальности. Обучающая выборка получается на основе экспертных оценок.

Главным инструментом машинного обучения является теорема Байеса:

$$p(\theta / D) = \frac{p(\theta)p(D / \theta)}{p(D)}, \quad (7)$$

где D – обучающая выборка (данные); θ – параметры модели для обучения (в нашем случае D – оценки, выставленные экспертами полу-

ченным ФПД; θ – ФЭ); $p(\theta/D)$ – распределение вероятностей параметров модели после обучения (апостериорная вероятность); $p(D/\theta)$ – вероятность данных при условии зафиксированных параметров модели.

Так как элементы ФЭ в цепочке ФПД не влияют друг на друга, то можно использовать одномерную независимую байесовскую модель, а именно наивный байесовский классификатор. За счет предположения независимости параметры каждого атрибута могут быть обучены отдельно, и это значительно упрощает обучение (особенно когда количество атрибутов велико).

Если ввести несколько классов оптимальности ФПД (или обратное – несколько классов сложности ФПД), то можно обучить модель разделять массив ФЭ по принадлежности к данным классам.

Обучение: пусть задан набор ФПД, которые уже распределены (вероятностно распределены) по классам C_j ; задан массив ФЭ. Для обучения такого классификатора необходимо обучить вероятности $p(W_i|C_j)$, где W_i – физический эффект; C_j – класс, то есть подсчитать оптимальные оценки вероятностей того, что тот или иной ФЭ относится к тому или иному классу оптимальности.

Сети Петри

Установим соответствие между моделью представления ФЭ и процесса синтеза ФПД,

с одной стороны, и аналогичной моделью, созданной на основе сетей Петри.

Представим процесс синтеза ФПД в виде цветных сетей Петри [15]:

множество маркеров – множество ФЭ;

множество позиций – условия, которым соответствуют ФЭ;

условия срабатывания перехода – соответствие выходной характеристике маркера множеству цветов позиции.

Физический эффект представлен сложным составным типом `phe`, который состоит из входного и выходного воздействия (`voz`), качественных характеристик входных и выходных воздействий (`kachv`), номера физического эффекта (`numfe`), физических величин (`vozf`), «веса» физического эффекта (`weight`). Поле `plist` представляет собой список; в данной модели он используется для сохранения номеров ФЭ, попавших в цепочку ФПД. На выходе данной программной модели получаем множество маркеров, представляющих собой ФЭ, завершающих цепочку ФПД. Каждый такой маркер проходит весь путь синтеза, от начального этапа и до выхода из модели, и содержит на каждом этапе моделирования информацию о текущем (добавленном) ФЭ в ФПД, а также список всех используемых в данной структуре ФПД физических эффектов. Описания множеств цветов (`colset`), используемые в программной модели в среде CPN Tools [16], представлены на рис. 1.

```
▼ colset voz = with voz1|voz2|voz3|voz4|voz5|voz6|voz7|voz8|voz9|voz10|voz11|voz12|voz13;
▼ colset vozf = with fizvel1|fizvel2|fizvel3|fizvel4;
▼ colset kachv = with vrem1|vrem2|vrem3;
▼ colset napr = with vnutr|vnesh|vnutr|vnesh;
▼ colset spec = with spec1|spec2|spec3|spec4|spec5|spec6|spec7;
▼ colset pros = with proc1|proc2|proc3|proc4|proc5|proc6|proc7|proc8;
▼ colset numfe = INT;
▼ colset plist = list INT;
▼ colset weight = INT;
▼ colset phe = product voz*kachv*vozf*voz*kachv*vozf*numfe*weight*plist;
```

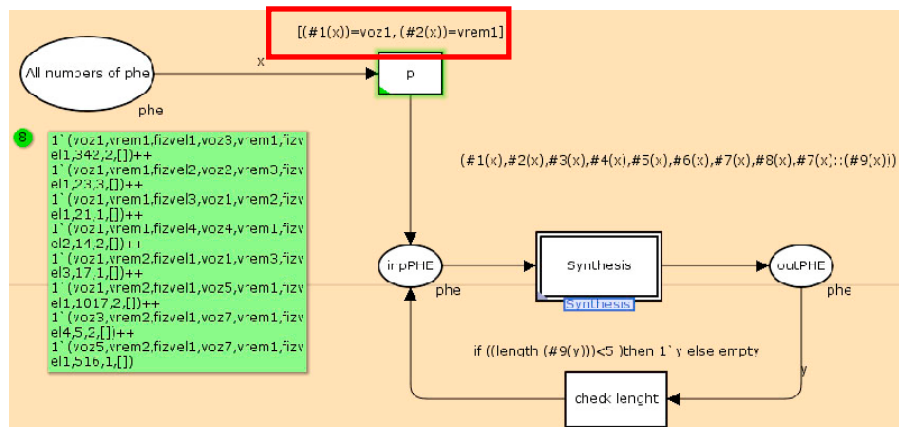
Рис. 1. Описания множеств цветов

Модель синтеза ФПД на основе сетей Петри приведена на рис. 2. Модель синтеза является иерархической моделью, что означает вложенную конструкцию: сеть внутри сети. Элементами построенной модели являются подмодель “Synthesis”, переход “p”, отбирающий из всего множества маркеров (ФЭ) входные маркеры ФПД, переход “check length”, проверяющий условия останова процесса синтеза.

Подстановка перехода (Synthesis) представлена прямоугольником с двойной граничной линией. Переход сети верхнего уровня логиче-

ски заменяется сетью более низкого уровня. Переход (Synthesis) заменяется сетью (Synthesis).

Позиции сети нижнего уровня, которые используются для связи с сетями верхнего уровня, называются контактными позициями или портами и выделены специальными тэгами (I/O, In, Out). Соответствующие позиции сетей верхнего уровня называются сокетам. В данном случае сокетами являются `inpPHE` и `outPHE` на рис. 2 и портами – `inpPHE` и `outPHE` на странице Synthesis (рис. 5).



Начальные условия:
Вход: электрическое поле (voz1), постоянное (vrem1).
Выход: магнитное поле (voz2)
Длина пути: 5.

Рис. 2. Начальный этап синтеза ФПД

В процессе синтеза необходимо получить цепочку ФПД с заданным входным (выходным) воздействиями, и не больше заданной длины. Процесс синтеза начинается в позиции (All numbers of PHE). Здесь находятся маркеры, представляющие собой все множество ФЭ. Конкретизация маркера, находящегося в данной позиции, определяется инициализирующим выражением начальной разметки или формируется в результате правильного выполнения шага итерации сети Петри.

Маркеры перемещаются по позициям через переходы. Переход может сработать (т. е. переместить маркер из входной позиции в выходную для данного перехода), если во всех входных позициях для данного перехода присутствует хотя бы один маркер и выполнено логическое выражение, ограничивающее переход.

Переход “р” срабатывает только в том случае, если первое поле маркера из позиции “All numbers of phe” соответствует заданному входному воздействию искомой ФПД. Таким образом, в позиции inpPHE мы имеем множество маркеров (множество ФЭ), входное воздействие которых соответствует входным воздействиям искомой ФПД, то есть данные ФЭ могут быть начальными в цепочке ФПД.

Выражение выходной дуги перехода “р” представляет собой конструктор для создания новых маркеров (рис. 3). В данном случае он изменяет последнее поле маркера – в него записывается номер текущего ФЭ, так как впоследствии маркер будет изменен и будет представлять собой следующий элемент (следующий ФЭ в цепочке ФПД). “История преобразований”, т. е. вся цепочка до текущего элемента хранится в поле “plist” маркера.

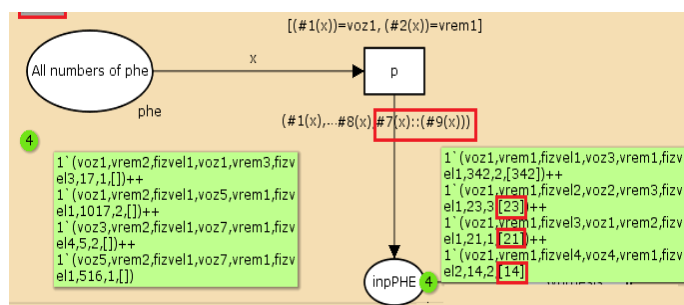


Рис. 3. Второй этап синтеза ФПД

В переход “р1” (см. рис. 4) из всего множества маркеров позиции “All”, представляющих собой все множество ФЭ, переходят только те маркеры, для каждого из которых выполняется условие: входное воздействие переходящего маркера должно быть равно выходному воздействию маркера из позиции “inpPHE”. Та-

ким образом, на данном этапе к i-му ФЭ(i) “прикрепляется” ФЭ(i+1). Вес всех ФЭ в ФПД суммируется и сохраняется в “weight”, а вся цепочка до текущего элемента сохраняется в поле “plist”.

Условие перехода “р2” является условием выхода из процесса синтеза ФПД. В позицию

“ResultPOP” (рис. 5) попадают маркеры, поле выходного воздействия которых соответствует выходному воздействию искомой цепочки ФПД. Такие маркеры представляют собой последний элемент (ФЭ) цепочки ФПД; во всех полях такого маркера содержится информация о последнем завершающем элементе ФПД;

в поле “weight” находится значение веса всей цепочки ФПД; в поле “plist” перечислены номера всех ФЭ данной цепочки ФПД. В позицию “outPHE” помещаются все маркеры, не удовлетворяющие данному условию, т. е. недостоверные цепочки, и возвращаются в позицию “inpPHE” для продолжения поиска.

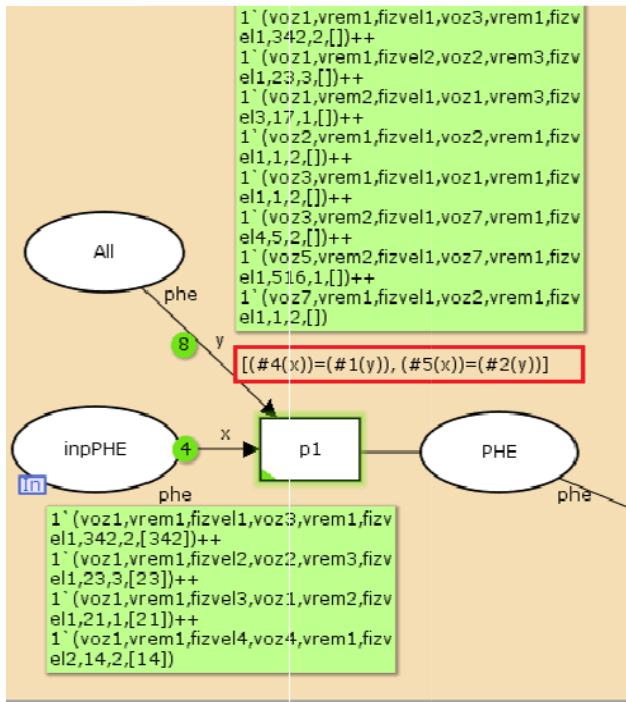


Рис. 4. Этап синтеза ФПД

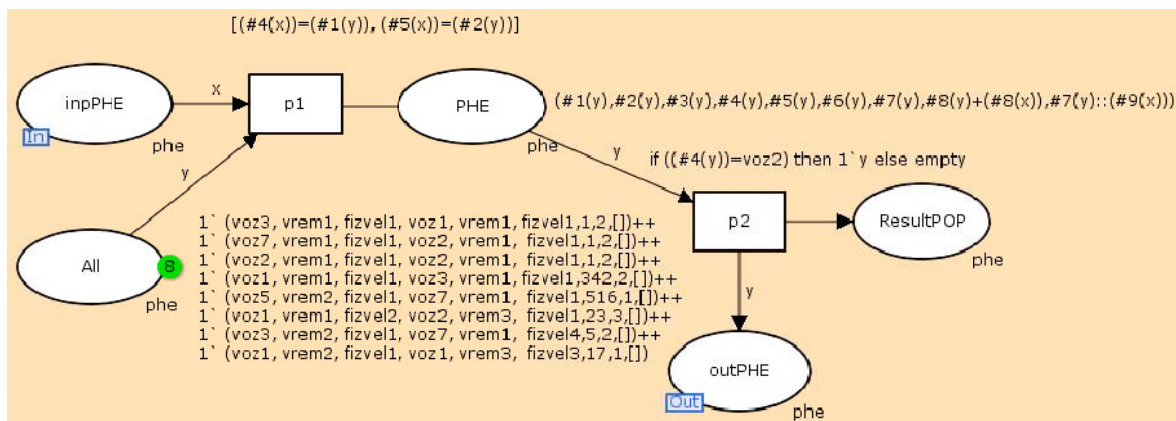
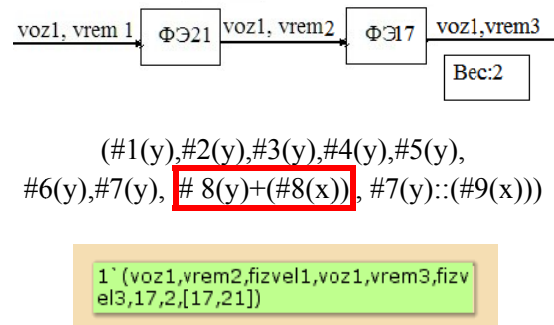


Рис. 5. Подсеть “Synthesis”

Отметим, что использование иерархических сетей упрощает разработку моделей. Во-первых, это позволяет скрыть детали и управлять сложностью модели и, во-вторых, – повторно использовать подмодели. Модель, представленная на рис. 5, разделена на уровни ие-

рархии, что позволяет использовать основную часть элементов повторно (в цикле).

Выводы

Был проведен анализ подходов к оценке синтезируемых структур физического принци-

па действия технических систем на основе использования теории графов, математического аппарата сетей Байеса и Петри.

Разработанные алгоритмы оценки синтезируемых структур физического принципа действия на основе теории графов, сетей Байеса и Петри, будучи внедренными в программу синтеза физического принципа действия, позволят отобрать из всего множества полученных цепочек ФПД наиболее эффективные с точки зрения их практической реализуемости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменков, С. А., Колесников, С. Г., Коробкин, Д. М. Формирование и структура баз данных по физическим эффектам // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 18. № 22 (125). С. 153–157.
2. Коробкин, Д. М. Модель представления структурированной предметной информации в виде физических эффектов в тексте на естественном русском языке / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 7. С. 17–21.
3. Петрухин, А. В. Использование физических знаний при решении задач концептуального проектирования технических объектов / А. В. Петрухин, С. А. Фоменков, В. А. Камаев // Известия вузов. Машиностроение. 1997. № 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 вузов. Машиностроение. – 1998. – № 4–6. – С. 52–56.
5. Гопта, Е. А., Фоменков, С. А., Карачунова, Г. А. Автоматизация процесса линейного синтеза физического принципа действия // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 9. № 11(71). С. 129–133.
6. Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G., Voronin Y.F. System of Physical Effects Extraction from Natural Language Text in the Internet. //World Applied Sciences Journal, 2013, v.24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), pp. 55–61.
7. Коробкин, Д. М., Фоменков, С. А. Автоматизированная методика извлечения структурированных физических знаний в виде физических эффектов из текстов на естественном английском языке // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 10. № 3(76). С. 116–120.
8. Korobkin D. M., Fomenkov S. A., Kolesnikov S. G., Orlova Y. A. A Multi-Stage Algorithm for Text Documents Filtering Based on Physical Knowledge. //World Applied Sciences Journal, 2013, v.24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), pp. 91–97.
9. Крапивина, Н. В., Коробкин Д. М., Фоменков С. А. Автоматизация фильтрации электронных первоисточников по признаку знаний о нанотехнологиях и выявление описаний нанотехнологий // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10(97). С. 161–166.
10. 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.
11. Попов, М. Ю. Предметно-ориентированный анализ текстовых документов на примере системы поиска описаний физических эффектов / М. Ю. Попов, Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2005. № 6. С. 20–24.
12. Коробкин, Д. М. Поиск и выделение структурированной физической информации в виде физических эффектов из текстов первичных источников / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. № 87. С. 282–287.
13. Diestel R. Graph Theory, Electronic Edition. – NY: Springer-Verlag, 2005. – С. 422.
14. Jensen Finn V. Bayesian Networks and Decision Graphs. – Springer, 2001.
15. K. Jensen and L.M. Kristensen. Coloured Petri Nets -- Modeling and Validation of Concurrent Systems. Springer-Verlag Berlin, 2009.
16. CPN Tools [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://cpntools.org/documentation/start>.

УДК 004.89

*Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, А. С. Мармура, С. Г. Колесников***МНОГОАГЕНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ВИДЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ*****Волгоградский государственный технический университет**

dkorobkin80@mail.ru

Сегодня актуальным является вопрос повышения эффективности процесса взаимодействия пользователей с базой физических знаний в виде физических эффектов за счет интеграции ранее созданных автоматизированных систем в единый программный комплекс. Авторами предлагается модель многоагентной системы обработки базы данных физических эффектов, включая модель агентов, модель взаимодействия агентов, роли агентов при взаимодействии. Модель многоагентной системы позволяет интегрировать ранее разработанные системы за счет разработки открытой распределенной системы, образованной несколькими взаимодействующими агентами; расширять функциональность системы за счет внедрения новых агентов; реализовать единую базу данных физических эффектов. Созданная многоагентная система позволяет существенно сократить время на внедрение новых методов обработки базы данных физических эффектов. Данный результат достигается за счет того, что доработка и внедрение нового агента происходит без существенных доработок системы.

Keywords: многоагентная система, физические эффекты, модель агентов, FIPA, AgentService.

*D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov, A. S. Marmura, S. G. Kolesnikov***MULTI-AGENT TECHNOLOGY PROCESSING STRUCTURED PHYSICAL KNOWLEDGE IN THE FORM OF PHYSICAL EFFECTS****Volgograd State Technical University**

Today is a topical issue of increasing the efficiency of the user's interaction with the physical base of knowledge in the form of physical effects through the integration of previously created automated systems in a single software package. The authors propose a model of multi-agent system database processing physical effects, including agent model, model agent interaction, the role of agents in the interaction. The model multi-agent system enables the integration of previously developed system through the development of open distributed system formed by several interacting agents to extend the functionality of the system through the introduction of new agents to implement a unified database of physical effects. Multi-agent system can significantly reduce the time to implement new methods of database physical effects. This result is achieved due to the fact that the finalization and implementation of a new agent occurs without significant modifications of the system.

Keywords: multi-agent system, physical effects, model agents, FIPA, AgentService.

Введение

Физические знания активно используются при проведении научных исследований в различных областях науки и техники (методики исследований, свойства различных классов объектов, реакция объектов на разнообразные физические воздействия и т. п.), в проектировании технических изделий и технологий. Накопленный к настоящему времени объем знаний в области физических наук настолько сосредоточен в различных монографиях, научных статьях, справочниках и энциклопедиях, что является практически необозримым для специалистов конкретных предметных областей. Кроме того, во многих случаях форма представления физической информации затрудняет их непосредственное использование в инженерной деятельности для решения проектно-конструкторских и технологических задач.

Для решения возникших проблем появились разработки по созданию специальных баз данных физических знаний, в которых физические знания представляются особым структурированным образом (в виде физических эффектов (ФЭ)), обеспечивающих их удобное использование. Применение ФЭ на начальных этапах проектирования технических систем позволяет создавать инновационное решение, а также выполнять прогнозирование развития новых решений. В работе взято за основу направление исследований, проводимых на кафедре САПР и ПК Волгоградского государственного технического университета. В рамках данной школы была разработана обобщенная модель описания ФЭ [1], включающая модель входной информации (входная карта) и модель выходной информации (выходная карта); создан фонд ФЭ [2], в котором содержится свыше

1200 описаний ФЭ, а также разработаны автоматизированные системы обработки баз данных ФЭ (АСО БДФЭ): автоматизированная система синтеза физического принципа действия технических систем (АС ФПД) [3], автоматизированная информационно-поисковая система по ФЭ (АИПС ФЭ) [4, 5], автоматизированная система поддержки процесса формирования информационного обеспечения базы данных ФЭ (АС ППФИО) [6–9].

Сегодня актуальным является вопрос повышения эффективности процесса взаимодействия пользователей с базой данных ФЭ за счет интеграции автоматизированных систем обработки баз данных ФЭ в единый программный комплекс.

Применение многоагентного подхода для интеграции автоматизированных систем обработки базы данных физических эффектов

Для решения задачи интеграции АСО БДФЭ в единый комплекс в настоящей работе использовался подход, основанный на применении многоагентной системы МАС [10].

МАС представляет собой открытую систему децентрализованного искусственного интеллекта, образованную несколькими взаимодействующими агентами. В МАС имеет место спонтанное распределение задач, возникающее непосредственно в процессе взаимодействия агентов. МАС определяется следующим образом:

$$\text{МАС} = \langle A, O, R, P, L \rangle,$$

где A – множество агентов, функционирующих в МАС; O – множество операций обработки БДФЭ, которые поддерживаются МАС; R – множество отношений между агентами; P – множество типов взаимодействий агентов (коммуникативных актов, образующих протокол коммуникации в МАС); L – язык обмена сообщениями в МАС.

МАС представляет собой одноуровневую структуру, вследствие чего в ней определены только горизонтальные отношения между агентами: координации, сотрудничества или кооперации.

Агенты функционируют в среде, в которую помимо агентов входят следующие компоненты:
база данных ФЭ;
внешние источники информации (файловая система, Интернет);
пользователи.

На вход МАС поступают запросы от пользователей, на выходе – результаты запросов.

Авторами была разработана модель агента, который представляется в виде кортежа:

$$A = \langle AID, AT, AO, AST, AAC \rangle,$$

где AID – идентификатор агента; AT – тип агента; AO – подмножество операций обработки базы данных ФЭ; AST – множество состояний агента; AAC – множество действий агента.

Агент может находиться в одном из множества состояний $AST = \{\text{«Свободен»}, \text{«Выполнение задачи»}, \text{«Ожидание завершения работы исполнителя»}, \text{«Участие в аукционе»}, \text{«Передача результата»}, \text{«Передача задачи»}\}$.

Множество действий агента задается следующим множеством $AAC = \{\text{«Выполнить операцию обработки»}, \text{«Передать результаты выполненной операции»}, \text{«Создать аукцион»}, \text{«Выбрать исполнителя»}, \text{«Передать исполнителю задание»}, \text{«Участвовать в аукционе»}, \text{«Поиск аукционов»}, \text{«Отменить выполнение задания исполнителем»}\}$.

Тип агента – класс агента, который реализует определенную функциональность. Например, агент полнотекстового поиска. Следует отличать тип агента от роли. Роль характеризует функциональность агента при коммуникации. Один тип агента может иметь несколько ролей, агенты разных типов могут иметь одну роль во взаимодействии. Каждый тип агента может иметь один и более экземпляров (рабочая копия типа агента), количество экземпляров агента не ограничено.

Необходимость в кооперации агентов возникает в случае неспособности самостоятельного решения задачи. Для этого агенту необходимо найти другого агента в МАС, который поможет решить задачу. Первой агент имеет роль заказчика, второй – исполнителя. Заказчик является инициатором диалога взаимодействия с другими агентами. Исполнитель может частично решить задачу или в процессе выполнения ему также потребуется помощь других агентов. Например, при синтезе цепочек физического принципа действия технических систем требуется выполнять дескрипторный поиск ФЭ. В результате при другом взаимодействии данный исполнитель становится заказчиком.

После анализа множества протоколов кооперации агентов авторы остановились на использовании широко известной модели контрактных сетей. В FIPA [11] протокол носит название Contract Net Protocol [12].

Каждый узел контрактной сети способен выполнять определенные задачи. Если в про-

цессе решения один узел (заказчик) не в состоянии решить некоторую задачу, он ищет другой подходящий узел, который способен ее решить. При этом он рассылает объявление потенциальным подрядчикам (contractors) о вакансии на выполнение некоторого договора. Если на это объявление отвечают несколько узлов, то заказчик, пользуясь некоторым критерием, выбирает наиболее подходящего (или несколько) подрядчика. Посредством торгов заказчик и подрядчик заключают договор (contract).

Протокол взаимодействия включает следующие шаги:

- объявление задачи – агент (заказчик) обнаруживает, что столкнулся с проблемой, которую не в состоянии решить самостоятельно и рассылает описание задачи свободным агентам;

- аукцион – агенты, получившие описание задачи и обладающие возможностями ее решения, размещают предложение своих услуг;

- передача – заказчик передает задачу агентам, предложившим свои услуги. Устанавливаются связи заказчик-исполнитель;

- контроль исполнения – заказчик контролирует процесс исполнения задачи до ее полного решения.

Для реализации взаимодействия использовался язык ACL (Agent Communication Language) [13], разработанный стандартом FIPA [11]. ACL основан на использовании теории речевых актов [14]. Язык представляет многоуровневую структуру, в которой выделяются три уровня:

- содержание – смысловая часть сообщения, содержащая описание на любом языке;

- коммуникационная часть – описание основных параметров передачи сообщения (получатель, отправитель и другие);

- уровень сообщения – включает определение особенностей взаимодействия между агентами.

Разработанная модель MAC позволяет:

- интегрировать АСО БДФЭ за счет разработки открытой распределенной системы, образованной несколькими взаимодействующими агентами;

- расширять функциональности системы за счет внедрения новых агентов. Архитектура системы остается неизменной. Использование «гибкой» структуры представления описания ФЭ позволяет вносить изменения в описания ФЭ при разработке новых агентов. Функционирование существующих агентов при этом не нарушается;

в MAC используется единая база данных ФЭ, что автоматически решает проблему актуальности данных. Изменения базы данных ФЭ, вносимые одним агентом, становятся автоматически доступны всем остальным агентам MAC;

- в MAC может быть зарегистрировано несколько агентов одного типа (например, несколько агентов полнотекстового поиска), что позволяет создать новый экземпляр агента при увеличении нагрузки на MAC;

- взаимодействие по принципу проведения аукциона делает возможным изменение состава агентов-исполнителей. При этом агенту не нужно запоминать «агентов», зарегистрированных в MAC. Исполнители первыми инициализируют взаимодействие с заказчиком.

Выбор инструмента для разработки многоагентной системы

Основным языком программирования был выбран C#. В качестве СУБД была выбрана Microsoft SQL Server 2008. Для осуществления доступа к данным использовался язык T-SQL.

При проектировании MAC рассматривались различные платформы для разработки MAC. Платформа реализует основные механизмы, обеспечивающие работу агентов и осуществление взаимодействия между агентами, и, таким образом, облегчает построение MAC. В результате анализа была выбрана платформа AgentService [15], позволяющая реализовывать MAC в области программных агентов. Особенностью платформы является ее универсальность. AgentService полностью поддерживает стандарты FIPA при разработке MAC. Лицензионное соглашение позволяет производить любые изменения в исходном коде программы.

После выбора платформы была произведена ее доработка. Прежде всего, был произведен рефакторинг исходного кода, добавлен сервис логирования действий агента, запросов, поступающих к системе, действий сервисов платформы. Также были реализованы потокобезопасные классы; для синхронизации работы потоков использовались семафоры, мониторы.

В AgentService был доработан сервис сохранения состояний агента, который скрывает внутреннюю реализацию, предоставляя только интерфейсы для взаимодействия.

Служба передачи сообщений MTS (messaging transport service) [16] была переделана на агента MTS. Это позволило использовать разработанный механизм «логирования» действий

агента, сохранения состояний агента, работу с потоками. Агент предоставляет интерфейсы методов, которые вызывают клиенты платформы.

Была создана библиотека, позволяющая упростить процесс разработки агентов. Созданы наборы классов, которые позволили упростить поведение агента: создание запроса на установление соединения с другими агентами, ожидание соединения, коммуникация агентов, поиск агента.

Во время доработки AgentService использовались принципы объектно-ориентированного дизайна, паттерны проектирования; для создаваемых (редактируемых) методов разрабатывались unit-тесты.

Архитектура и функциональная структура автоматизированной системы

В данной работе была реализована интегрированная система обработки БДФЭ (Софи II). Общая архитектура системы представлена на рис. 1.

Софи II состоит из нескольких модулей. Модуль МАС выполняет процедуры обработки БД ФЭ. Он является центральным в интегрированной системе и был реализован на основе представленной модели МАС. Модуль МАС выполняет запросы, поступающие от модуля

формирования запросов. Для управления многоагентной системой используется модуль администрирования МАС. Данный модуль содержит методы для управления работой МАС, управления работой агентов, отображения информации о текущей работе МАС. Модуль формирования запросов выполняет преобразование запросов пользователей в запросы к МАС и отображает результаты запросов.

Модуль администрирования БД ФЭ содержит инструментарий для управления массивом ФЭ: добавление, удаление, редактирование описания ФЭ, редактирование тезаурусов.

Помимо описанных модулей архитектура Софи II включает БД ФЭ, а также модуль управления доступом к данным (БД ФЭ, внешние источники информации).

Функции системы Софи II поделены на три группы. Первая группа предназначена для администратора МАС:

- инициализация МАС;
- запуск и завершение работы МАС;
- инициализация базовых агентов МАС;
- мониторинг состояния МАС;
- регистрация агентов;
- управление жизненным циклом агентов;
- мониторинг работы агентов.

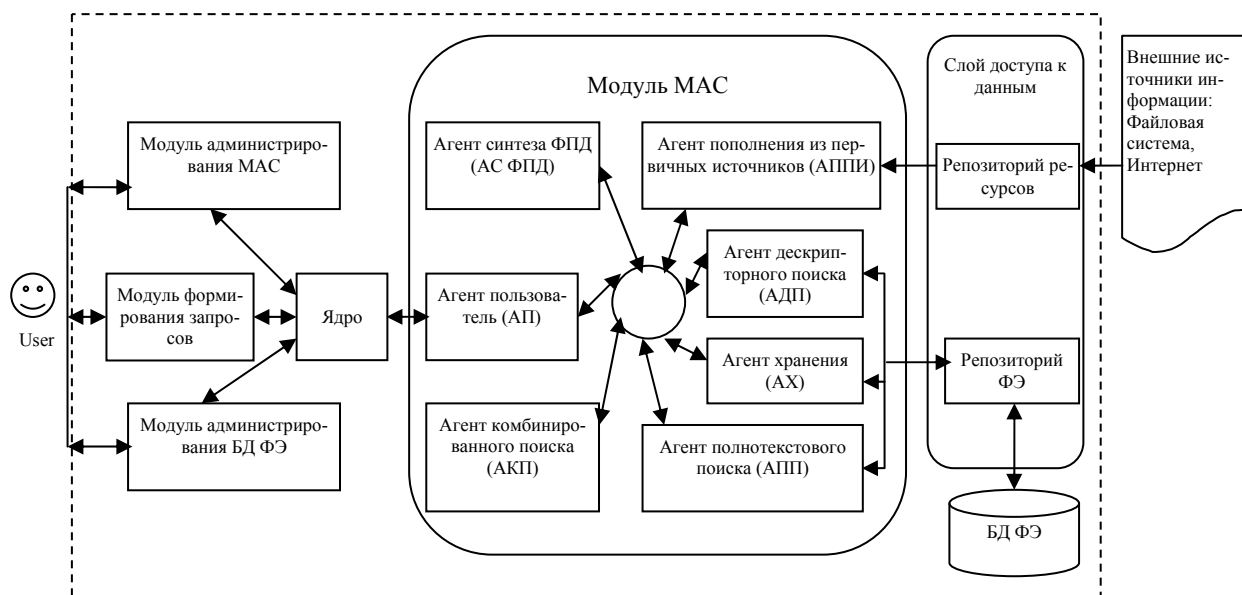


Рис. 1. Общая архитектура системы

Вторая группа содержит функции, предназначенные для администраторов БД ФЭ. Софи II содержит набор инструментов для информационного наполнения БД ФЭ:

создание и редактирование тезаурусов БД ФЭ;

создание структуры описания ФЭ; создание и редактирование описаний ФЭ; отображение списка ФЭ с фильтрацией.

Третья группа функций используется для создания и выполнения запросов конечных пользователей системы:

выполнение поиска ФЭ (дескрипторный, полнотекстовый, комбинированный);
синтез и построение ФПД;
пополнение БД ФЭ из первичных источников.

Модуль многоагентной системы обработки базы данных физических эффектов

Модуль обработки БД ФЭ принимает на входе запросы пользователей и возвращает результаты, непосредственно взаимодействуя с единой БД ФЭ. Модуль реализован как многоагентная система на платформе AgentService [15].

При проектировании МАС использовался стандарт FIPA [11], регламентирующий общую архитектуру многоагентной системы, способы

взаимодействия агентов, жизненный цикл агента. Стандарт предусматривает:

наличие в системе сервиса Agent Management System, обеспечивающего регистрацию агента в МАС и управление жизненным циклом агента (инициализация, активация, остановка, перемещение, удаление);

наличие в системе сервиса Directory Facilitator, обеспечивающего поиск агентов по типам сервисов, которые они предоставляют;

реализацию работы агента в виде поведения (behaviours);

регламентация жизненного цикла агента, включающего перечисление состояний и всевозможные переходы между ними.

Для разработки агента выбрана вертикальная многоуровневая архитектура (рис. 2).

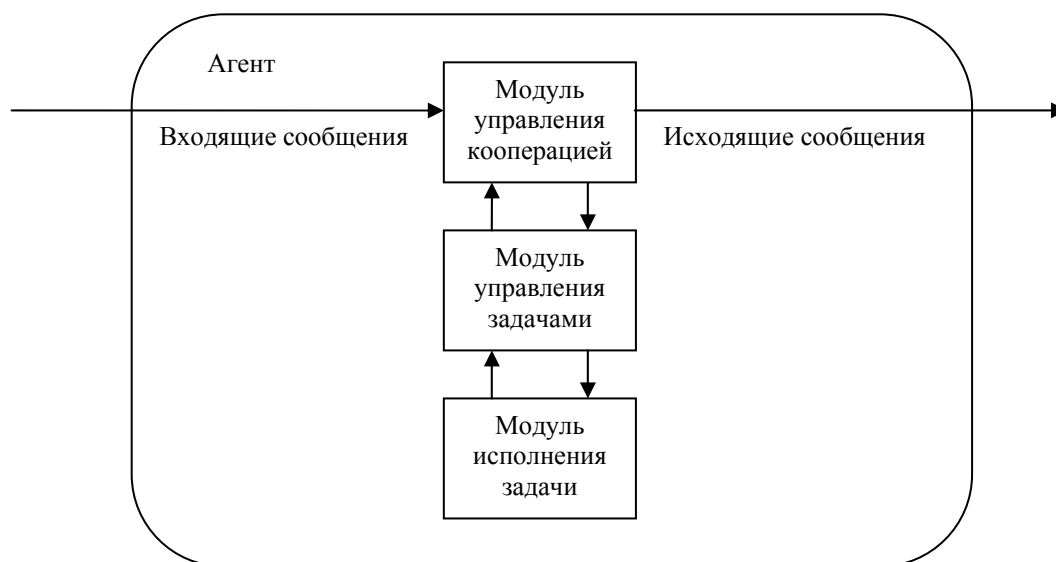


Рис. 2. Обобщенная архитектура агента

Обобщенная архитектура агента включает три уровня.

На первом уровне расположен модуль управления кооперацией (МУК). Данный модуль управляет взаимодействием агента с другими агентами. Входы и выходы МУК непосредственно соединены с входами и выходами агента. Работа модуля реализована в виде набора правил, активируемых входящим сообщением или командой от модуля управления задачами (МУЗ). Модуль управляет состоянием агента. Также МУК выполняет преобразование входящих запросов в команды к МУЗ и формирование исходящих сообщений.

На втором уровне расположен МУЗ. Модуль отвечает за весь процесс решения задачи. К МУЗ поступают команды от МУК: новый запрос от заказчика или ответ от исполнителя, решение

которого ожидает МУЗ. МУЗ реализует целенаправленное поведение агента, способного эффективно достигать поставленных целей.

Непосредственно с МУЗ взаимодействует модуль исполнения задачи (МИЗ). МИЗ отвечает за решение задач агентом. Каждый тип агента решает определенную задачу, поэтому у каждого типа агента МИЗ имеет свою реализацию. К МИЗ поступают команды от МУЗ. При нахождении решения задачи МИЗ формирует ответ к МУЗ. При необходимости МИЗ может формировать команды к МУЗ. Например, МИЗ агента АС ФПД формирует команды поиска ФЭ в процессе своей работы.

На рис. 1 показан особый агент АП. АП занимается проведением аукционов для распределения задач, поступающих от пользователя между агентами-исполнителями. Использо-

ние АП позволяет отделить МАС от различных подсистем, с ней взаимодействующих. На входе АП поступают запросы, поддерживаемые МАС. При проектировании системы был разработан список запросов, поддерживаемый МАС. Структура запроса включает в себя идентификационное наименование запроса, список пара-

метров. В табл. 1 приведен полный список запросов, поддерживаемый модулем МАС.

У АП отсутствует МИЗ, так как данный агент не решает задачи, а распределяет их между другими агентами. Данный агент может иметь только одну роль при взаимодействии – заказчика.

Таблица 1

Список запросов, поддерживаемый модулем МАС

Наименование	Параметры
Полнотекстовый поиск	Поисковый шаблон
Дескрипторный поиск	Поисковый образ запроса (ПОЗ) входа, объекта, выхода
Синтез ФПД	ПОЗ входа и выхода, максимальная длина цепочки
Пополнение ФЭ из первичных источников	Физический путь в файловой системе, адрес в сети Интернет к ресурсам, содержащим первичные источники физической информации
Комбинированный поиск	Список запросов, условие сочетания (объединение, пересечение, разность)
Идентификационный поиск	Идентификатор ФЭ
Удаление ФЭ	Идентификатор ФЭ
Сохранение ФЭ	Описание ФЭ

Другие типы агентов выполняют определенную обработку массива ФЭ (поиск, синтез ФПД). Для упрощения процесса создания агентов разработана методика преобразования методов обработки БД ФЭ каждой из систем [2–4] в МИЗ агентов. Рассмотрим методику на примере агента АПП:

из автоматизированной системы поиска ФЭ³ берется модуль, отвечающий за полнотекстовый поиск ФЭ;

в модуле функциональность, связанная с запросами к БД и извлечением результатов, преобразуется в запросы к модулю доступа данных;

в МИЗ встраивается модуль. Поступающие команды преобразуются в вызовы функций модуля, а также обратно преобразуются результаты работы модуля в исходящие ответы или команды к МУЗ.

В работе реализованы следующие агенты:

агент хранения. Агент АХ выполняет поиск ФЭ по идентификатору, удаление ФЭ по идентификатору, сохранение описания ФЭ;

агент полнотекстового поиска. Агент АПП осуществляет поиск ФЭ по текстовому описанию. Агент разрабатывался на базе работ [1, 3];

агент модифицированного дескрипторного поиска. Агент АДП реализует усовершенствованный дескрипторный метод поиска ФЭ по

компонентам вход, объект, выход с учетом функциональной зависимости физических величин;

агент пополнения БД ФЭ из первоисточников физической информации. Агент АППИ реализован на базе работ [4–7];

агент синтеза ФПД. Агент ФПД создан на базе работ [1, 2];

агент комбинированного поиска. Агент АКП вначале распределяет подзапросы между агентами-исполнителями. После получения результатов АКП выполняет условия сочетаний подзапросов по правилам теории множеств. Множествами в данном случае являются списки идентификаторов ФЭ, полученных после выполнения подзапросов.

Оценка эффективности при разработке нового метода обработки базы данных физических эффектов

Чтобы оценить насколько сократилось время при внедрении нового метода обработки БД ФЭ (дескрипторный поиск ФЭ по компонентам «вход, объект, выход»), был проведен сравнительный анализ. Сравнялось время, затраченное на реализацию АДП, со временем, требующимся на доработку поиска «вход, объект, выход» в АИПС ФЭ, доработку синтеза в АС ФПД и доработку поддержки информационного на-

полнения в АС ППФИО (табл. 2). При оценке времени учитывалось, что на изменение описа-

ния ФЭ в АСО БДФЭ требуется 0,5 ч, а в Софи II – 0,1 ч. В базе данных содержится 300 ФЭ.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа разработки дескрипторного поиска в АСО БДФЭ и разработки агента АДП

Этапы разработки	Разработка дескрипторного поиска в АСО БДФЭ (ч)	Разработка и внедрение агента АДП (ч)
Изменение в БД справочника воздействий	4	0.5
Изменение в БД входной карты ФЭ	150	30
Доработка подсистемы АИПС ФЭ	80	Отсутствует
Доработка подсистемы АС ППФИО	90	Отсутствует
Доработка подсистемы АС ФПД	100	Отсутствует
Разработка агента АДП	Отсутствует	70
Итого	424	100.5

Результаты в табл. 2 показывают, что Софи II позволяет в 4 раза сократить время на внедрение дескрипторного поиска. Такой показатель достигается за счет того, что доработка и внедрение нового агента происходит без существенных доработок системы.

Выводы

Разработана модель многоагентной системы обработки БДФЭ, включая модель агентов, модель взаимодействия агентов, роли агентов при взаимодействии. Модель МАС позволяет интегрировать системы [3, 4, 8] за счет разработки открытой распределенной системы, образованной несколькими взаимодействующими агентами, расширять функциональность системы за счет внедрения новых агентов, реализовать единую БДФЭ.

Софи II позволяет сократить время на внедрение новых методов обработки БД ФЭ. В частности, Софи II позволила сократить в 4 раза время при разработке усовершенствованного дескрипторного поиска ФЭ. Такой результат достигается за счет того, что доработка и внедрение нового агента происходит без существенных доработок системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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, v. 9(10), pp. 700–703.
2. Фоменков, С. А., Колесников, С. Г., Коробкин, Д. М. Формирование и структура баз данных по физическим эффектам // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 18. № 22(125). С. 153–157.

3. 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, v. 9(11), pp. 749–752.
4. Korobkin D. M., Fomenkov S. A., Kolesnikov S. G., Orlova Y. A. A Multi-Stage Algorithm for Text Documents Filtering Based on Physical Knowledge // World Applied Sciences Journal, 2013, v. 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), pp. 91–97.
5. Крапивина, Н. В., Коробкин, Д. М., Фоменков, С. А. Автоматизация фильтрации электронных первоисточников по признаку знаний о нанотехнологиях и выявление описаний нанотехнологий // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10(97). С. 161–166.
6. Fomenkov Sergey A., Korobkin Dmitriy, Kolesnikov Sergey. Method of Ontology-Based Extraction of Physical Effect Description from Russian Text. //Proceedings of the 11th Joint Conference «Knowledge-Based Software Engineering» (JCKBSE 2014, Volgograd, Russia). – Springer International Publishing, 2014, pp. 319–328.
7. Korobkin D. M., Fomenkov S. A., Kolesnikov S. G. Ontology-based extraction of physical effect description from russian text // 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. Korobkin D. M., Fomenkov S. A., Kolesnikov S. G., Voronin Y. F. System of Physical Effects Extraction from Natural Language Text in the Internet // World Applied Sciences Journal, 2013, v. 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), pp. 55–61.
9. Korobkin D. M., Fomenkov S. A., Kolesnikov S. G. Semantic network of physical effects descriptions in natural language context // 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.
10. Michael Wooldridge. An Introduction to MultiAgent Systems, John Wiley & Sons Ltd, 2002, paperback, 366 pages.

11. The Foundation for Intelligent Physical Agents [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.fipa.org>.
12. FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.fipa.org/specs/fipa00029>.
13. Agent Communication Language [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.fipa.org/specs/fipa00018/OC00018.pdf>.
14. Тарасов, В. Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте / В. Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2.
15. AgentService [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.agentservice.it>.
16. FIPA Agent Message Transport Service Specification [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <http://www.fipa.org/specs/fipa00067>.

УДК 004.82

Нгуен Ле Тхань Тунг, А. В. Матохина, А. В. Кизим

ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОНТОЛОГИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

Волгоградский государственный технический университет
juno249@gmail.com, matokhina.a.v@gmail.com, kizim@mail.ru

Работа посвящена исследованию средств и разработке представления знаний о промышленном оборудовании на примере электротехнического оборудования. В качестве средств формального описания предметной области рассматриваются онтология, которая представляет собой совокупность терминов и взаимосвязанных определений, относящихся к предметной области и функционалу. Для представления онтологии используется программный инструмент Protégé.

Ключевые слова: системы управления знаниями, онтология, OWL, SWRL, электротехника, оборудование, представление знаний, эксплуатация и ремонт.

Nguyen Le Thanh Tung, A. V. Matokhina, A. V. Kizim

CRETION AND USE OF ONTOLOGY OF ELECTRICAL ENGINEERING EQUIPMENT

Volgograd State Technical University

This work is dedicated to development and research of knowledge representation about electrical engineering equipment. As a means of formal description the subject area considered ontology, which is a set of related terms and definitions relating to a certain subject area and vopolnyayuschih function. For ontology representation used Protégé program system.

Keywords: knowledge management, ontology, OWL, SWRL, electrical engineering, equipment, maintenance, repair.

Введение

В настоящее время онтология используется для описания знаний о некоторой предметной области. Онтологии описывают понятия предметной области, а также отношения, которые существуют между этими понятиями. Различные онтологические языки предоставляют различные возможности. Определения сложных понятий могут быть построены на основе определений более простых понятий. Кроме того, логическая модель позволяет использовать рассуждения, с помощью которых можно проверить все ли утверждения и определения в онтологии взаимно согласуются, а также выяснить, какие концепции соответствуют заданными определениям [1, 2, 4].

Электротехника – область техники, связанная с получением, распределением, преобразованием и использованием электрической энергии, а также с разработкой, эксплуатацией и оптимизацией электронных компонентов, электронных схем и устройств, оборудования и технических систем [3]. В области электротехники используется электротехническое оборудование – это оборудование, предназначенное для производства, передачи, распределения и изменения характеристик (напряжения, частоты, вида электрического тока и др.) электрической энергии, а также для ее преобразования в другие виды энергии. Разрабатываемая онтология используется для категоризации всех видов электротехнического оборудования.

© Нгуен Ле Тхань Тунг, Матохина А. В., Кизим А. В., 2015

*Задачи представления знаний о технических системах для целей поддержки их обслуживания и ремонта реализованы при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-01-00798_а).

1. Описание онтологии

Разработана онтология «Электротехника», которая описывается с помощью 698 аксиом, 47 классов, 4 отношений и 65 свойств классов. Информации для построения онтологии взята из источника «Техническая документация по электротехническому оборудованию» [3, 4].

Этапы разработки онтологии включали следующие действия:

1. Поиск и анализ информации по предметной области «Электротехника» и существующей онтологии.

2. Сбор данных – определение источников и отбор терминов для онтологии.

3. Анализ данных – определение основных терминов и терминов элементов, отношений, вербальное описание терминов.

4. Разработка соответствующей онтологии в Protégé.

5. Вывод знаний онтологии с использованием правил SWRL.

6. Проверка работоспособности онтологии на языке SPARQL [9].

Для представления предметной области «Электротехника» выбран язык описание онтологии – OWL [8], использованы правила SWRL, которые могут быть привязаны к конкретному экземпляру, определенному в онтологии, при логическом выводе [10] и разработаны в программе Protégé [6].

2. Построение онтологии в Protégé

2.1. Определение области и масштаба онтологии

Онтологию электротехнического оборудования можно использовать для категоризации соответствующего оборудования предприятий и в промышленных каталогах. В рамках образовательной деятельности применение онтологии позволяет специфицировать основные компоненты соответствующей дисциплины: лекционный и практический материал, лабораторные работы, контрольные вопросы, дополнитель-

ную литературу. В онтологию включены понятия, описывающие различные виды электротехнического оборудования, их технические характеристики и место производства.

2.2. Вопросы для проверки компетентности

Один из способов определить масштаб онтологии [1] – это оставить список вопросов, на которые должна ответить база знаний, основанная на онтологии. В предметной области возможны следующие вопросы для проверки компетентности: «Какие технические характеристики оборудования мне следует учитывать при выборе? Какое оборудование лучше всего подойдет к заданным параметрам характеристики? Какие компании производят оборудование, которое вы ищите? Это оборудование производится на каком заводе/в какой компании? Какое оборудование производит данная компания? Какие компании расположены в России? Где находится данная компания? В какой стране производится такое оборудование? Каков вид этого оборудования?»

Онтология должна включать информацию о различных характеристиках и типах электротехнического оборудования, которые нужно учесть при выборе подходящего оборудования, рекомендуемых к цели использования; компании/стране производства этого оборудования.

2.3. Описание классов и их свойства

На основе классификации электротехнического оборудования [4], определены и исследованы классы/подклассы. Классы сами по себе не представляют достаточно информации для ответа на вопросы проверки компетентности (см. п. 2.2). После определения классов необходимо описать внутреннюю структуру понятий свойствами этих классов. Эти свойства включают в себя технические характеристики. Основные классы/подклассы и их свойства представлены в таблице.

Основные классы/подклассы и их свойства

Основные классы	Основные подклассы	Основные свойства
Высоковольтная аппаратура	Выключатели	Номинальное напряжение
Низковольтная аппаратура	Предохранители	Номинальный ток
Кабельно-проводниковая продукция	Разрядники	Номинальная частота
Трансформаторное оборудование	Ограничители	Мощность
Контрольно-измерительные приборы и автоматика	Заземлители	Условия эксплуатации
Светотехническая продукция	Короткозамыкатели	Срок службы
	Отделители	Степень защиты

Окончание таблицы

Основные классы	Основные подклассы	Основные свойства
	Разъединители Устройства защитного отключения Контакторы Кабели связи Кабели управления Кабели контрольные Трансформаторы Реакторы Лампы накаливания Светильники	Диапазон рабочих температур Компания Масса

2.4. Описание онтологии в графическом виде

В результате процесс описания понятий представляет иерархию классов, отображенную на рис. 1.

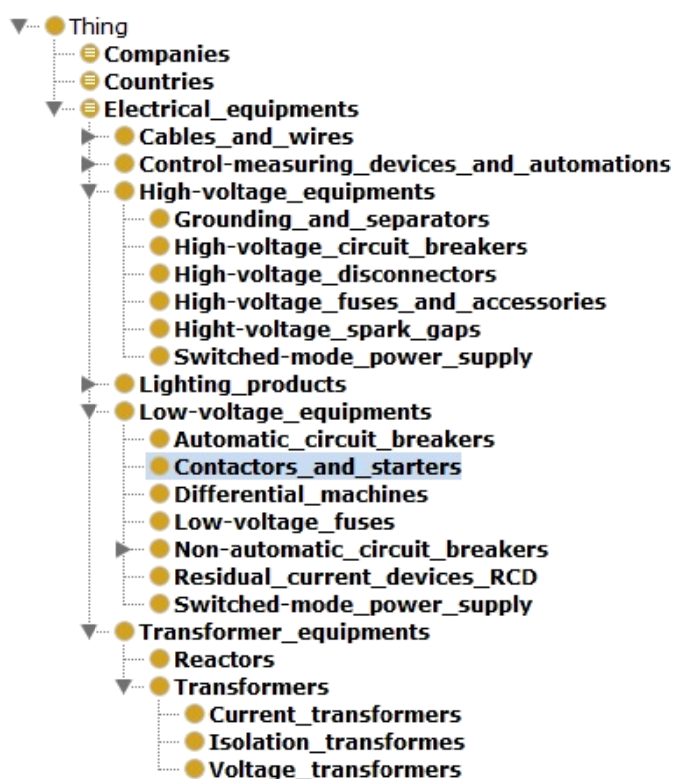


Рис. 1. Иерархии классов

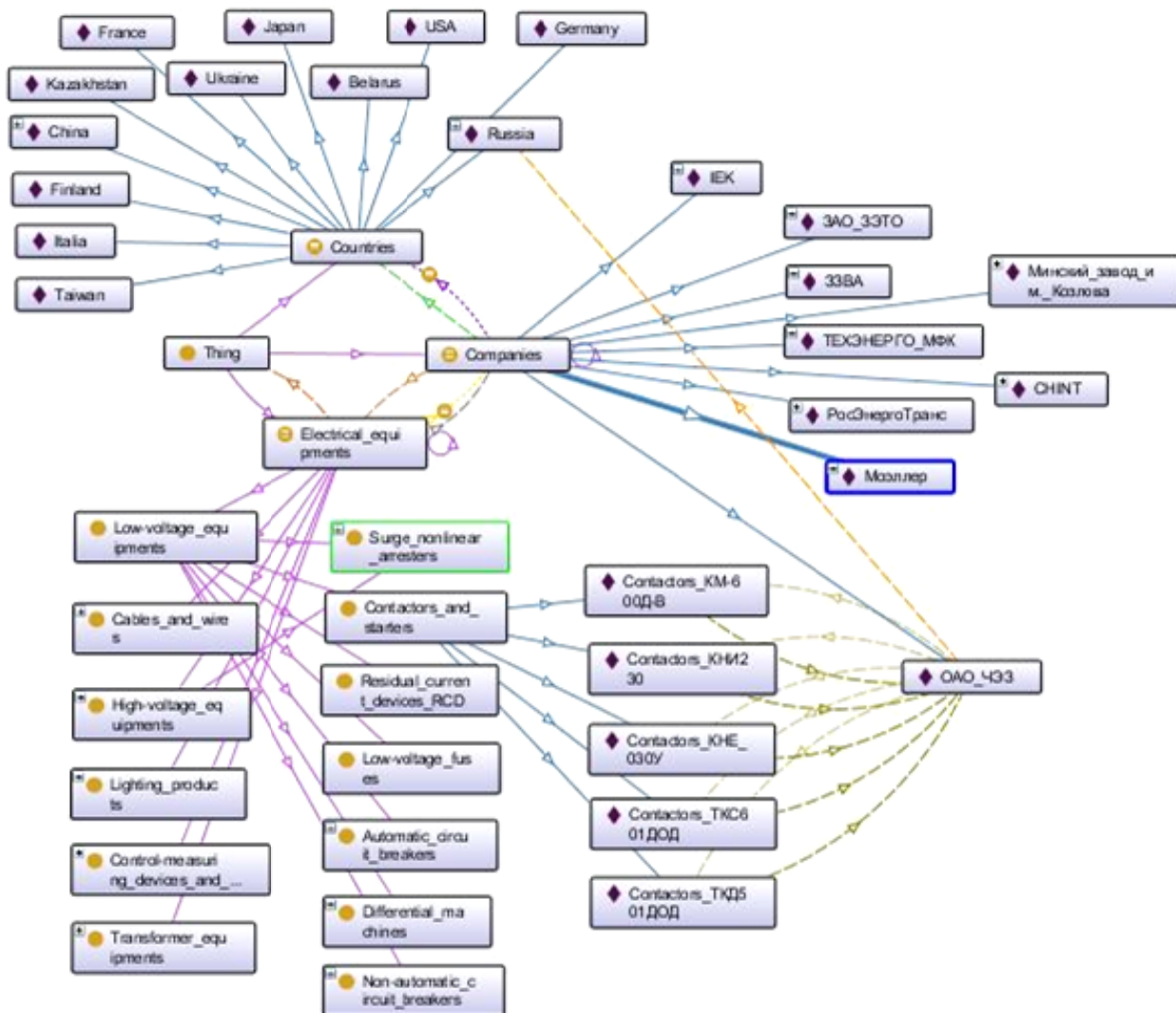


Рис. 2. Связь между основными классами

На рис. 2 и рис. 3 схематично показаны диаграмма классов и связь между основными классами.

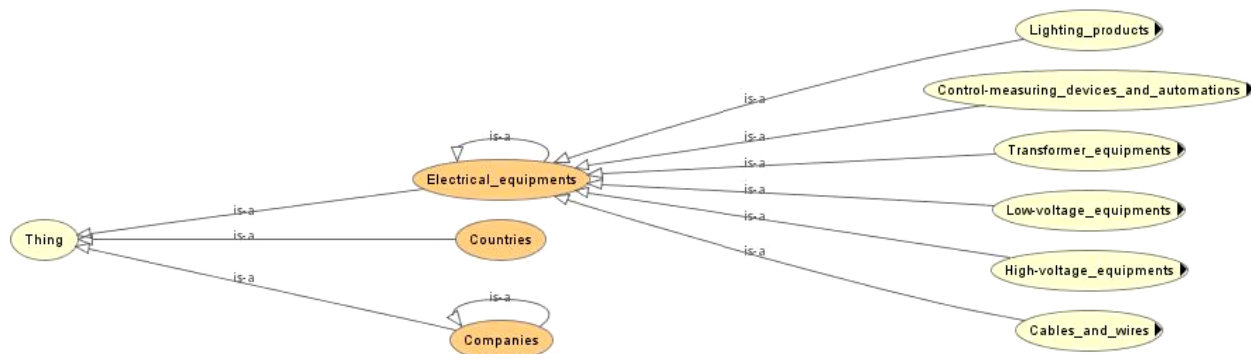


Рис. 3. Диаграмма классов в виде графа

2.5. Вывод знаний онтологии с использованием правил SWRL

Для обеспечения возможности более полного представления онтологии предлагается использовать язык правил семантического веба (Semantic

Web Rule Language, SWRL) [7]. SWRL – это технология, которая основана на объединении языков OWL и RuleML. Однако суть технологии и принципы ее работы дают возможность определить, что она необходима по следующим причинам:

1) правила SWRL не содержат конкретных объектов, а только ссылаются на них, что дает возможность применять одно и то же правило к ряду групп объектов;

2) правила SWRL могут быть добавлены к OWL-описанию, т. е. включены в онтологию;

3) написание и чтение правил удобнее, если для этого существует специальный язык.

Возможность работать с SWRL уже реализована во многих редакторах онтологий, в том числе и в Protégé [7].

Правила, написанные на SWRL, представляют в виде Хорновского дизъюнкта. Дизъюнктом Хорна называют выражение типа:

Выражение является истинным, когда все составляющие его атомы истинны. Рассмотрим следующее правило в данной онтологии, определяющее отношение «имеет электрическое оборудование с хорошим качеством в России» (has-

GoodContactorMadeInRussia) по заданным параметрам характеристик между экземплярами:

`Companies(?c), Electrical equipments(?x), (hasRatedVoltage value 50)(?x), is_located(?c, ?country), startsWith(?country, "Russia"), produces(?c, ?x), hasRatedCurrent(?x, ?rated_current), greaterThan(?rated_current, 60), hasWeight(?x, ?w), lessThan(?w, 3.0) -> hasGoodContactorMadeInRussia(?x, ?c)`

Данное правило выводит отношение между экземплярами, соответствующими переменным ?x – электрическое оборудование и ?c – компания, в которой производят это оборудование; имеются отношения: «имеет номинальный ток» (hasRatedCurrent), «имеет номинальное напряжение» (hasRatedVoltage), «имеет массу» (hasWeight), «находится в» (is_located) и «производит» (produces) соответственно. На рис. 4 представлено правило в графе, а на рис. 5 определено правило SWRL в Protégé.

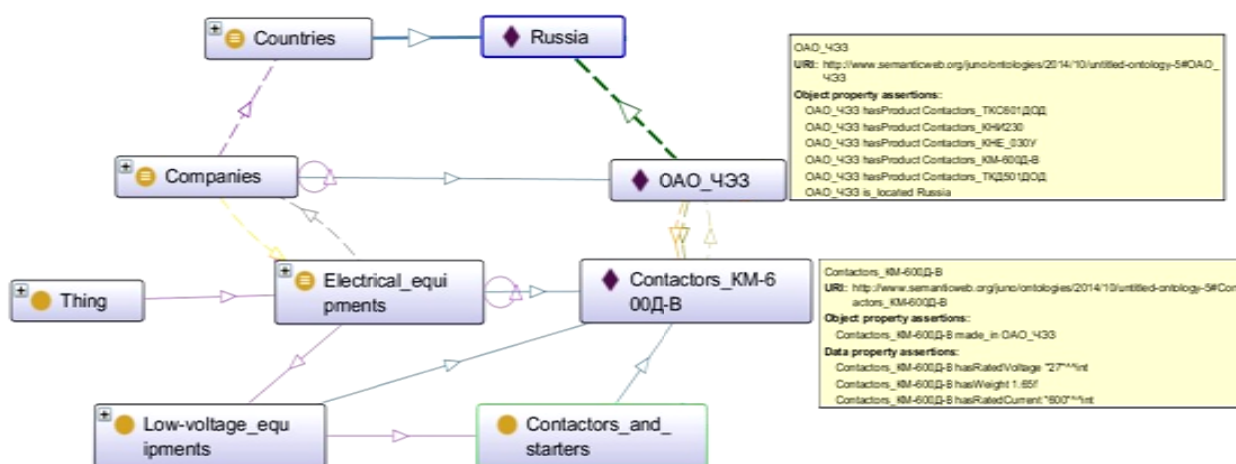


Рис. 4. Представления правила в виде графа между экземплярами

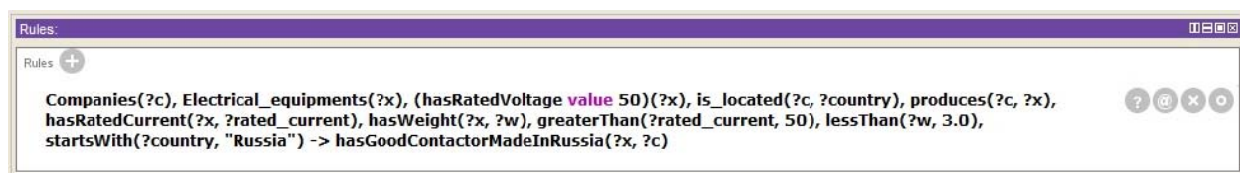


Рис. 5. Правило SWRL для вывода хороших электрических оборудований в Protégé

Использование SWRL-правил позволяет более расширенно представлять онтологию. SWRL часто использованы при логическом выводе, когда необходимо в общем определении указывать на необходимость связывания отношениями экземпляров в уточняющих определениях.

3. Проверка работоспособности разработанной онтологии

Программная система Protégé предоставляет возможность задавать запросы на языке SPARQL [6] к онтологии, а также производить различные логические манипуляции над ней.

Для проверки работоспособности разработанной онтологии используются определенные в пункте 2.2 вопросы. Семантика запроса: «Выдайте все контакторы, которые производятся в России, по техническим параметрам со значе-

ниями». На выходе получен результат выполнения запроса: контактор лучше всего подойдет к заданным параметрам характеристики.

На рис. 6 показан запрос в языке SPARQL и полученный результат выполнения запроса.

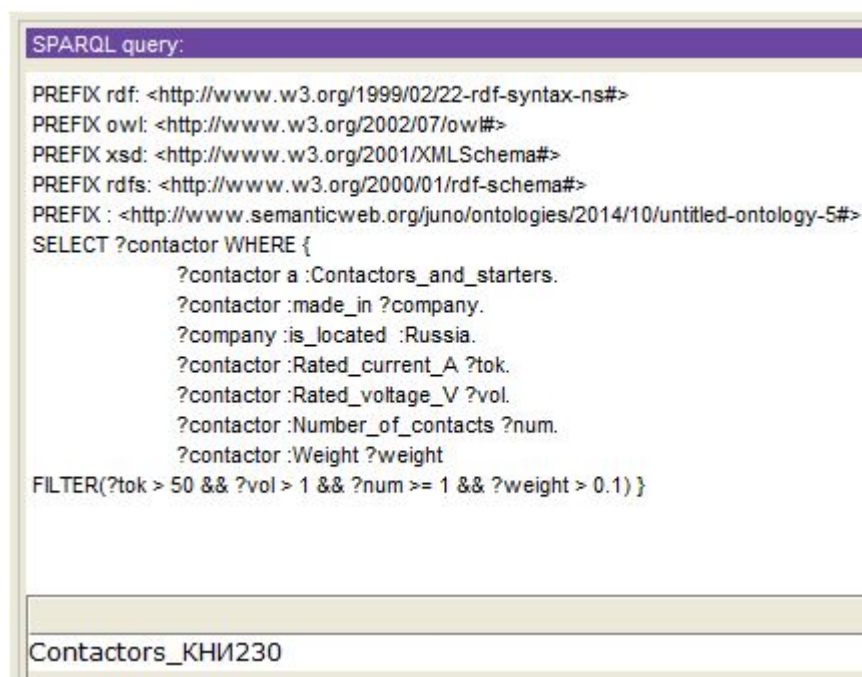


Рис. 6. Запрос в языке SPARQL и полученный результат выполнения запроса

Заключение

В работе обоснована необходимость создания онтологии предметной области «Электротехника» и ее представления на языке OWL. В качестве инструментального средства проектирования онтологии выбрана программная система Protégé. В результате получена онтология, которая полностью отражает современную классификацию, разработанную в данной области. Полученная онтология электротехнического оборудования может использоваться как независимо, так и совместно с онтологиями прочего оборудования для задач паспортизации, организации эксплуатации и ремонта оборудования и других. Данная онтология может объединяться с другими онтологиями для создания приложений, информационного обеспечения и специализировать понятия для конкретного применения в различных сферах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка онтологий 101: руководство по созданию вашей первой онтологии [Электронный ресурс] / Наталья Ф. Ной (Natalya F. Noy) и Дэбора Л. МакГиннесс (Deborah L. McGuinness), Стэнфордский Университет, Стэнфорд, Кали-

форния, 94305. – Режим доступа : http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.html

2. Хорридж, Мэтью. Практический справочник по построению Онтологий OWL в Protege 4 и CO-ODE Tools Edition 1.2. – Манчестерский университет.

3. Мурзин, Ю. М. Электротехника : учеб. пособие / Ю. М. Мурзин, Ю. И. Волков. – СПб.: Питер, 2007. – 443 с.

4. Техническая документация по электротехническому оборудованию [Электронный ресурс]. – [2014]. – Режим доступа : <http://www.elec.ru/library/manuals/>

5. OWL Web Ontology Language Guide [Электронный ресурс]. – [2014]. – Режим доступа : <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>

6. SPARQL Query Language for RDF [Электронный ресурс]. – [2014]. – Режим доступа : <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

7. SWRL: A Semantic Web Rule Language [Электронный ресурс]. – [2014]. – Режим доступа : <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>

8. Нгуен, Д. Х. Моделирование обслуживания движения документов с использованием мультиагентных технологий / Д. Х. Нгуен, В. А. Камаев, А. В. Кизим // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5. – С. 245–248.

9. Кизим, А. В. Организация программно-информационной поддержки методологий технического обслуживания и ремонта / А. В. Кизим // Сборник научных трудов SWorld : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2012». – 2012. – Вып. 4, т. 12. – С. 86–88.

10. Организация системы документооборота на основе мультиагента / Д. Х. Нгуен, В. А. Камаев, А. В. Кизим,

Д. В. Быков // Безопасность информационных технологий. – 2012. – № 1. – С. 130–132.

11. Repair and Maintenance Organization with the Use of Ontologies and Multi-agent Systems on the Road Sector Example / М. В. Денисов, А. В. Кизим, А. В. Матюхина, Н. П. Садовникова // World Applied Sciences Journal (WASJ). – 2013. – Vol. 24, Spec. Issue 24 : Information Technologies in Modern Industry, Education & Society. – С. 31–36.

12. Scenario forecasting of sustainable urban development based on cognitive model / Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин, Е. П. Гнедкова, А. Г. Кравец, А. В. Кизим, С. С. Укустов // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23–26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference ICT, Society and Human Beings 2013 and IADIS International Conference e-Commerce 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 115–119.

13. Кизим, А. В. Задачи и методы поддержки ТОИР обслуживания на протяжении его жизненного цикла / А. В. Ки-

зим // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4(91) / ВолгГТУ. – 2012. – Т. 13. – С. 55–59.

14. Кизим, А. В. Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / А. В. Кизим, Н. А. Линева // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 2(40). С. 43–45.

15. Искусственный интеллект. Базы знаний и экспертные системы : учеб. пособие / А. М. Дворянкин, А. В. Кизим, И. Г. Жукова, М. Б. Сипливая ; ВолгГТУ. – Волгоград : Политехник, 2003. – 140 с.

16. Кизим, А. В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 6. № 6(54). С. 118–121.

17. Кизим, А. В. Комплексный методологический подход к решению задач поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 18. № 22 (125). С. 60–66.

УДК 004.9:324

А. В. Петрухин, А. С. Колесников, А. А. Фролов

МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Волгоградский государственный технический университет

htr753@list.ru

Представлен мультидисциплинарный характер процессов информационного поиска и поддержки принятия решений. Рассматривается применение информационного поиска в различных областях для принятия решений.

Ключевые слова: информационный поиск, мультидисциплинарность, поддержка принятия решений, физический эффект.

A. V. Petrukhin, A. S. Kolesnikov, A. A. Frolov

A MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO THE IMPLEMENTATION TOOLS INFORMATION RETRIEVAL AND DECISION SUPPORT

Volgograd State Technical University

The multidisciplinary process of information retrieval and decision support are presented. The use of information search in different areas of decision-making are revealed.

Keywords: information retrieval, multidisciplinary, decision support, physical effect.

Одной из насущных задач современности являются проблемы информационного поиска и рационального принятия решений. Данная проблема является неотъемлемой для различных областей человеческой деятельности, в частности, для экономики и техники.

Под информационным поиском понимается процесс поиска неструктурированной документальной информации, которая удовлетворяет те или иные информационные потребности. Информационный поиск широко применяется во многих областях для решения как формализованных, так и, в ряде случаев, недостаточно

формализованных, слабоструктурированных задач. Помимо того, что информационный поиск представляет собой самостоятельный набор процедур, его также можно рассматривать как часть более общего процесса поддержки принятия решений.

Как правило, под данными подразумевают зарегистрированную информацию, представление фактов, понятий или инструкций в форме, приемлемой для общения, интерпретации, или обработки человеком или с помощью автоматических средств. Главными целями применения информационного поиска является умень-

шение сроков принятия решений, а также повышение их качества. Под системами поддержки принятия решений понимаются инструментальные средства, использующие правила принятия решений и соответствующие модели с информационными базами для поддержки процесса принятия решений, в том числе и многокритериальных, в различных информационных средах.

С целью решения проблем получения, представления и обработки данных используются различные типы интеллектуальных систем. К числу таких систем относят информационно-поисковые системы, экспертные системы, системы поддержки принятия решений, оперативной аналитической обработки данных, управления данными и др. Данные представляют в виде таксономий, онтологий, семантических сетей, продукций, хромосом, фреймов. Системы, которые предназначены для сбора, поиска, хранения и выдачи данных, называют базами данных, т. е. база данных (БД) – систематизированное хранилище неструктурированной информации [1].

Информационный поиск используется для поддержки принятия решений в самых различных областях человеческой жизни, что обуславливает мультидисциплинарный характер подходов к его практической реализации.

Рассмотрим подходы к построению автоматизированных процедур поддержки принятия решений в таких отраслях, как экономика и техника.

В экономике процесс управления экономическими объектами, как правило, не приемлет полностью интуитивных решений, поскольку наблюдается динамизм данной среды, а также большой выбор альтернатив допустимых решений, что требует обоснованных управленческих воздействий, выработанных на основе специальных аналитических исследований и прогнозов.

Управление экономическим объектом обычно является частью информационной технологии решения экономической задачи. Важные процедуры данной технологии условно делятся на отдельные стадии, ключевыми из них, кроме передачи, являются: сбор, преобразование и регистрация информации; обработка и хранение; преобразование, тиражирование и использование (в том числе принятие решения и выработка управляющих воздействий).

Возьмем для примера финансовый рынок. Необходимо отметить, что финансовый рынок характеризуется тем, что это один из самых

информационно насыщенных секторов экономики. Информация на данном рынке несет весьма большую функциональную нагрузку. При этом выделяют следующие основные функции финансовой информации:

во-первых, информация на финансовом рынке – это фактор, который обеспечивает его функционирование;

во-вторых, она является фактором принятия экономических решений для хозяйствующих субъектов [4].

Проблема управления активами на фондовом рынке является фундаментальной в финансовой теории и практике. Исследования многих ученых, занимающихся вопросами принятия инвестиционных решений, направлены, в частности, на совершенствование теории оптимизации портфеля ценных бумаг и принятие решений по управлению этим портфелем.

Сегодня во всем мире используется множество разнообразных систем поддержки принятия решений на рынке ценных бумаг, отличающихся по решаемым задачам, пользователям, методам.

Большинство таких систем предназначено для анализа и прогнозирования рынка, оценки рисков, оптимальных параметров портфеля и решения некоторых иных задач с целью поддержки решений экономического агента на отдельных этапах управления инвестиционным процессом. Помимо этого, выделяют и системы, которые помогают пользователю с выбором рациональных решений на всем протяжении управленческого процесса, представляющие собой достаточно сложное комплексное решение с модульной структурой. Данные системы в обязательном порядке содержат блок прогнозирования и блок управления портфелем в соответствии с очевидной системной декомпозицией задачи.

В результате на фондовом рынке большое распространение получили различные системы автоматизации биржевых процессов – торговые терминалы, системы технического анализа, а также системы автоматизации трейдинга (биржевые роботы).

Таким образом, в экономике информационный поиск для поддержки принятия решений используется для управления экономическими объектами, поиска и анализа биржевой информации и принятия решений при работе на фондовом рынке.

Большое внимание в современных интеллектуальных информационных системах уделя-

ется различным областям человеческой деятельности, где накоплено много данных [2]. В работе [3] было отмечено, что сами по себе данные часто имеют незначительную практическую ценность, так как они нуждаются в серьезной обработке. Пользователями прикладных систем в настоящее время предъявляются серьезные требования к результатам исследования данных, которые не могут быть получены чисто статистической обработкой. Им интересны заключения, которые помогают в изучении комплексных задач и принятии важных решений.

Далее – реализация данного подхода в области физических знаний. Информационный поиск для поддержки принятия решений используется для поиска и синтеза технических решений.

Одним из перспективных направлений для поискового конструирования технических систем является использование структурированных физических знаний в форме физических эффектов (ФЭ). Обобщенная модель представ-

ления ФЭ изложена в [6]. Данная модель описания ФЭ позволяет осуществлять поиск ФЭ в базе данных различными методами, что дает возможность удовлетворять широкий спектр информационных потребностей различных категорий пользователей.

Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения по физическим эффектам описана в [10], а отдельные подсистемы на основе ФЭ – в [8, 11]. Примеры использования разнообразных подходов, в том числе и достаточно инвариантных, потенциально применимых при решении задач концептуального проектирования в различных предметных областях, обсуждались также в [5, 7, 9].

Рассмотрим предлагаемую автоматизированную информационно-поисковую систему по физическим эффектам для поддержки процесса проектирования электромеханических устройств.

Архитектура данной системы представлена на рис. 1.

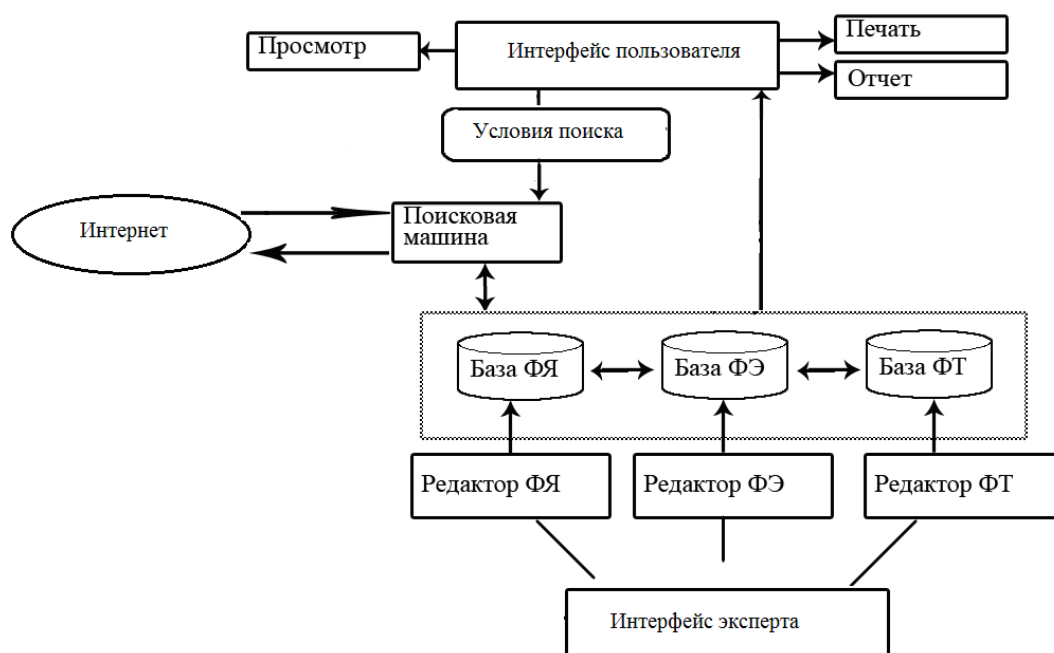


Рис. 1. Архитектура автоматизированной информационно-поисковой системы по физическим эффектам для поддержки процесса проектирования электромеханических устройств

Система начинает свою работу по запросу пользователя, вследствие чего открывается главное окно программы.

Первым этапом использования системы является выбор требуемого действия: просмотр, поиск или редактирование.

Модуль просмотра предоставляет возможность выбрать конкретное физическое явление,

физический эффект или физический термин из соответственно БД ФЯ, БД ФЭ или БД ФТ для дальнейшего получения детальной информации. Для составления списка всех имеющихся записей используются БД ФЯ, БД ФЭ и БД ФТ. Соответственно модуль отображения детальной информации считывает из базы всю теоретическую информацию по требуемому физическому

знанию и предоставляет ее для просмотра.

Просмотр осуществляется в двух видах: просмотр краткой информации и просмотр полной информации. При просмотре краткой информации пользователь получает возможность просмотра наиболее важной информации касательно данного физического знания в кратком виде. При просмотре полной информации пользователь получает возможность просмотра всей необходимой информации по данному физическому знанию.

Модуль редактора предоставляет пользователю возможность самому редактировать базу данных. Пользователь может добавить, изменить или удалить физические знания из базы данных.

Модуль поиска осуществляет поиск необходимых физических знаний по различным критериям, в том числе и в Интернете. При совпадении запроса пользователя с содержанием системы в модуле просмотра появляется

найденная информация. Для возвращения в режим просмотра всех данных системы необходимо очистить фильтр поиска. Также модуль поиска осуществляет поиск по входу, выходу, объекту.

Также пользователю предоставлена возможность получения отчета о необходимом физическом знании и возможность его печати.

Автоматизированная информационно-поисковая система по физическим эффектам для поддержки процесса проектирования электро-механических устройств должна обеспечивать работу следующих функций:

- а) управление базой данных;
- б) просмотр базы данных ФЭ;
- в) поиск по заданным критериям;
- г) формирование отчета;
- д) печать информации о ФЭ;
- е) автосохранение данных;
- ж) просмотр справки.

На рис. 2 приведена функциональная схема.

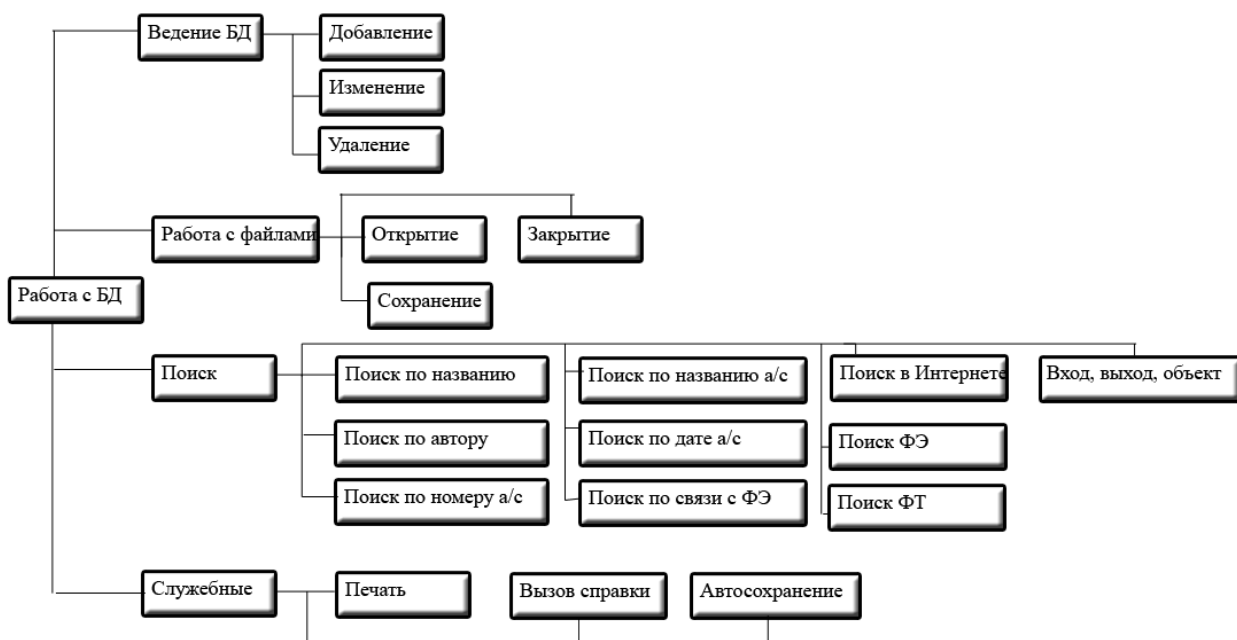


Рис. 2. Функциональная схема

Использование новых подходов к формированию инвариантной методики построения средств информационного поиска, основанной на мультидисциплинарном характере принципов поддержки процессов решения задач информационного поиска и принятия решений, представленных в данной статье, позволяет увеличить эффективность создания соответствующих программно-методических инструментальных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норенков, И. П. Интеллектуальные технологии на основе онтологий / И. П. Норенков // Информационные технологии. – 2010. – № 1. – С. 32–33
2. Щеглов, С. Н. Современные технологии построения систем поддержки принятия решений / С. Н. Щеглов // Известия Южного федерального университета. – 2008. – № 4. – С. 17–18
3. Городецкий В. К, Самойлов В. В., Малое А. О. Современное состояние технологий извлечения знаний из баз и хранилищ данных // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 3. – С. 23–25

4. Василенко, Л. А. Рынок информационных услуг : учеб. пособие / Л. А. Василенко. – М., 1996. – 78 с.
5. Петрухин, А. В. Архитектура биржевого робота для работы в среде торгового терминала QUIK // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). С. 138–141.
6. Петрухин, А. В. Использование физических знаний при решении задач концептуального проектирования технических объектов / А. В. Петрухин, С. А. Фоменков, В. А. Камаев // Известия высших учебных заведений. – М. : Машиностроение, 1997. № 1–3. С. 29–33.
7. 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. – М. : Машиностроение, 1998. № 4–6. С. 52–56.
8. 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.
9. Петрухин, А. В. Принятие технологических решений в литейном производстве с использованием интегрированной экспертной системы / А. В. Петрухин, В. К. Агеев, Ю. Ф. Воронин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2004. № 5. С. 64–65.
10. Фоменков С. А., Петрухин А. В., Колесников С. Г. Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения для систем концептуального проектирования, использующих структурированные физические знания в форме физических эффектов // Качество и ИПИ (CALS)-технологии. 2005. № 1. С. 26–29.
11. Архитектура автоматизированной системы концептуального проектирования СОФИ / В. А. Камаев, С. А. Фоменков, А. В. Петрухин, Д. А. Давыдов // Программные продукты и системы. 1999. № 2. С. 30–34.

УДК 004.942:336.761

А. В. Петрухин, А. А. Фролов, А. С. Колесников

СТРУКТУРИЗАЦИЯ РИСКОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПЛЕКСОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СПИРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ БОЭМА

Волгоградский государственный технический университет

htr753@list.ru

Определены основные группы рисков при формировании комплексов инструментальных программных средств автоматизации на основе описания жизненного цикла систем автоматизированного проектирования. Выявлены основные риски при разработке систем автоматизированного проектирования, а также предложены варианты их минимизации или исключения.

Ключевые слова: спиральная модель, инструментальные программные средства, автоматизация, риски, жизненный цикл, системы автоматизированного проектирования.

A. V. Petrukhin, A. A. Frolov, A. S. Kolesnikov

THE RISK STRUCTURING FOR AUTOMATED SYSTEMS DESIGN PROCESS BASED ON BOEHM SPIRAL MODEL

Volgograd State Technical University

The main risk groups in the formation of complexes of automation software tools based on the description of the CAD systems life cycle are shown. The basic risks associated with the development of computer-aided design, as well as the variants of their minimization or elimination were revealed.

Keywords: spiral model, software tools, automation, risk, life cycle, computer-aided design systems.

В современных условиях важно учитывать в упреждающем режиме риски при реализации крупных проектов по разработке инструментальных программных средств автоматизации. При этом любые риски всегда связаны с денежными и материальными средствами. Особенно актуально вышесказанное при разработке инструментальных средств, для автоматизации различных задач в экономике и технике. Ошибки на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) программного обеспечения (ПО) приводят к заик-

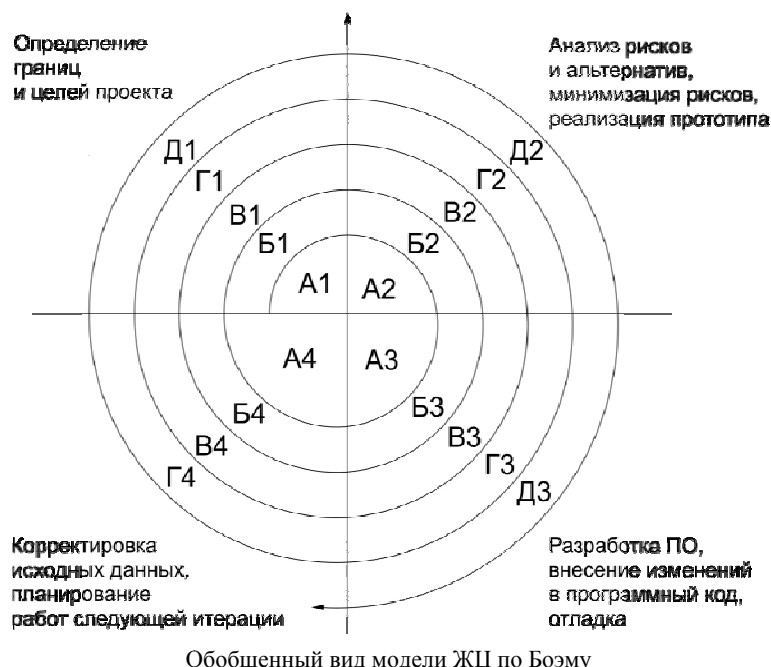
ливанию разработки, несоответствию конечного продукта заявленным требованиям, сложности и высокой стоимости реализации и эксплуатации, что дополнительно приводит к различным издержкам для заказчика.

Вышеизложенная проблема имеет явно выраженный междисциплинарный характер. Например, при решении экономических задач наиболее важными являются риски, связанные с некомпетентностью заказчика или разработчика инструментальных программных средств.

Отказ от учета и способов минимизации или исключения этих рисков приводит к потерям времени (зацикливанию процесса разработки, несоответствию конечного продукта требованиям), появлению некорректных данных. Ошибки в анализе или расчетах, в частности, на бирже могут привести к колоссальным денежным потерям. Также на бирже огромное значение имеет передача информации. При этом для автоматизации процессов, протекающих при биржевой торговле, используется большое количество различных инструментальных программных средств, которые организуются как комплекс программного ПО для решения связанных задач. В результате необходимо поддерживать возможность передачи данных от одного программного продукта к другому, путем прямой передачи (экспорт, импорт) или через посредников (путем конвертации в другие форматы). Следовательно, еще одним важным риском является неверный анализ начальных данных. Очевидно, что, не учтя этот риск, можно разработать программное изделие, которое будет несовместимо с уже имеющимися инструментальными программными средствами, а значит, не применимо частично или полностью.

Аналогичные риски присутствуют и при разработке инструментальных программных средств в технике. Приводят они к аналогичным последствиям: потери времени и средств, ошибки при обработке и управлению данными. Учитывать подобные риски, возникающие при разработке инструментальных программных средств особенно важно, если речь идет об автоматизации проектирования. На предприятиях оборонно-промышленного комплекса ПО обязательно должно соответствовать всем заявленным требованиям, в противном случае под угрозой может оказаться, к примеру, разработка новой или производство серийной военной техники. Для любого государства это приведет к серьезным потерям и поставит под угрозу безопасность страны.

Выявление таких возможных рисков при разработке инструментальных программных средств автоматизации необходимо на различных этапах жизненного цикла. Существенная доля рисков может быть учтена еще до этапа реализации финального продукта. Особенно удобен и эффективен такой подход при разработке сложных и объемных комплексов инструментальных программных средств, а также при необходимости долгосрочного сопровождения и доработки продукта.



Существует множество различных подходов к системному решению задачи снижения рисков при разработке программного обеспечения. Разнообразие соответствующих методик и систем их компьютерной поддержки,

применяемых в ряде случаев, вызвано тем, что каждая из них решает свои специализированные задачи, определяемые различными аспектами риск-менеджмента. При их построении могут использоваться как традиционно приме-

няемые подходы [1–3], так и средства автоматизации формальных и неформальных процедур в других предметных областях, используемые в контексте междисциплинарной конвергенции [4–6].

Мы предлагаем базироваться на анализе жизненного цикла ПО, представленного с использованием спиральной модели Боэма.

При применении спиральной модели Боэма на этапах жизненного цикла анализа и проектирования реализуемость технических решений и степень удовлетворения потребностей заказчика проверяется путем создания программных

прототипов. Каждый виток спирали модели соответствует созданию работоспособного фрагмента или версии системы. Спиральная модель достаточно часто используется при разработке и сопровождении инструментальных программных средств автоматизации [1].

Мы предлагаем специализированную модель обобщенного жизненного цикла систем автоматизированного проектирования (САПР), основанную на спиральной модели Боэма.

В табл. 1 приведено описание первой итерации при разработке САПР по модели жизненного цикла Боэма.

Таблица 1

Первая итерация

Этап ЖЦ	Описание этапа	Выполняемые задачи
A1	Осуществляется первичное формирование и формулирование целей комплексной автоматизации по направлениям: проектирование (САПР), хозяйственные задачи (учетная система), технология подготовки (ТП) и сопровождения производства (САПР ТП), документооборота (PDM). Для детализации целей, возможных альтернатив реализации, заказчиком самостоятельно или с участием разработчиков выполняется обследование предполагаемых условий эксплуатации конечного продукта	1. Комплексный анализ (обследование) предполагаемых условий эксплуатации САПР и систем PDM. 2. Первичное формирование целей и определение границ проекта
A2	Сравнительный анализ прецедентов реализации и использования САПР и PDM. Анализ альтернатив. Определение рисков и поиск способов их минимизации	1. Сравнительный анализ прецедентов использования САПР и PDM у смежных предприятий/организаций. 2. Поиск способов минимизации рисков. 3. Разработка первичного прототипа
A3	Испытания, моделирование и оценка их результатов. Формирование концепции разработки и эксплуатации	1. Формирование технических требований к разрабатываемым САПР и PDM, на основе изучения пунктов предыдущего квадранта. Осуществляется учет процедур конвертации имеющихся электронных и бумажных архивов конструкторской и иной технической документации в форматы будущей базовой САПР и системы PDM. 2. Разработка на базе технических требований концепции автоматизации на основе разрабатываемых инструментальных программных средств. 3. Формирование на базе концепции технического задания на реализацию и внедрение разрабатываемых инструментальных программных средств
A4	Подведение итогов первого этапа и планирование второго. Уточнение сроков начала второй итерации	1. Анализ результатов первой итерации. 2. Оценка качества выполненных работ. 3. Оценка материальных затрат на выполнение задач первой итерации. 4. Определение сроков и исполнителей второй итерации. Определение подрядной организации – Исполнителя работ по проекту

На первом этапе при проведении комплексного анализа (обследования) предполагаемых условий эксплуатации САПР и систем PDM анализируют: наличие уже приобретенных про-

граммных средств у заказчика или их отсутствие; объем существующих электронных архивов конструкторской документации в форматах САПР; требования к использованию комплекса

программ САПР в составе ЛВС предприятия; грифы секретности документов разрабатываемой, хранимой конструкторской и иной технической документации; требования информационной безопасности предприятия/организации к разработке конструкторской и иной технической документации; электронные форматы документов передаваемых смежным предприятиям и получаемых от них; программная платформа серверных и клиентских операционных систем; общие системные требования САПР к серверному и компьютерному клиентскому аппаратному обеспечению; возможность, одновременного с САПР, применения аппаратных и программных систем защиты информации.

На втором этапе при проведении сравнительного анализа прецедентов использования САПР и PDM у смежных предприятий/организаций анализируют: программное обеспечение, используемое у смежных предприятий; возможность чтения/конвертации компьютерных данных различных САПР и PDM смежников; порядок сетевого взаимодействия конструкторских и производственных данных; особенности реализации аппаратных и программных систем

защиты информации.

На третьем этапе при разработке на базе технических требований концепции автоматизации на основе разрабатываемых инструментальных программных средств определяют: детальную комплектацию инструментальных программных средств, дополнительных программных приложений, электронных библиотек и справочников, типа лицензий на ПО; рабочие процессы, потоки работ и документов при взаимодействии конструкторских, технологических и производственных подразделений предприятия.

При этом стоит отметить риски при выполнении задач первой итерации: неверные перечни (комплектация) и количество лицензий ПО, отсутствие учета особенностей взаимодействия ПО различных разработчиков, исполнителем работ по результатам тендера становится ранее неизвестная компания, недостаточная компетентность специалистов исполнителя, некомплектный подход к обследованию автоматизируемых подразделений и процессов.

Теперь рассмотрим вторую итерацию ЖЦ САПР, которая приведена в табл. 2.

Таблица 2

Вторая итерация

Этап ЖЦ	Описание этапа	Выполняемые задачи
Б1	Уточнение пунктов первой итерации квадранта (первого этапа), но с участием подрядной организации, выбранной на роль Исполнителя по проекту автоматизации	Уточнение перечня ПО. Уточнение количества лицензий по перечню ПО
Б2	Анализ возможных рисков перед началом проекта автоматизации. Выработка стратегии действий в случае изменения объема ПО	1. Уточнение концепции исполнения проекта автоматизации; 2. Уточнение крупных доработок программных модулей комплекса ПО и разработка новых модулей. 3. Оценка рисков: точность перечня ПО и количество лицензий ПО, оценка времени на разработку новых модулей и доработку/адаптацию существующих. 4. Реализация прототипа с учетом утвержденных требований к данному этапу
Б3	Первичное развертывание ПО для дальнейшей доработки/адаптации. Формирование программной среды будущей системы в информационном пространстве Заказчика	1. Выполняется установка «коробочных» версий ПО в программной среде ЛВС предприятия. 2. Создаются автоматизированные рабочие места программистам компании-исполнителя на территории заказчика. 3. Осуществляется отладка процедур конвертации имеющихся электронных и бумажных архивов конструкторской и иной технической документации в форматы будущей базовой САПР и системы PDM
Б4	Утверждение ТЗ на автоматизацию, на базе концепции автоматизации. Разработка и согласование частных ТЗ на подсистемы автоматизируемых подразделений Заказчика	Формирование плана-графика работ по автоматизации. Разработка плана-графика работ

Отметим риски при выполнении задач второй итерации: неверные перечень (комплектация) и количество лицензий ПО, особенности взаимодействия ПО различных разработчиков, недостаточная компетентность специалистов Исполнителя, некомплектный подход к обследованию автоматизируемых подразделений и процессов, расширение перечня автоматизируемых подразделений и процессов после начала работ, некомпетентность специалистов заказчика/исполнителя,

разработка ненужного функционала, некачественная функциональность ПО, бесконечные заявки пользователей на изменение функционала и пользовательского интерфейса, невозможность финансирования проекта в полном объеме, незапланированная необходимость увеличения финансирования по отдельным направлениям проекта, перебои оплаты этапов проекта.

Теперь рассмотрим третью итерацию ЖЦ САПР, которая приведена в табл. 3.

Таблица 3

Третья итерация

Этап ЖЦ	Описание этапа	Выполняемые задачи
B1	Уточнение времени начала работ по направлениям автоматизации, ограничений, выявленных в процессе первичного развертывания ПО, возможных альтернативных путей решения задач программирования	1. Утверждение плана-графика работ. 2. Первичное обучение персонала подразделения ИТ. 3. Первичное ознакомление пользователей с интерфейсом и возможностями ПО
B2	Оценка рисков работы с ПО в информационной среде Заказчика	Оценка рисков использования установленного ПО на информационную среду предприятия: соответствие серверного оборудования, пропускной способности ЛВС, взаимодействия с ПО других разработчиков, используемым в работе подразделениями
B3	Разработка/доработка программных модулей системы	В процессе исполнения ТЗ выполняется разработка новых и доработка существующих программных модулей системы, в соответствии с утвержденным ТЗ. Выполняется обучение пользователей и административного персонала будущей системы
B4	Выявление замечаний к разработанным/доработанным программным модулям, формирование дополнений к ТЗ	В процессе начала использования (опытная эксплуатация) в сложной системе выявляются несоответствия, ранее не учтенные при первичном формировании ТЗ

Отметим, что риски при выполнении задач третьей итерации идентичны рискам второй итерации.

Теперь рассмотрим четвертую итерацию ЖЦ САПР, которая приведена в табл. 4.

Таблица 4

Четвертая итерация

Этап ЖЦ	Описание этапа	Выполняемые задачи
Г1	Утверждение дополнений к ТЗ, корректировка плана-графика по объему и срокам исполнения	Частичный пересмотр сроков исполнения по направлениям автоматизации. Уточнение порядка и объемов финансирования проекта. Разработка дополнений к договорам на выполнение работ и(или) лицензионным договорам на ПО
Г2	Оценка рисков выполнения следующей итерации	Оценка риска существенного увеличения материальных затрат на доработку ПО в соответствии с дополнениями к ТЗ. Оценка риска существенного увеличения сроков реализации проекта
Г3	Выполнение доработок ПО в соответствии с дополнениями к ТЗ. Отладка программных модулей. Обучение пользователей	На этой итерации выполняются доработки ПО в соответствии с дополнениями к ТЗ. Доработки представляют собой внесение изменений в исполняемый код ПО в соответствии с выявленными ошибками работы, а также доработку ПО в соответствии с ранее неучтенными особенностями работы подразделений пользователей
Г4	Планирование следующей итерации проекта	Уточнение готовности (пригодности) системы к началу промышленной эксплуатации

Отметим что, риски при выполнении задач четвертой итерации идентичны рискам второй итерации.

Теперь рассмотрим пятую итерацию ЖЦ САПР, которая приведена в табл. 5.

Таблица 5

Пятая итерация

Этап ЖЦ	Описание этапа	Выполняемые задачи
Д1	Анализ готовности системы к промышленной эксплуатации	В случае готовности системы – подписание актов о выполнении работ и начало промышленной эксплуатации. В случае выявления ошибок работы ПО или значительного количества заявок на доработку функционала ПО – разработка новых дополнений к ТЗ
Д2	Анализ рисков доработки системы	Риски удорожания проекта. Риски существенного увеличения времени неготовности системы к началу промышленной эксплуатации. Риски, связанные с компетентностью пользователей Заказчика и программистов Исполнителя
Д3	Доработка программных модулей системы	Доработка программных модулей системы. Отладка программного кода. Оптимизация производительности системы. Подготовка решения о запуске системы в промышленную эксплуатацию

Отметим, что риски при выполнении задач пятой итерации практически идентичны рискам второй итерации.

В идеале, пяти витков (пяти итераций) было бы достаточно для разработки и внедрения комплексов программного обеспечения САПР. Но на практике витков спирали, возвратов на уточнение, доработку и отладку ПО выполняется больше. Причин для этого много. Для того чтобы разобраться в причинах увеличения витков спирали ЖЦ по спиральной модели Бозма, детализируем и структурируем риски разработки, выявленные при описании спиральной модели ЖЦ САПР.

Выявленные группы рисков при разработке САПР с использованием спиральной модели ЖЦ:

1. Ошибки анализа исходных условий, ошибки и неполнота обследования:

- неверный перечень ПО (комплектация);
- неверное количество лицензий ПО;
- особенности взаимодействия ПО различных разработчиков.

С этой группой рисков связан не только риск выбора неверного направления разработки, но и обеспечения достоверной информации для выбора исполнителя. Также это влечет за собой другой риск: возможность победы в конкурсе некомпетентных подрядчиков/разработчиков. В случае если данная группа рисков не была учтена, весь проект по разработке ПО может вернуться в исходную точку; затраченные при этом средства будут почти наверняка безвозвратно утеряны.

2. Подбор компаний – исполнителей работ:
– исполнителем работ по результатам тендера становится ранее неизвестная компания;
– недостаточная компетентность специалистов исполнителя.

3. Неверная оценка объема и стоимости работ:

- некомплектный подход к обследованию автоматизируемых подразделений и процессов;
- расширение перечня автоматизируемых подразделений и процессов после начала работ.

4. Некомпетентность специалистов:

- некомпетентность специалистов заказчика/исполнителя;
- разработка ненужного функционала, некачественная функциональность ПО;
- бесконечные заявки пользователей на изменение функционала и пользовательского интерфейса.

5. Финансовые и материальные ошибки и просчеты:

- невозможность финансирования проекта в полном объеме;
- незапланированная необходимость увеличения финансирования по отдельным направлениям проекта, перебои оплаты этапов проекта исполнителем.

Для минимизации любых рисков разработки инструментальных программных комплексов следует:

- иметь собственную компетентную команду подразделения;
- иметь налаженную систему обучения и переподготовки специалистов;

- придерживаться требований ГОСТ 34.601–90;
- утвердить результаты обследования объектов автоматизации с их перечислением;
- тщательно документировать проект, все этапы и стадии, концепции и технические задания, программный код приложений и изменения в коде;
- подтверждать этапы разработки и внедрения опытной эксплуатацией, актами о внедрении;
- обеспечить достоверность информации для выбора подрядных организаций, компаний, которые способны правильно выполнить работы по разработке/доработке комплекса инструментальных программных средств автоматизации. Важно, при написании конкурсных технических заданий, обеспечить условия, исключающие возможность победы в конкурсе некомпетентных организаций.

Предложенная в статье методика позволяет структурировать риски при формировании комплексов инструментальных программных средств. Благодаря использованию новых подходов к формализованному представлению рисков основанных на увеличении степени детализации структурированных групп рисков при разработке систем автоматизированного проектирования возможна значительная минимизация рисков.

УДК 621.9.015

А. С. Сергеев, А. Л. Плотников, Т. В. Уварова

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ В САПР ТП МНОГОЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Волгоградский государственный технический университет
app@vstu.ru

Рассмотрены методы активного и программного контроля состояния режущих кромок сборного многолезвийного инструмента. Разработан алгоритм работы подсистемы станочной САПР ТП для оптимизации режимов обработки деталей на фрезерных станках с ЧПУ. Данный алгоритм позволяет обеспечивать заданные показатели качества поверхностного слоя деталей с учетом наступления внезапных и постепенных отказов сборного многолезвийного инструмента.

Ключевые слова: САПР ТП, сборный многолезвийный инструмент, период стойкости, фрезерный станок с ЧПУ, алгоритм, вероятность отказа фрезы, качество поверхности, шероховатость.

A. S. Sergeev, A. L. Plotnikov, T. V. Uvarova

MONITORING OF FACE MILLING PROCESS IN THE CAD TP MULTIBLADE PROCESSING

Volgograd State Technical University

The methods of active and program state control of assembled multiblade tool cutting edges are considered. The algorithm of the machine tool CAD TP subsystem for optimization of parts processing on CNC milling machines is developed. This algorithm allows to provide the specified quality parameters of a parts surface layer considering sudden and gradual failures of an assembled multiblade tool.

Keywords: CAD TP, assembled multiblade tool, period of resistance, CNC milling machine, algorithm, the probability of a milling tool failure, surface quality, roughness.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлик, С. Введение в программную инженерию и управление жизненным циклом ПО. Модели жизненного цикла программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sorlik.blogspot.ru/>.
2. Ехлаков, Ю. П. Техничко-экономическое обоснование стоимости программных систем / Ю. П. Ехлаков, В. А. Рыбалов. – 2011. – 86 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – М., 2011. – 100 с.
4. Петрухин, А. В. Архитектура биржевого робота для работы в среде торгового терминала QUIK // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). С. 138–141.
5. Петрухин, А. В. Использование физических знаний при решении задач концептуального проектирования технических объектов / А. В. Петрухин, С. А. Фоменков, В. А. Камаев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 1997. № 1–3. С. 29–33.
6. 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.
7. 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.
8. Петрухин, А. В. Принятие технологических решений в литейном производстве с использованием интегрированной экспертной системы / А. В. Петрухин, В. К. Агеев, Ю. Ф. Воронин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2004. № 5. С. 64–65.

В настоящее время актуальным направлением является разработка и внедрение САПР в различных областях машиностроительного производства, как на этапе проектирования промышленной автоматики [7–9], так и на этапе проектирования технологических процессов [3–6; 10]. Весьма перспективным направлением в развитии автоматизированного станочного производства является разработка и внедрение станочных САПР ТП, которые могут управлять технологическими процессами обработки на базе диагностических сигналов, отражающих функциональное состояние режущего инструмента и характер протекания процессов производства, и оптимизировать их. В основу функционирования большинства современных систем мониторинга предельного состояния инструмента автоматизированного механообрабатывающего оборудования положено использование различного рода датчиков и преобразователей. Автоматизация контроля состояния сборного многолезвийного инструмента, при выполнении операций торцевого фрезерования, является наиболее трудоемким процессом и требует применения специальных аппаратных решений, позволяющих выявлять отказы инструмента (торцевой фрезы). Такие подходы в достаточной степени известны (например, работы [1] и [2]) и обладают своими достоинствами и недостатками. Вероятность отказа инструментального оборудования в определенный момент времени различна и зависит от множества факторов, но, в первую очередь, от качества твердосплавного инструмента и его режущих свойств. В этой связи наиболее перспективной представляется разработка методики, позволяющей заранее (непосредственно перед обработкой), с определенной долей вероятности, определять функциональное состояние инструмента в определенные моменты времени.

В работе [3] описан способ программного контроля предельного состояния сборного многолезвийного твердосплавного инструмента. Он эффективен для всех видов операций торцевого фрезерования (чистовое, получистовое и черновое) при вероятностной оценке критического износа режущей кромки (постепенного отказа) какой-либо пластины в наборе фрезы. В то же время предлагаемый способ активного контроля состояния режущих кромок сборного

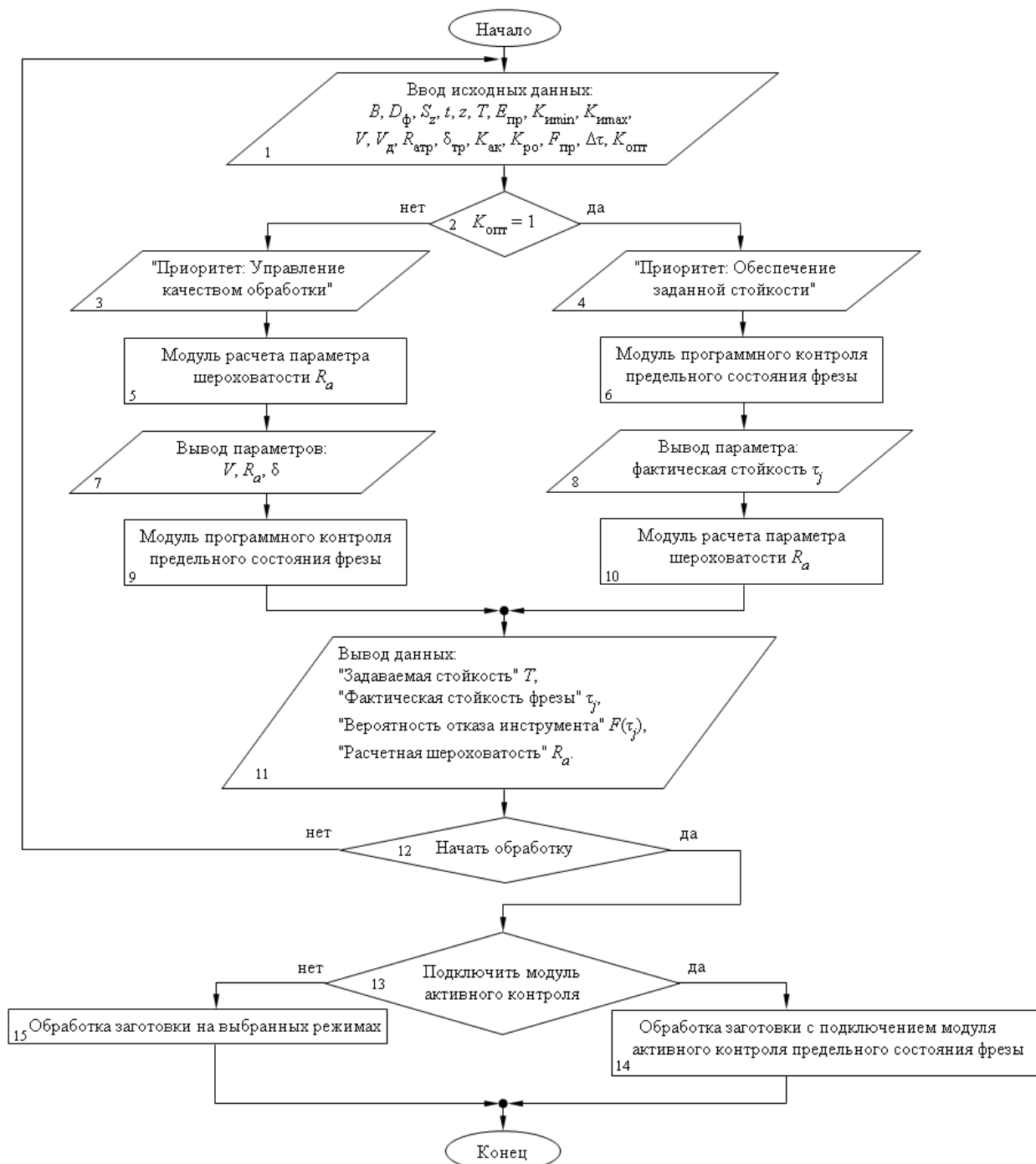
многолезвийного инструмента [4] позволяет в режиме реального времени выявлять внезапные отказы инструмента, связанные со сколами и выкрашиваниями режущих кромок твердосплавных пластин. Данный способ [4] особенно эффективен при черновой и получистовой обработке на тяжелых режимах (где наиболее вероятно появление внезапного отказа) торцевой фрезой, оснащенной большим количеством режущих кромок.

Установлено, что при многолезвийной обработке инструментом, у которого количество режущих кромок менее десяти, скол даже одной режущей кромки приводит к введению коррекции технологических режимов. В данном случае эффективным будет использование способа [3]. Для инструмента с числом режущих кромок более десяти, в случае скола только одной режущей кромки, коррекция режимов резания нецелесообразна, по причине снижения производительности обработки. В случае же скола двух и более пластин необходима коррекция режимов резания или полная замена инструмента. В этом случае наиболее эффективным будет использование предлагаемого способа активного контроля предельного состояния фрезы [4].

На базе указанных ранее способов программного [3] и активного [4] контроля предельного состояния сборной торцевой фрезы может быть разработан алгоритм модуля контроля предельного состояния торцевой фрезы [5], а также алгоритм модуля расчета параметра шероховатости R_a [5], [6], работающих в составе единой станочной САПР ТП.

В настоящей работе авторами разработан один из вариантов алгоритма функционирования подсистемы ЧПУ по мониторингу процесса торцевого фрезерования на автоматизированном оборудовании, блок-схема которого представлена на рисунке.

Функционально подсистема обеспечивает заданную стойкость торцевой фрезы, осуществляет автоматизированный расчет параметра шероховатости и производит активный контроль предельного состояния торцевой фрезы в процессе обработки. Работа подсистемы обеспечивается за счет оперативного подключения модулей в определенный момент времени с возможностью обмена данными о параметрах обработки.



Блок-схема алгоритма функционирования подсистемы ЧПУ по мониторингу процесса торцевого фрезерования

Подсистема работает следующим образом. Перед началом обработки оператором (технологом) вводятся все необходимые данные о параметрах обработки и функциональном состоянии подсистемы (блок 1). Оптимизация технологических режимов, а также производственных показателей обработки требует детальной постановки задачи и зависит от требований, предъявляемых к автоматизированному производству. В связи с этим, при разработке под-

системы мониторинга процесса торцевого фрезерования на автоматизированном оборудовании (см. рисунок), за оператором закрепляется право выбора приоритета параметров обработки по средством ввода коэффициента оптимизации $K_{опт}$ (блок 2). В зависимости от значения коэффициента оптимизации $K_{опт}$, система ЧПУ будет выдавать соответствующее оповещение – блок 3 или блок 4. При $K_{опт} = 1$ система считает приоритетным обеспечение задан-

ной стойкости фрезы, и в этом случае первым в работу подключается модуль программного контроля предельного состояния торцевой фрезы, реализованный по способу [3] (блок 6). Система обеспечивает заданную стойкость торцевой фрезы, при этом выходные параметры обработки, рассчитанные блоком 6, являются исходными данными для модуля расчета параметра шероховатости (блок 10). Производится расчет параметра шероховатости R_a в соответствии с модулем. В случае, если $K_{opt} = 0$, система ставит в приоритет управление качеством обработки, и первым в работу подключается блок 5 – модуль расчета параметра шероховатости R_a (см. работы [5], [6]). При этом выходные параметры обработки, рассчитанные блоком 5, являются исходными данными для модуля программного контроля предельного состояния торцевой фрезы (блок 9). Производится расчет фактической стойкости фрезы с определенной вероятностью отказа $F_{пр}$ [3]. Далее система ЧПУ выводит необходимую информацию о полученных параметрах обработки (блок 11), и в случае, если оператор посчитает нужным ввести коррективы для изменения текущих параметров обработки, производится соответствующий выбор блоком 12. Если оператор выбирает функцию «начать обработку», то система в диалоговом режиме спрашивает оператора о необходимости подключения модуля активного контроля предельного состояния фрезы (блок 13). Далее, в зависимости от выбора оператора (блок 13), производится обработка на установленных режимах с активным контролем инструмента (блок 14) или без него (блок 15). Следует отметить, что модули расчета параметра шероховатости и контроля состояния инструмента, представленные в работах [5], [6] могут быть разработаны как отдельная самостоятельная структура станочной САПР ТП. В случае совместной работы таких модулей в единой подсистеме (см. рисунок), алгоритмы функционирования модулей могут претерпевать незначительные структурные изменения для оптимального обмена информацией и исключения повторяющихся операций. Блок-схема алгоритма, представленная на приведенном выше рисунке, отражает структурную реализацию одного из вариантов работы такой подсистемы и показывает функциональное взаимодействие модулей.

Таким образом, авторами разработан алгоритм функционирования подсистемы станоч-

ной САПР ТП, позволяющей повысить надежность и эффективность работы инструментальной системы фрезерного станка с ЧПУ. Предложен вариант работы подсистемы станочной САПР ТП в диалоговом режиме с оператором. Данный подход может быть применен и при многостаночном производстве при организации гибких производственных систем (ГПС).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2205093 РФ, МПК В23 В25 / 06, В 23 Q 17 / 00. Устройство для контроля износа режущих кромок инструмента в процессе резания / В. И. Александров, Е. И. Гликин, А. В. Егоров, Д. А. Руденко ; Тамбовский государственный технический университет. – 2003.
2. Синопальников, В. А. Надежность и диагностика технологических систем : учеб. / В. А. Синопальников, С. Н. Григорьев. – М.: Высш. шк., 2005. – 343 с.
3. Пат. 2449860 РФ, МПК В23 В25 / 06. Способ программного контроля предельного состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / Б. В. Лесной, Е. Г. Крылов, А. Л. Плотников, А. С. Сергеев ; ВолгГТУ. – 2012.
4. Пат. 2496629 РФ, МПК В23Q17/09. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / Е. Г. Крылов, А. Ю. Горелова, А. С. Сергеев ; ВолгГТУ. – 2013.
5. Сергеев, А. С. Разработка математического обеспечения для расчета параметра шероховатости в САПР ТП многолезвийной обработки / А. С. Сергеев, А. Л. Плотников, Н. Г. Зайцева // Автоматизация и современные технологии. – 2013. – № 9. – С. 28–32.
6. Плотников, А. Л. Расчет и обеспечение режимов резания в САПР ТП на станках с ЧПУ при точении углеродистых сталей по требуемому параметру шероховатости поверхности / А. Л. Плотников, А. С. Сергеев, Н. Г. Зайцева // Металлообработка. – 2012. – № 3. – С. 42–45.
7. Петрухин А. В., Уварова Т. В. Автоматизация проектирования захватных устройств промышленных роботов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 18. № 22(125). С. 150–153.
8. Петрухин, А. В. Разработка информационного обеспечения и автоматизация проектных процедур для системы автоматизированного проектирования захватных устройств промышленных роботов / А. В. Петрухин, Т. В. Уварова // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. тр. XII Междунар. науч.-практич. конф.: в 4 т. / А. А. Горохов. – Курск, 2015. – С. 306–312.
9. Уварова, Т. В. Обзор средств автоматизации проектирования захватных устройств промышленных роботов / Т. В. Уварова // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Вып. 4. Т. 14. – Одесса : КУПИРЕНКО, 2012. – С. 69–71.
10. Зайцева Н. Г., Сергеев А. С., Плотников А. Л. Расчет параметра шероховатости поверхности при лезвийной обработке углеродистых сталей на станках с ЧПУ // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 7(110). С. 86–89.

УДК 004.89

*С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, Г. А. Карачунова, А. Н. Копасов***МОДИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
ДЛЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ И СЕТЕВЫХ СТРУКТУР
ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ*****Волгоградский государственный технический университет**

dkorobkin80@mail.ru

Работа посвящена повышению эффективности процесса синтеза структур физического принципа действия. Предлагаемые решения позволяют повысить качество синтезируемых структур физического принципа действия за счет уменьшения количества физически нереализуемых структур. В работе предложена модификация модели описания физического эффекта, модернизация качественных и количественных условий совместимости физических эффектов, а также разработаны методики построения линейных и сетевых структур физического принципа действия. Предлагаемые модели и алгоритмы реализованы в автоматизированной системе.

Keywords: физический эффект, физический принцип действия, модель описания физического эффекта.

*S. A. Fomenkov, D. M. Korobkin., G. A. Karachunova, A. N. Kopasov***MODIFICATION THE MODEL OF THE PHYSICAL EFFECTS DESCRIPTION
FOR THE PROBLEM OF SYNTHESIS OF LINEAR AND NETWORK STRUCTURES
OF THE PHYSICAL OPERATION PRINCIPLES OF TECHNICAL SYSTEM****Volgograd State Technical University**

The study is dedicated to increasing the efficiency of synthesis of structures of the physical principle of action. The proposed solutions can improve the quality of the synthesized structures of the physical operation principle (POP) by reducing the number of physically unrealizable physical effect's sequences. In the article we propose a modification of the model describing the physical effect, the modernization of qualitative and quantitative conditions the compatibility of physical effects, and developed a method of construction of linear and network POP structures. The proposed models and algorithms implemented in the automated system.

Keywords: physical effect, physical operating principle, model of physical effect description.

Введение

В настоящее время актуальной является задача автоматизации начальных этапов проектирования (этапы технического задания и технического предложения) новых технических систем (ТС) и технологий и прогнозирования их развития, на которых принимаются основополагающие решения о принципе действия и структуре объекта проектирования. Среди подходов к реализации начальных этапов проектирования ТС одним из наиболее перспективных является подход, связанный с использованием структурированных физических знаний в форме физических эффектов (ФЭ) [1] для автоматизированного синтеза и выбора физического принципа действия разрабатываемой ТС. ФПД [2] – некоторая структура, отражающая взаимосвязь физических эффектов, в своей совокупности приводящих к выполнению функции ТС. Правила построения структур ФПД определяются через компоненты описания ФЭ.

В настоящее время существует ряд подходов к формированию концептуальных моделей описания физических эффектов, способов формализации этих моделей и создания автоматизированных информационных систем на их основе. К числу таких подходов относятся: теория решения изобретательских задач (Г. С. Альтшуллер), комбинаторный метод поиска принципов действия (В. Н. Глазунов), энерго-информационная модель цепей и метод параметрических структурных схем (М. Ф. Зарипов), функционально-физический метод поискового конструирования (Р. Коллер), компьютерные методы поискового конструирования (А. И. Половинкин) и др. На базе подходов реализованы следующие автоматизированные системы: «TechOptimizer» [3], «IHS Goldfire» [4], «Новатор» [5], «Интеллект» [6], «IdeaFinder+» [7], «ТРИЗ-Генератор Идей» [8] и др.

В Волгоградском государственном техническом университете в процессе решения задач

© Фоменков С. А., Коробкин Д. М., Карачунова Г. А., Копасов А. Н., 2015

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-09142-а); РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 15-47-02383 р_поволжье_а).

автоматизации начальных этапов проектирования сформировалась признанная научная школа. На кафедре САПР и ПК была разработана обобщенная модель описания ФЭ и на ее основе сформирована БД ФЭ (свыше 1200 описаний) [1], которая содержит знания из разных областей физики. Был разработан ряд систем, оперирующих физическими знаниями в виде ФЭ: автоматизированная система поддержки формирования информационного обеспечения БД ФЭ [9-11]; автоматизированная информационно-поисковая система (АИПС ФЭ) [12]; автоматизированная система синтеза линейных структур физических принципов действия (САПФИТ) [2].

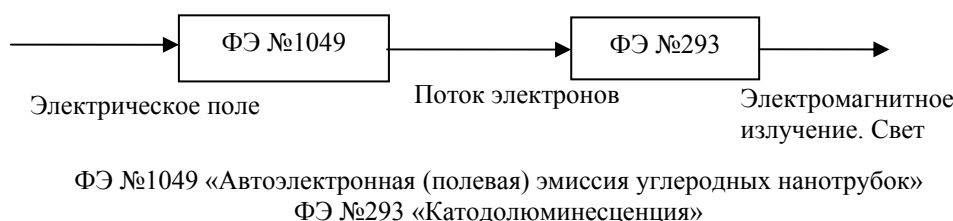


Рис. 1. Пример синтеза ФПД

Под физическим принципом действия понимается структура совместимых и объединенных ФЭ, обеспечивающих преобразование заданного входного воздействия в заданное выходное (см. рис. 1).

В результате анализа информационных систем, использующих структурированные физические знания для автоматизации начальных этапов проектирования ТС, были отмечены следующие недостатки, затрудняющие эффективное применение данных систем:

- задание на синтез структур ФПД ограничено только параметрами входных/выходных воздействий;

- существующие подходы и полученные на их основе технические решения не могут считаться эффективными, поскольку не учитывают структурные преобразования объекта ФЭ;

- в существующих автоматизированных системах синтеза ФПД предложены алгоритмы проверки физической реализуемости ФПД на качественном уровне, однако проверки на количественном уровне, т. е. с учетом совместимости ФЭ по диапазонам величин воздействий, не проводится;

- важным ограничением при использовании автоматизированных систем является недостаточность проработки вопроса синтеза сетевых структур ФПД.

Целью работы является уменьшение доли ручного труда при проектировании техниче-

Пример синтеза ФПД

Как улучшить рабочие характеристики катодолюминесцентных источников света?

Люминесцентные источники света работают на принципе возбуждения люминофоров электронным пучком. В соответствии с этим задание на синтез физического принципа действия будет иметь следующий вид:

Вход: Электрическое поле.

Выход: Электромагнитное излучение. Свет.

Ограничения: длина цепочки ≤ 2 , обязательно использование ФЭ No 293 «Катодолюминесценция».

ских решений за счет повышения эффективности синтеза структур ФПД. Под эффективностью синтеза структур ФПД будем понимать количество физически реализуемых решений.

Модификация модели описания физических эффектов

Существующие алгоритмы синтеза структур ФПД, разработанные ранее, используют трехкомпонентную структуру описания

$$\text{ФЭ } F_i = (A_i, B_i, C_i),$$

где A_i – входное воздействие ФЭ; B_i – объект ФЭ; C_i – выходное воздействие ФЭ.

Пример ФЭ:

ФЭ №293. Катодолюминесценция

A – Поток электронов. Энергия частицы (Дж).

B – Люминофор.

C – Электромагнитное излучение. Свет. Яркость (Кд/м**2).

Однако такая структура не подходит для проверки совместимости эффектов, в которых объект испытывает существенные структурные изменения, такие как:

- изменение агрегатного состояния (плавление, кристаллизация, испарение);

- изменение электрической структуры (переход полупроводник-металл);

- изменение магнитной структуры (переход парамагнетик-ферромагнетик), и т. д.

Данный недостаток является существенным, поэтому при синтезе структур ФПД было

предложено использовать четырехкомпонентную структуру описания ФЭ:

$$F_i = (A_i, B_i^1, B_i^2, C_i),$$

где A_i – входное воздействие ФЭ; B_i^1 – начальное состояние объекта ФЭ; B_i^2 – конечное состояние объекта ФЭ; C_i – выходное воздействие ФЭ.

Пример ФЭ:

ФЭ №30. Размагничивание нагреванием

A – Температура (К). Увеличение до температуры Кюри и выше.

B^1 – Ферромагнетик.

B^2 – Парамагнетик, антиферромагнетик.

C – Намагниченность (А/м). Уменьшение до нуля.

В качестве алгоритмической основы при решении задач синтеза структур ФПД были выбраны методы, используемые в автоматизированной системе (САПФИТ), так как система хорошо зарекомендовала себя на практике при решении различных технических задач. Анализ имеющегося фонда ФЭ позволяет сделать вывод о том, что существует значительное количество эффектов, у которых значения физических величин представлены не в числовой форме, а в текстовом описании ФЭ. Такой способ задания физической величины усложняет возможность использования ФЭ в количественных условиях совместимости. Для устранения обозначенного недостатка было принято решение модифицировать существующую модель представления ФЭ за счет добавления значения физической величины, представленной в лингвистической форме, к существующим характеристикам воздействий ФЭ.

Представляется целесообразным приведение значений всех физических величин к единой нормированной шкале [0, 1]:

0 – минимальное значение;

0.1 – очень малое;

0.3 – малое;

0.5 – умеренное;

0.7 – большое;

0.9 – очень большое;

1.0 – максимальное значение.

Приведение значений всех физических величин к единой нормированной шкале возможно благодаря введению лингвистической переменной. Все множество значений физических величин можно разбить на три термина лингвистической переменной: «малая величина», «средняя величина», «большая величина».

Для нормирования значений физических величин соответствующих значению лингвис-

тической переменной «малая», будем использовать Z-образные функции принадлежности 1.

$$f_z(x; a, b) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & \text{if } a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, & \text{if } \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & \text{if } b \leq x \end{cases},$$

где $a = 0.1$, $b = 0.9$.

Для нормирования значений физических величин, соответствующих значению лингвистической переменной «большая», будем использовать S-образные функции принадлежности 1.

$$f_s(x; a, b) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & \text{if } a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, & \text{if } \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & \text{if } b \leq x \end{cases},$$

где $a = 0.1$, $b = 0.9$.

Для нормирования значений физических величин, соответствующих значению лингвистической переменной «средняя», будем использовать П-образные функции принадлежности.

$$f_{\Pi}(x; a, b, c, d) = f_z(x; c, d) * f_s(x; a, b),$$

где $a = 0.1$, $b = 0.4$, $c = 0.6$, $d = 0.9$.

В результате применения описанных выше функций принадлежности мы можем каждой физической величине присвоить определенное значение в интервале [0, 1].

Модернизация качественных и количественных условий совместимости физических эффектов

Два последовательно расположенных ФЭ $F_i = (A_i, B_i^1, B_i^2, C_i)$ и $F_{i+1} = (A_{i+1}, B_{i+1}^1, B_{i+1}^2, C_{i+1})$ считаются совместимыми, если выходное воздействие некоторого ФЭ цепочки C_i , эквивалентно входному воздействию последующего ФЭ A_{i+1} . В графическом виде фрагмент структуры физического принципа действия физических эффектов представлен на рис. 2.

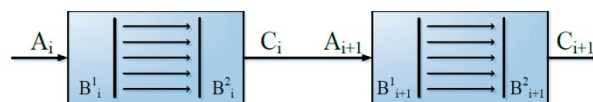


Рис. 2. Фрагмент структуры физического принципа действия ФЭ

К существующим условиям совместимости ФЭ относятся следующие:

– тип выхода C_i совпадает с типом входа A_{i+1} ;

– наименование выхода C_i совпадает с наименованием входа A_{i+1} ;

– качественные характеристики выхода C_i совпадают с качественными характеристиками входа A_{i+1} ;

– если выход C_i и вход A_{i+1} – параметрические, то совпадают физические величины, характеризующие C_i и A_{i+1} и объект B_i совпадает с объектом B_{i+1} .

Модификация качественных условий совместимости ФЭ осуществляется за счет учета характера изменения физических величин. Характер изменения физической величины может принимать следующие значения:

- изменение;
- увеличение;
- уменьшение;
- немонотонное;
- скачкообразное;
- постоянное;
- не определено.

Если характер изменения физической величины C_i совпадает с характером изменения физической величины A_{i+1} , то делаем вывод, что F_i и F_{i+1} совместимы с точки зрения изменения физической величины.

Также модификация качественных условий совместимости осуществляется за счет учета начального и конечного состояния объектов ФЭ. Для этого определяем, имеют ли объекты B_i и B_{i+1} структурные преобразования. С точки зрения структурных преобразований объектов возможны три комбинации:

1) объекты B_i и B_{i+1} без структурного преобразования. В данном случае структура объекта каждого ФЭ будет иметь следующий вид: число фаз; общая структура; вид контакта, смеси. Если значения характеристик B_i и B_{i+1} равны, то делаем вывод, что ФЭ совместимы по структуре объектов.

В случае успешного выполнения этапа анализа совместимости объектов B_i и B_{i+1} по структуре проверяем совместимость F_i и F_{i+1} по каждой фазе, входящей в структуру объекта: фазовое состояние; химический состав; магнитная структура; электропроводность; механическое состояние; оптическое состояние; специальные характеристики. Если по каждой фазе признаки объектов B_i и B_{i+1} совпадают (с учетом иерархии признаков), то можно сделать вывод о том, что F_i и F_{i+1} совместимы;

2) объекты B_i и B_{i+1} со структурным преобразованием. В этом случае для анализа совместимости F_i и F_{i+1} необходимо сравнивать ко-

нечное состояние объекта B_i^2 и начальное состояние объекта B_{i+1}^1 . Процедура сравнений состояний объектов B_i^2 и B_{i+1}^1 будет иметь вид, описанный в пункте 1;

3) один из объектов без структурного преобразования, а другой – со структурным преобразованием. Данная комбинация является частным случаем, когда оба объекта B_i и B_{i+1} имеют структурные преобразования. Разница заключается лишь в том, что объект ФЭ без структурного преобразования описывается как объект ФЭ со структурным преобразованием, у которого начальное и конечное состояние тождественны.

Далее формулируются количественные условия совместимости ФЭ. В существующих автоматизированных системах синтеза ФПД проверки совместимости ФЭ на количественном уровне, т. е. с учетом совместимости ФЭ по диапазонам величин воздействий, не проводится. Данный недостаток является существенным при оценке совместимости ФЭ и, как следствие, оценке качества всех синтезируемых структур ФПД. В условиях совместимости ФЭ на количественном уровне будем учитывать диапазоны изменения физической величины. С точки зрения способов задания значений физической величины C_i и A_{i+1} возможны четыре комбинации:

1) физические величины C_i и A_{i+1} заданы в числовой форме. В данном случае для совместимости F_i и F_{i+1} на количественном уровне необходимо наличие общего интервала у диапазонов величин выходного воздействия C_i и входного воздействия A_{i+1} . Если общий интервал существует, то можно сделать вывод о том, что F_i и F_{i+1} совместимы на количественном уровне;

2) физические величины C_i и A_{i+1} заданы в лингвистической форме. Можно выделить две ситуации в рассмотрении совместимости F_i и F_{i+1} :

значения физических величин двух ФЭ лежат в областях разбиения лингвистической переменной, не имеющих общей границы («малая» и «большая»). В этом случае можно сделать вывод о том, что F_i и F_{i+1} несовместимы;

значения физических величин двух эффектов лежат в одной или в соседних областях разбиения лингвистической переменной. В этом случае достаточно проверить неравенство:

$$|\mu(F_i) - \mu(F_{i+1})| \leq \varepsilon,$$

где $\mu(F_i)$, $\mu(F_{i+1})$ – значение функции принадлежности физической величины; ε – величина, которая описывает максимальное значение раз-

ности функций принадлежности F_i и F_{i+1} и задается до начала синтеза структур ФПД.

Если неравенство выполняется, то можно сделать вывод о том, что F_i и F_{i+1} совместимы с точки зрения количественных условий совместимости;

3) физическая величина одного ФЭ задана в числовой форме, а другого – в лингвистической форме. Данная ситуация является частным случаем, когда значения физических величин F_i и F_{i+1} заданы в лингвистической форме. В данном случае для проверки совместимости F_i и F_{i+1} на количественном уровне необходимо числовое значение физической величины представить в виде значения соответствующей функции принадлежности в интервале $[0, 1]$. Дальнейший анализ совместимости F_i и F_{i+1} осуществляется аналогично правилам, описанным в пункте 2;

4) физическая величина хотя бы одного ФЭ не задана. В данном случае возможна реализация двух стратегий:

стратегия совместимости ФЭ на полноту – если физическая величина хотя бы одного ФЭ не задана, то F_i и F_{i+1} считаются совместимыми на количественном уровне. При реализации данной стратегии общее количество совмести-

мых ФЭ увеличивается, однако качество синтезируемых структур ФПД, полученное при использовании данного метода, уменьшается;

стратегия совместимости ФЭ на точность – если физическая величина хотя бы одного ФЭ не задана, то F_i и F_{i+1} считаются несовместимыми на количественном уровне. При реализации данной стратегии качество синтезируемых структур ФПД увеличивается, однако количество совместимых ФЭ и, следовательно, общее количество синтезируемых структур ФПД резко уменьшается. Главным недостатком стратегии является потеря ряда реализуемых структур ФПД.

В зависимости от выбора пользователем одной из двух вышеописанных стратегий, количество и качество структур ФПД будет различным.

Генерация графа переходов физических эффектов

Принимая во внимание сформулированные новые условия совместимости, основанные на качественной и количественной методике синтеза ФПД, был разработан обобщенный алгоритм генерации графа переходов ФЭ, изображенный на рис. 3.

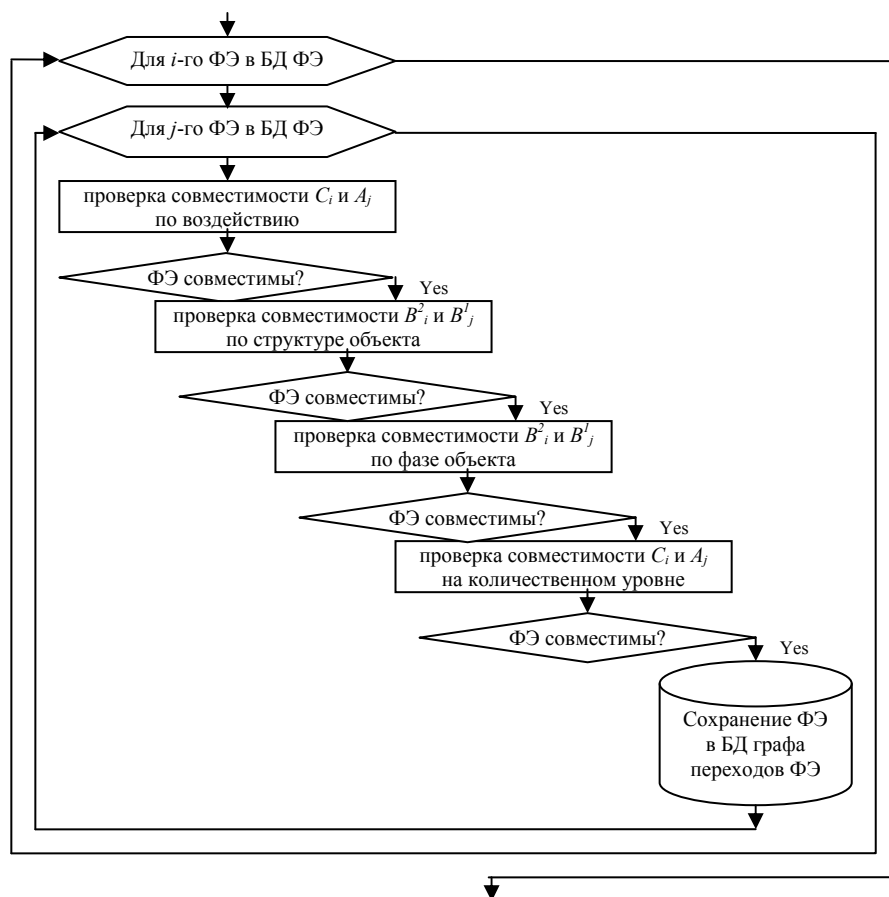


Рис. 3. Блок-схема алгоритма генерации графа переходов ФЭ

Предложенное нами изменение условий совместимости физических эффектов привело к модификациям существующих методик синтеза структур физического принципа действия, что дало возможность сформулировать новую модель построения линейных структур ФПД.

Кроме того, с целью повышения адекватности синтезируемых структур, нами учитывалась множественность входных воздействий ФЭ, что позволило разработать оригинальную методику построения сетевых структур ФПД.

Рассмотрим предложенные нами методики построения структур ФПД более подробно.

Методика построения линейных структур ФПД

Вербальное описание предлагаемой методики построения линейных структур ФПД можно представить следующим образом:

1) задается длина синтезируемой структуры ФПД;

2) задаются обязательные входные и выходные параметры синтезируемой структуры ФПД. Если входное или выходное воздействие не задано, то синтез структур ФПД с учетом заданных условий недопустим;

3) в случае необходимости задаются ограничения на запрещенные и обязательные эффекты при синтезе структур ФПД. Если синтезируемая структура ФПД использует запрещенный эффект, то она удаляется из списка возможных переходов из заданного входного воздействия в заданное выходное воздействие. Если синтезируемая структура ФПД не использует обязательный эффект, то она также удаляется из списка возможных переходов из заданного входного воздействия в заданное выходное воздействие;

4) задается вид условий совместимости ФЭ (качественные или качественные и количественные) и загружается таблица совместимости ФЭ, соответствующая заданным условиям совместимости ФЭ. На основании полученной таблицы строится ориентированный граф совместимости ФЭ, вершинами которого являются ФЭ. Если возможен переход из одного ФЭ в другой, то между соответствующими вершинами графа существует дуга;

5) для каждого ФЭ, удовлетворяющего начальным условиям синтеза ФПД, осуществляется поиск совместимых ФЭ. Если текущий номер обрабатываемого перехода меньше длины цепочки синтезируемой структуры ФПД, то

на основании графа переходов ФЭ определяется список ФЭ, совместимых с обрабатываемым эффектом. Для каждого ФЭ из полученного списка эффектов также осуществляется поиск совместимых ФЭ. Данная последовательность действий выполняется до тех пор, пока текущий номер обрабатываемого перехода не будет равен длине цепочки синтезируемой структуры ФПД. Если длина синтезируемой цепочки и текущий номер обрабатываемого перехода принимают тождественные значения, то далее осуществляется проверка, удовлетворяет ли обрабатываемый ФЭ конечным условиям синтеза ФПД. В случае положительного результата текущая временная структура синтезируемого принципа действия добавляется к списку синтезируемых структур ФПД как один из возможных переходов из заданного входного воздействия в заданное выходное воздействие. В противном случае, данная структура синтезируемого принципа действия признается неудовлетворяющей конечным условиям синтеза ФПД;

6) если хотя бы одна линейная структура построена успешно, можно сделать вывод о том, что синтез структур ФПД с заданными параметрами возможен.

Методика построения сетевых структур ФПД

В основе предлагаемого подхода синтеза сетевых структур ФПД лежит многократное построение линейных структур ФПД.

Вербальное описание предлагаемой методики построения сетевых структур ФПД можно представить следующим образом:

1) задается длина синтезируемой структуры ФПД;

2) задаются обязательные входные и выходные параметры синтезируемой структуры ФПД. Если входное или выходное воздействие не задано, то синтез структур ФПД с учетом заданных условий недопустим;

3) в случае необходимости задаются ограничения на запрещенные и обязательные эффекты при синтезе структур ФПД. Если синтезируемая структура ФПД использует запрещенный эффект, то она удаляется из списка возможных переходов из заданного входного воздействия в заданное выходное воздействие. Если синтезируемая структура ФПД не использует обязательный эффект, то она также удаляется из списка возможных переходов из заданного входного воздействия в заданное выходное воздействие;

4) задается вид условий совместимости ФЭ (качественные или качественные и количественные) и загружается таблица совместимости ФЭ, соответствующая заданным условиям совместимости ФЭ. На основании полученной таблицы строится ориентированный граф совместимости ФЭ, вершинами которого являются ФЭ. Если возможен переход из одного ФЭ в другой, то между соответствующими вершинами графа существует дуга;

5) на основании заданных параметров синтеза строятся линейные структуры ФПД. Алгоритм построения линейных структур ФПД описан в разделе «Методика построения линейных структур ФПД». Если синтез линейных структур ФПД корректен, переходим к пункту 6. В противном случае делаем вывод о неосуществимости синтеза структур ФПД с заданными входными и выходными воздействиями;

6) синтезируемые линейные структуры ФПД анализируются на наличие ФЭ, которые имеют несколько входных воздействий;

7) последовательно для всех эффектов, имеющих несколько входов, строятся дополнительные линейные структуры, входными воздействиями которых являются начальное входное воздействие или выходное воздействие эффектов, входящих в состав линейной структуры ФПД, а выходными воздействиями являются неиспользуемые входные воздействия ФЭ;

8) если хотя бы одна сетевая структура построена успешно, формулируется вывод о том, что синтез сетевых структур ФПД с заданными параметрами возможен.

Оценка эффективности разработанной системы

Разработанная автоматизированная система синтеза структур ФПД «АССИСТЕНТ», использующая в своей алгоритмической основе сформулированные модели и методы, является «клиент-серверным» приложением, которое выполняется в среде .NET Framework. В качестве СУБД была используется Microsoft SQL Server.

Для оценки эффективности разработанных условий совместимости ФЭ был проведен сравнительный анализ количества синтезируемых структур ФПД, полученных в результате работы автоматизированной системы «САПФИТ» [13, 14] и «АССИСТЕНТ». Следует отметить, что автоматизированная система «САПФИТ» не позволяет синтезировать сетевые структуры ФПД, поэтому эффективность автоматизированной системы «АССИСТЕНТ» будет осуществляться путем сравнительного анализа количества линейных структур ФПД.

Тестовые испытания заключались в запуске автоматизированных систем «САПФИТ» и «АССИСТЕНТ» с одинаковыми входными и выходными параметрами и сравнении полученных результатов. Тесты проводились 30 раз с различными заданиями на синтез структур ФПД.

В табл. 1 приведены результаты тестирования. Под количеством синтезируемых структур понимается среднееарифметическое количество синтезируемых структур, полученное за 30 тестов.

Таблица 1

Сравнительный анализ количества синтезируемых структур ФПД

Автоматизированная система	Количество синтезируемых структур ФПД, шт		
	Длина цепочки синтеза = 2	Длина цепочки синтеза = 3	Длина цепочки синтеза = 4
«САПФИТ»	214	672	1640
«АССИСТЕНТ»	11	64	310

Результаты табл. 1 показывают, что автоматизированная система «АССИСТЕНТ» позволяет значительно уменьшить количество физически нереализуемых структур ФПД.

Также, в целях проверки работоспособности разработанной автоматизированной системы «АССИСТЕНТ», нами был решен ряд тестовых

технических задач, например, как улучшить рабочие характеристики катодолуминесцентных источников света? Результатом работы автоматизированной системы «САПФИТ» являются 279 структур ФПД. Результатом работы автоматизированной системы «АССИСТЕНТ» являются 18 структур ФПД (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительный анализ решения тестовой технической задачи

Задание на синтез	АС «САПФИТ»	АС «АССИСТЕНТ»
Вход – электрическое поле. Выход – электромагнитное излучение, свет. Длина цепочки синтеза = 2	279	18

Более детальный анализ структур ФПД, синтезируемых автоматизированной системой «САПФИТ» показал, что большинство из них являются физически нереализуемыми. Это объясняется тем, что в условиях совместимости ФЭ автоматизированной системы «САПФИТ» отсутствуют проверки совместимости ФЭ по характеру изменения физической величины, не учитываются структурные преобразования объектов ФЭ, а также не сформулированы количественные условия совместимости ФЭ. Таким образом, доля ручного труда при проектировании технических решений уменьшилась за счет повышения эффективности синтеза структур ФПД.

Выводы

Усовершенствована модель описания ФЭ путем добавления к существующим параметрам воздействий ФЭ физической величины, представленной в лингвистической форме. Предложено применять четырехкомпонентную структуру описания ФЭ, которая учитывает структурные преобразования ФЭ.

Модернизированы качественные условия совместимости ФЭ, учитывающие характер изменения физической величины. Введена проверка совместимости ФЭ на количественном уровне, т. е. с учетом значений величин воздействий.

Разработан обобщенный алгоритм генерации графа переходов из одного эффекта в другой, основанный на сформулированных нами новых условиях совместимости ФЭ.

Разработана авторская методика построения линейных структур ФПД, использующая в своей алгоритмической основе модифицированные нами качественные и количественные условия совместимости ФЭ.

Сформулирована оригинальная методика построения сетевых структур ФПД, позволяющая учитывать множественность входных воздействий ФЭ, используемых в линейных структурах ФПД.

Проведенный анализ работы разработанной автоматизированной системы «АССИСТЕНТ» позволил сделать вывод, что качество автоматизации начальных этапов проектирования увеличилось за счет уменьшения количества физически нереализуемых структур ФПД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменков, С. А., Колесников, С. Г., Коробкин, Д. М. Формирование и структура баз данных по физическим эффектам // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 18. № 22(125). С. 153–157.
2. Гонца, Е. А., Фоменков, С. А., Карачунова, Г. А. Автоматизация процесса линейного синтеза физического принципа действия // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 11. № 9(82). С. 129–133.
3. Ena Arel, Mikhail Verbitsky, Igor Devoino, Sergei Ikonenko. TechOptimizer Fundamentals. Invention Machine Corporation, Boston, MA, 2002, pp. 134.
4. Ena Arel. Goldfire Innovator. Volume II: Patents and Innovation Trend Analysis User Guide. Invention Machine Corporation, Boston, MA, 2004, pp. 263.
5. Глазунов, В. Н. Технология идей: экспертные системы «НОВАТОР» и «ЭДИСОН». [Электронный ресурс] / В. Н. Глазунов. – URL: http://www.trizland.ru/trizba/pdf-articles/system_novator.pdf.
6. Зарипова, В. М. «ИНТЕЛЛЕКТ» Для развития навыков инженерного творчества / В. М. Зарипова, Е. С. Цырульников, А. А. Киселев // Alma mater (Вестник высшей школы). 2012. № 1. С. 58–61.
7. Boris Zlotin, Alla Zusman. Directed Evolution: Philosophy, Theory and Practice. Ideation International, 2001, pp. 103.
8. Victor Fey, Eugene Rivin. Innovation on Demand: New Product Development Using TRIZ. Cambridge University Press, 2005, pp. 242.
9. Коробкин, Д. М., Фоменков, С. А. Автоматизированная методика извлечения структурированных физических знаний в виде физических эффектов из текстов на естественном английском языке // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 10. № 3(76). С. 116–120.
10. Крапивина, Н. В., Коробкин, Д. М., Фоменков, С. А. Автоматизация фильтрации электронных первоисточников по признаку знаний о нанотехнологиях и выявление описаний нанотехнологий // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10(97). С. 161–166.
11. Попов, М. Ю. Предметно-ориентированный анализ текстовых документов на примере системы поиска описаний физических эффектов / М. Ю. Попов, Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 6. – С. 20–24.
12. 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.
13. Петрухин, А. В., Фоменков С. А., Камаев В. А. Использование физических знаний при решении задач концептуального проектирования технических объектов // Известия вузов. Машиностроение, 1997. № 3. С. 29–33.
14. Петрухин А. В., Фоменков С. А., Колесников С. Г. Архитектура автоматизированной системы концептуального проектирования технических объектов и технологий с использованием структурированного описания физической информации (СОФИ) для сетевых приложений // Известия вузов. Машиностроение, 1998. № 4–6. С. 52–56.

УДК 629.1.02

Е. С. Брискин, С. С. Фоменко, Н. Г. Шаронов

**ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ***

Волгоградский государственный технический университет

dtm@vstu.ru

Формирование программных законов движения позволяет целенаправленно выбирать необходимые параметры для обеспечения требуемой комфортабельности поступательного движения инвалидного кресла.

Ключевые слова: инвалидное кресло, мобильный пандус, комфортабельное движение.

E. S. Briskin, S. S. Fomenko, N. G. Sharonov

**FORMATION PROGRAM LAWS OF MOTION
OF TRANSPORT FACILITIES FOR THE DISABLE**

Volgograd State Technical University

Formation program laws of motion can deliberately choose the appropriate options to ensure the comfort of the translational motion of the wheelchair.

Keywords: wheelchair, mobile ramp, comfortable movement.

Введение

Колесные инвалидные кресла стандартного исполнения не всегда способны преодолеть различного рода препятствия, например, ступени или бордюры. Поэтому создание новых или модернизация существующих кресел, преодолевающих указанные препятствия, является не только актуальной технической задачей, но и социально значимой [1].

В настоящее время эксплуатируются и нахо-

дятся в стадии разработки большое количество транспортных средств для инвалидов, предназначенных для облегчения (упрощения) езды в городских условиях. Например, инвалидные кресла [2] позволяют повысить профильную проходимость за счет использования перевозимого пандуса.

Качественно повысить показатели профильной проходимости транспортных средств можно, применяя в конструкции движителей механизмы шагания [3, 4].

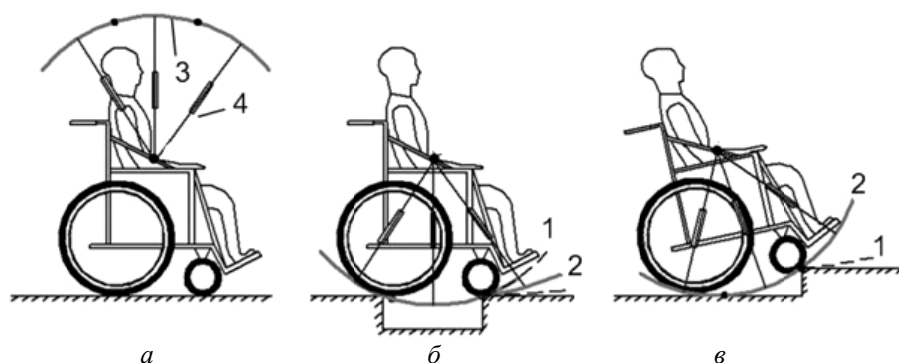


Рис. 1. Схема транспортного средства с секционным шагающим движителем (мобильным пандусом) на базе инвалидного кресла:

a – режим движения по ровной поверхности; *б* – преодоление рва; *в* – преодоление ступени;
1, 2 – положения секции движителя; *3* – секция движителя; *4* – телескопическая стойка

На рис. 1 показана схема транспортного средства с установленным секционным шагающим двигателем (мобильным пандусом) на базе инвалидного кресла [5] в режиме движения по ровной поверхности (рис. 1, а) и при преодолении препятствий типа «ров» (рис. 1, б) и «ступень» (рис. 1, в).

При необходимости преодоления препятствия секции двигателя опускаются на грунт за счет поворота вокруг оси на раме инвалидного кресла и формируют опорную поверхность, по которой с помощью основных двигателей (штатных колес) перемещается транспортное средство.

Известные транспортные средства для инвалидов частично облегчают передвижение по неровным поверхностям, но для более полного технического результата, направленного на преодоление препятствий в эксплуатационных ситуациях, когда основные колеса транспортного средства не могут обеспечить проходимость, требуется углубленное рассмотрение данной задачи.

1. Постановка задачи

Рассматривается движение транспортного средства с секционным шагающим двигателем (мобильным пандусом) на базе инвалидного кресла, как механической системы, состоящей из рамы 2 инвалидного кресла и колес 3, 4 радиусом r_3 , r_4 . (рис. 2). Колеса катятся без проскальзывания по криволинейной направляющей 1 радиусом R . Криволинейная направляющая движется без проскальзывания по прямой поверхности 5.

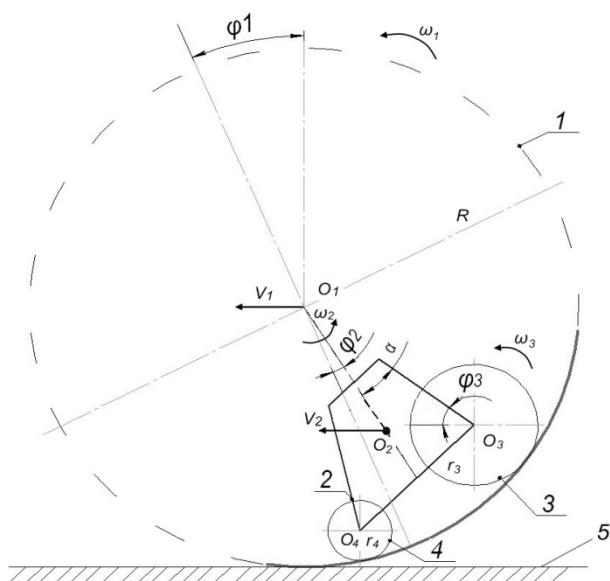


Рис. 2. Расчетная схема математической модели движения транспортного средства

Под комфортабельным движением тележки понимается поступательное движение, так как в этом случае отсутствуют угловые перемещения инвалидного кресла, т. е. угловая скорость и угловое ускорение рамы 2 равны нулю.

Ставится задача формирования программных законов движения [6] рассматриваемой механической системы, обеспечивающих поступательное движение рамы 2.

2. Кинематические соотношения

В качестве обобщенных координат выбираются (рис. 2) углы φ_1 (угол поворота направляющей 1 к неподвижной поверхности относительно вертикали против хода часовой стрелки), φ_2 (угол поворота рамы 2 инвалидного кресла относительно направляющей 1), φ_3 (угол поворота колеса 3 относительно рамы 2). Для определения значения абсолютных угловых скоростей тел рассматриваемой механической системы получаем следующие выражения:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \dot{\varphi}_1, \\ \omega_2 &= \dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2, \\ \omega_3 &= \dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3.\end{aligned}\quad (1)$$

Учитывая условие качения тел без проскальзывания, получаем:

$$(\omega_3 - \omega_2)r = (\omega_1 - \omega_2)R. \quad (2)$$

Используя (1) и (2), определяем угловую скорость колеса 3 как функцию относительных скоростей направляющей 1 и рамы 2:

$$\omega_3 = \frac{\omega_1 R - \omega_2 R + \omega_2 r}{r} = \dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_2 \frac{R}{r}. \quad (3)$$

Из выражения (3) угловой скорости ω_3 с учетом (1) определим $\dot{\varphi}_2$:

$$\dot{\varphi}_2 = -\dot{\varphi}_3 \frac{r}{R}. \quad (4)$$

Тогда, подставляя в (1) зависимость (4), определим угловую скорость ω_2 как функцию скоростей поворота криволинейной направляющей относительно неподвижной поверхности и колеса 3 относительно рамы 2:

$$\omega_2 = \dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3 \frac{r}{R}. \quad (5)$$

3. Формирование программных законов движения

Обеспечить требуемую комфортабельность поступательного движения инвалидного кресла можно, задавая соответствующие программные движения тел рассматриваемой системы.

Например, для поступательного движения кресла относительно неподвижной поверхности задается условие:

$$\varphi_{2abc} = \varphi_1 + \varphi_2 = \text{const}. \quad (6)$$

Тогда, дифференцируя по времени (6), получаем:

$$\omega_2 = \dot{\phi}_1 + \dot{\phi}_2 = 0. \quad (7)$$

Далее, используя (3), получаем:

$$\omega_3 = \frac{\omega_1 R - \omega_2 R + \omega_2 r}{r} = \omega_1 \frac{R}{r} = \text{const}. \quad (8)$$

Так как заданное программное движение тележки поступательное, то скорость точки O_1 направляющей l равна скорости точки O_2 рамы 2, то

$$V_2 = \omega_1 R = V_2 = \omega_3 r. \quad (9)$$

Зависимость угловой скорости колеса 3 от скорости поступательного движения рамы 2 при различных геометрических размерах колеса 3 представлена на рис. 3.

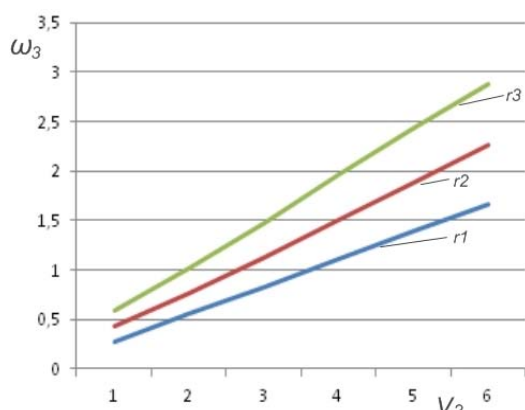


Рис. 3. Зависимость угловой скорости колеса 3 от скорости рамы 2:
 r_1, r_2, r_3 — радиусы колес

При программном движении с заданными условиями (6), (7) скорость V_2 рамы тележки не зависит от радиуса R криволинейной направляющей l .

Заключение

Полученные программные законы движения рассматриваемой механической системы обеспечивают поступательное движение рамы 2, требуемое для обеспечения комфортабельности перемещения инвалидного кресла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Министерство труда и социальной защиты РФ [Электронный ресурс]. – [2011]. – Режим доступа :<http://www.rosmintrud.ru/ministry/programms/3/0>
2. Пат. 203060098 CN, МПК A61G 5/06. Self-help wheel chair / LI WENJIN. – 2012.
3. 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.
4. Реконфигурируемый транспортный комплекс со двояными шагающими движителями / Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов, С. С. Фоменко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 19. № 24(127). С. 10–15.
5. Пат. 2014154593 РФ, МПК A61G 5/00. Транспортное средство для инвалидов / Е. С. Брискин, С. С. Фоменко, Н. Г. Шаронов, В. А. Серов; ВолгГТУ. – 2014.
6. Управление продольным движением одноколесного аппарата по неровной поверхности / Ю. Г. Мартыненко, А. М. Формальский // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2005. № 4. С. 165–173.

УДК 519.7

Ю. А. Заргарян, Е. Ю. Косенко, Д. А. Белоглазов, В. И. Финаев ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ*

Южный федеральный университет

jury.zargaryan@gmail.com, ekosenko@sfned.ru, d.beloglazov@gmail.com, finaev_val_iv@tgn.sfned.ru

Рассмотрено применение методов теории нечетких множеств и теории возможностей, а также ситуационных моделей принятия решений с целью формализации параметров задач принятия решений при управлении подвижными объектами в условиях неопределенности. Показано, что формализация поведения подвижного объекта на основе моделей классификации, вычисления степени истинности нечетких правил вывода, ситуационной модели позволяет находить адекватные управляющие решения.

Ключевые слова: подвижной объект; управление; неопределенность; принятие решений; моделирование; лингвистическая переменная; нечеткий логический вывод; планирование траектории.

Yu. A. Zargaryan, D. A. Beloglazov, E. Yu. Kosenko, V. I. Finaev FORMALIZATION AT MANAGEMENT OF MOBILE OBJECTS IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Southern Federal University

Application of methods of the theory of fuzzy sets and theory-step possible, and situational decision-making models to formalize the task parameters of decision making under uncertainty is considered. It is shown that the formalization of the behavior of the mobile object based classification models, calculating the degree of truth of fuzzy inference rules, situational model enables managers to find adequate solutions.

Keywords: mobile object; management; uncertainty; decision-making; modelling; linguistic variable; indistinct logic conclusion; trajectory planning.

© Заргарян Ю. А., Косенко Е. Ю., Белоглазов Д. А., Финаев В. И., 2015

*Материалы статьи подготовлены в рамках выполнения работ по гранту Российского научного фонда № 14-19-01533, Южный федеральный университет.

Введение

Одной из ключевых задач при разработке автономных подвижных объектов (ПО) является реализация подсистемы управления движением. Данная подсистема отвечает за расчет последовательности состояний (конфигураций) ПО, удовлетворяющих всем накладываемым на него ограничениям (отсутствие столкновений с препятствиями, уравнения кинематики и динамики ПО и т. д.), которая бы позволила последовательно перевести ПО из начального состояния в целевое [1].

Многие известные алгоритмы управления ПО [2] эффективно применяют в условиях определенности относительно модели объекта и при адекватном описании внешней среды. В реальных условиях функционирования ПО эти требования могут не выполняться, например, при выполнении маневров, непредвиденных изменениях режимов перемещения, внезапно появляющихся препятствиях на пути движения, перемещающихся препятствиях и т. д. Можно утверждать, что функционирование ПО достаточно часто осуществляется в условиях неполноты исходных данных и неопределенности параметров среды, а управление ПО в данных ситуациях представляет собой процесс выработки, принятия и реализации решений, соответствующий требованиям системного подхода к решению задач управления. Таким образом, при определенности внешней среды эффективно применяется теория автоматического управления [3, 4], а при наличии неполноты данных предпочтение отдается теории принятия решений [5, 6].

Системный подход к решению задач управления требует выполнения формализации параметров объекта и внешней среды, определение модели, правил (законов) выработки управлений и решения оптимизационных процедур. В рамках применения классической теории управления [3, 4] существуют хорошо зарекомендовавшие себя методы системного решения задач управления. Однако в условиях неопределенности сложно говорить о наличии адекватной математической модели, поэтому задача управления решается на основе применения экспертных знаний. Подобный подход делает особо актуальной задачу формализации параметров объекта и системы управления.

При принятии решений в условиях неопределенности применяют теорию нечетких множеств и нечеткой логики. Данный подход осно-

ван на способности человека обрабатывать информацию на основе восприятия. Правила нечеткой логики обеспечивают формальную методологию для лингвистических правил, следующих из рассуждения и принятия решения на основе нечеткой и неточной информации. Управление ПО в условиях неопределенности осуществляют при применении нечетких систем, разработка которых остается, на настоящий момент времени, актуальной задачей.

Формализация при нечетком логическом управлении

Формализация неопределенности определена терминами, качественно характеризующими количество отсутствующей информации об элементах задачи управления, а также описана источниками неоднозначности, которыми являются внешняя среда (физическая неопределенность) и профессиональный язык (лингвистическая неопределенность), используемый лицом, принимающим решения. Решение задач управления ПО в условиях неполноты данных следует отнести к неопределенностям, связанным с неточностями и нечеткостями, вызванными воздействиями внешней среды, наличием последствий, нестационарностью и вмешательством лиц, принимающих решения.

Функционирование *интеллектуальных систем позиционно-траекторного управления* [7, 8] происходит в условиях изменяющихся ситуациях, при возмущениях и случайных воздействиях, что определяет необходимость принятия адекватных решений в условиях неполноты данных.

Принятие оптимальных управляющих решений относится к сложным проблемам управления в условиях неопределенности, включая последствия управления, что требует применения системного подхода и оригинальных математических моделей для исследования задач управления. Для формализации параметров задач принятия решений в условиях неопределенности применяют методы теории нечетких множеств [9–11] и теории возможностей [12], а также ситуационные модели принятия решений [5, 6, 13, 14].

Основная сложность в автономном передвижении ПО – присутствие большого количества неопределенностей о состоянии окружающей среды. Применение теории нечеткой логики позволяет уменьшить неопределенность и неполноту информации. Нечеткая логика обеспечива-

ет формальную методологию для лингвистических правил, следующих из рассуждения и принятия решения на основе нечеткой и неточной информации. Получение нечетких логических вводов управления определяют последовательностью операций фазификации, обработки нечеткой информации и дефазификации.

При фазификации определяют нечеткое множество A из области описания X , определенное его функцией принадлежности $\mu_A(x)$, $x \in X$, что позволяет устанавливать соответствие между физическими значениями переменных задачи управления и нечеткими значениями.

Обработка нечеткой информации происходит на основе фазифицированных значений входных переменных, что позволяет решать задачу принятия решения с применением базы нечетких правил. Эта база правил используется для описания отношения между нечеткими входами и нечеткими выходами модели. Например, нечеткое правило управления, связывающее вход v и выход u , выражено в виде условного оператора следующим образом:

$$IF v \text{ is } W \text{ then } u \text{ is } Y, \quad (1)$$

где W и Y - нечеткие значения, определенные на областях v и u .

Механизм логического вывода обеспечивает набор управляющих воздействий в соответствии с фазифицированными входными значениями.

Применение дефазификации позволяет преобразовывать нечеткие решения в четкое значение управления нечеткого логического контроллера.

При определении поведения в задаче планирования движения ПО основная задача декомпозируется на более простые задачи, рассматривающие относительно независимые поведения. При применении нечеткого управления каждое поведение составляется из набора нечетких ло-

гических правил, определяющих достижение определенного набора целей. Правило, например, может быть определено в следующем виде: «Если цель – рядом и левее, то повернуть налево и продвигаться с низкой скоростью».

Формализация описания внешней среды включает описание объектов в пространстве действия ПО, пространственных отношений между объектами среды, а также и самого ПО. Для описания пространственных отношений между объектами внешней среды и ПО применяют экстенциональные и интенциональные отношения [15].

Экстенциональные отношения применяют для формализации положения и ориентации объектов. Например, для описания отношения между двумя объектами применимы бинарные отношения ориентации, задаваемые на множестве вербальных элементов: f_1 – объект a_1 впереди объекта a_2 , аналогично: f_2 – слева и впереди, f_3 – слева и т. д.; дистанции: d_1 – вплотную, d_2 – близко, d_3 – не близко – не далеко, d_4 – далеко, d_5 – очень далеко. График нечеткого отношения содержит функции принадлежности, которые учитывают особенности восприятия пространственных отношений человеком. На рис. 1 приведено возможное задание функций принадлежности для лингвистической переменной «дистанция» с терминами d_i .

Интенциональные бинарные отношения определяют состояние ПО, например, в виде отношения, заданного на элементах множества: R_1 – соприкоснуться; R_2 – быть внутри; R_3 – быть вне; R_4 – быть в центре; R_5 – быть на одной прямой; R_6 – быть на одной плоскости; R_7 – иметь ненулевую проекцию; R_8 – стоять на поверхности.

Совокупность объектов в пространстве перемещения ПО, множество отношения между ними и правила преобразования составляют формальный язык описания ситуации. Язык описания ситуации с использованием логики про-

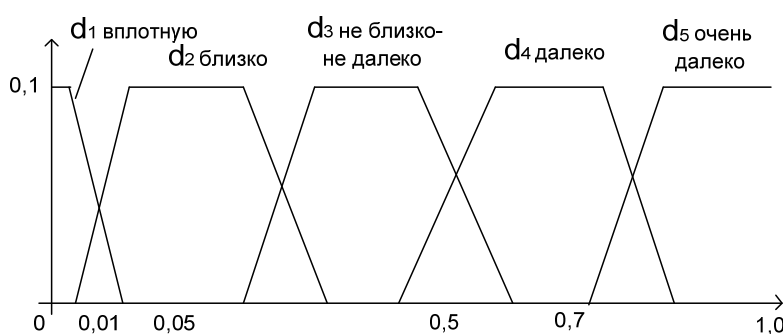


Рис. 1. Функции принадлежности для лингвистической переменной «дистанция», построенные по экспериментальным данным

пространственно-временных отношений предоставляет семиотическую формализацию ПО и объектов внешней среды. Например, пространственное отношение a_1 *стоит на плоскости S далеко справа* формально определится в следующем виде: $(a_1 R_8 S) \& (a_0 d_3 f_7 a_1)$, где a_0 – препятствие, относительно которого сформулированы отношения дистанции и ориентации ПО a_1 .

Состояние внешней среды ПО, как текущая ситуация, описывается системой бинарных фреймов ($\langle \text{объект } m \rangle$, $\langle \text{отношение} \rangle$, $\langle \text{объект } m+1 \rangle$), $m=1, 2, \dots, M$, где в качестве одного из объектов может выступать ПО или внешний наблюдатель. Анализ ПО пространства состояний происходит с применением алгоритмов идентификации препятствий. Алгоритмы идентификации – это системы нечеткого логического вывода, представляющие собой набор правил классификации ситуаций, нечеткие признаки объектов, и составляющие базу знаний о препятствиях.

В качестве нечеткого классификатора предлагается применять алгоритм Мамдани [16, 17].

Нечеткие параметры объектов определяются функциями принадлежности нечетких переменных, составляющих терм-множества лингвистических переменных. Функции принадлежности определены на базовых множествах, задание которых определено техническими характеристиками ПО и сенсорной системы. Алгоритмы анализа ПО внешней среды, заданные функции принадлежности, система правил нечеткого продукционного вывода, параметры реальной ситуации позволяют определять параметры и характер препятствий, используя нечеткие признаки.

В работе [18] предложено ввести двумерную функцию принадлежности. Например, для термов лингвистической переменной «Высота объекта» функции принадлежности вводятся с учетом угла установки системы зрения на шасси робота. Зависимость функции принадлежности от расстояния до измерителя показана на рис. 2. В зависимости от дистанции меняются функции принадлежности по ориентации: «слева», «справа».

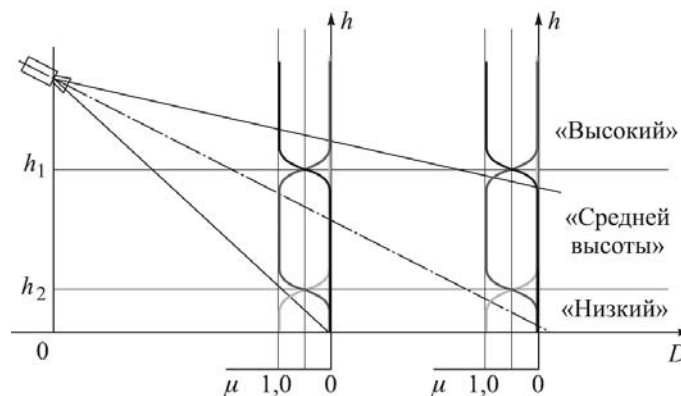


Рис. 2. Зависимость функции принадлежности от расстояния до измерителя

Состояние объектов пространства может меняться при передвижении, поэтому при перемещении ПО описание ситуации изменяется во времени, что требует учета в общем случае не только пространственных, но и временных отношений в пространстве перемещения, например, *быть раньше или позже, одновременно, следовать за*. Состояние в пространстве передвижения ПО S определяется фреймом, слотами которого служат имена объектов пространства, пространственные и временные отношения между объектами.

Анализ моделей нечеткого логического вывода

Под поведением ПО понимается его перемещение в пространстве с целью достижения

точки назначения. Для формализации поведения и принятия решений могут быть применены разные ситуационные модели [5, 6, 13, 14, 19, 20]. Общим признаком моделей является ситуационный анализ и применение при формализации знаний экспертов для описания параметров объектов пространства и ПО. Рассмотрим наиболее распространенные виды моделей.

Модель классификации. Входные переменные модели поведения ПО определены в виде лингвистических переменных (ЛП) α_i , $i=1, n$ и нечетких переменных (НП) α_i^k , $k=1, m$, которые составляют терм-множества ЛП α_i .

Эксперты задают множество управляющих решений $H=\{h_1, h_2, \dots, h_m\}$ и формулируют пра-

вила принятия решений. Правила принятия решений представлены таблицей соответствия между наборами НП и элементами множества решений. Модель принятия решений задают в виде набора

$$(X, \Psi, H), \quad (1)$$

где X – множество признаков-факторов состояния подвижного объекта; Ψ – разбиение X на нечеткие эталонные классы L_j , ($j=1, \overline{|\mathbf{H}|}$). Множество $X_i \subset X$, $i=\overline{1, n}$ является базовым множеством при определении ЛП α_i и ее НП из терм-множества $T(\alpha_i)$.

Строки таблицы соответствия «ситуация – действия» формально определяют все возможные ситуации на вербальном уровне и соответствующие им управляющие решения. Эксперты формулируют правила принятия решения в виде нечеткого правила *modus ponens* [19]. Общее количество правил $|T(\alpha_1)| \times |T(\alpha_2)| \times \dots \times |T(\alpha_n)|$. Из множества правил выделяются эталонные классы, соответствующие одному решению. Для каждого эталонного класса определяют функцию принадлежности j -го решения j -му эталонному классу:

$$\begin{aligned} \mu_{L_j}(x_1 x_2 \dots x_n) &= \\ &= \bigvee_{(\alpha_1^i, \alpha_2^i, \dots, \alpha_n^i) \in L_j} \mu_{\alpha_1^i}(x_1) \& \mu_{\alpha_2^i}(x_2) \& \dots \& \mu_{\alpha_n^i}(x_n), \\ x_i &\in X_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, |\mathbf{H}|}, \end{aligned} \quad (2)$$

где n_j – число наборов $\alpha_1^i, \dots, \alpha_n^i$, принадлежащих j -му классу разбиения.

Принятие управляющего решения для определения поведения ПО происходит следующим образом. Определяют физические значения параметров состояния ПО и объектов пространства перемещений $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \in X$ для момента принятия решения t_0 и подставляют эти значения в функции принадлежности НП. Вычисляют значения степеней принадлежности эталонных классов $\mu_{L_j}(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$, $j=\overline{1, |\mathbf{H}|}$, а затем среди всех значений μ_{L_j} находится максимальное значение

$$\mu_{L_s} = \max_j \mu_{L_j}(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0). \quad (3)$$

Управляющее решение h_s с индексом s считается соответствующим для рассматриваемой ситуации и принимается со степенью принадлежности μ_{L_s} .

Модель вычисления степени истинности нечетких правил вывода. Модель задается трой-

кой $X \times H \xrightarrow{T} H$, где T – нечеткое соответствие на множестве $X \times H$. Множество H – множество НП из терм-множества ЛП «управляющее решение». Экспертами осуществляется выбор элементов множества T в виде правил нечеткого логического вывода решения $\{\pi_j\}$, $j=\overline{1, \mathbf{I}}$. Для каждого высказывания π_j определяют функцию принадлежности

$$\mu_{\pi_j}(x_1, x_2, \dots, x_n, h_i). \quad (4)$$

Для отношения T значения функции принадлежности определяется через обобщенную операцию σ , так что

$$\mu_T(x_1, x_2, \dots, x_n, h_i) = \sigma_{\mu_{\pi_j}}(x_1, x_2, \dots, x_n, h_i). \quad (5)$$

Для времени принятия управляющего решения t_0 определяют координату состояний ПО и объектов пространства перемещений $x^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \in X$. Для точки x^0 определяют значения функций принадлежности $\mu_{T(\pi_j)}(x^0, h_i)$ нечеткого логического выбора управляющего решения h_i , которое зависит от значений степеней принадлежности решений μ_{h_i} .

Выбранным решением считается такое значение базового множества ЛП «управляющее решение», при котором значение функций принадлежности $\mu_{T(\pi_j)}(x^0, h_i)$ имеет максимальное значение

$$\mu_{T(\pi_s)}(w^0, h_s) = \max_j \mu_{T(\pi_j)}(w^0, h_i). \quad (6)$$

Ситуационная модель. Нечеткий логический вывод представляет собой выбор управляющего решения по результатам анализа реальных нечетких ситуаций в пространстве перемещений ПО и сопоставлении их с эталонными нечеткими ситуациями, заданными экспертами. Каждой эталонной нечеткой ситуации экспертами сопоставлено управляющее решение.

При выводе управляющего решения сопоставляют реальную нечеткую ситуацию $\tilde{S}_i$ с эталонными нечеткими эталонными ситуациями $\tilde{S}_j^*$, $j=\overline{1, R}$ путем применения операций нечеткого равенства или нечеткого сравнения.

Общим для моделей принятия решений является то, что экспертами на базовых множествах $X_1, X_2, \dots, X_n$ задаются степени принадлежности значений нечетких переменных и правила принятия решений. При принятии решений определяют координаты факторов $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n = X$ пространства перемеще-

ний и ПО и значения степеней принадлежности нечетких переменных. Каждая из моделей имеет свои преимущества и недостатки, а вывод об их применении следует делать при окончательной постановке задачи принятия решений в условиях неопределенности.

Применение ситуационной модели позволяет априори выделить стереотипы поведения ПО, которые также имеют вид продукционных правил: «если ситуация есть S_i , то тактика – T_i ».

В условиях неопределенности под тактикой во многих работах понимают совокупность правил поведения, направленных на достижение цели, поставленной перед ПО, причем правила принятия управляющих решений обычно являются продуктами и ставят в соответствие типовой ситуации заранее определенное перемещение ПО в пространстве.

Поведение ПО в общем виде определяется фреймом: *<текущая ситуация S_i > <объект управления a_0 > <имя операции> <сопутствующие объекты_j> <условия выполнимости операции>*. В фрейме содержатся условия выполнимости операции перемещения с учетом текущей ситуации и параметров среды перемещения, например, вид рельефа и свойства грунта, качество сцепления колес или гусениц с грунтом, характер препятствий.

Таким образом, при применении ситуационной модели сравнение наблюдаемой ситуации с эталонными ситуациями выполняется с использованием критериев нечеткой близости ситуаций. Получаемая ПО оценка ситуации представляет собой формализованную человеческую оценку.

Планирование траектории подвижного объекта

Так как оператор ставит перед ПО цель достижения конечной точки в пространстве функционирования, то появляется задача автономного планирования движения ПО.

При решении задачи планирования с применением методов искусственного интеллекта для управления движением ПО имеется возможность постоянного сравнения результатов фактического наблюдения за ситуацией (путем измерений) и заданных в процедуре планирования условий.

Сравнение может быть реализовано при лингвистическом описании реально наблюдаемой ситуации и предполагаемой ситуации, заданной экспертами, как эталонной. При неудовлетворительных результатах сравнения необхо-

дим план действий для устранения противоречий, т. е. на достижение желаемой ситуации для оптимизации траектории движения ПО.

Таким образом, необходимо создать для интеллектуальной системы ПО банк типовых операций, а также возможность генерации других типовых операций, исходя из сопоставления реальных и предполагаемых ситуаций, что было предложено, например, в работе [21]. Данная задача планирования актуальна при поиске траектории движения ПО в условиях неопределенности.

При планировании сложных операций вначале сопоставляются целевая и фактическая ситуации. При их несовпадении выявляются противоречия и определяются действия для устранения противоречий. Затем проверяют условия разрешающих действий, которые также могут находиться в противоречии с фактической ситуацией. Они генерируют новые действия и так далее до тех пор, пока, по крайней мере, для одной из разрешающих операций предусловия не окажутся выполненными. Тогда эта операция выполняется (пока на уровне планирования), возникает новая ситуация, которая анализируется аналогичным способом, и т. д. Таким образом генерируется цепь согласованных элементарных операций, приводящих к реализации цели, если выполнены соответствующие постусловия, т. е. если вообще задача может быть решена [21].

Недостатком подхода работы [21] является необходимость оператору заранее определить условия и правила работы системы управления в разных ситуациях, которые должны быть заранее известны. На практике при управлении ПО в непредсказуемых ситуациях это достаточно сложно.

При составлении базы правил принятия управляющих решений целесообразно проводить обучение интеллектуальной системы управления ПО по принципу «обучение с учителем» [22] или с применением обучаемых нечетких нейросетей. Аппаратом накопления и обработки опыта является специальный тип нейронных сетей. Система содержит блок, названный авторами «блоком эмоций», позволяющий оценить совершаемые действия. Последующие действия выполняются с учетом «накопленных знаний».

Планирование поведения ПО может осуществляться и с применением операций гностического типа, обеспечивающих получение недос-

тающей информации, и позволяющих избавить оператора от необходимости предварительного анализа условий достижимости. Если слот, соответствующий условиям достижимости не заполнен, то интеллектуальная система управления должна сама определить, выдерживаются ли эти условия. Например, ПО может искать наиболее короткий путь на карте движения, определить возможность прохода по своим габаритным размерам и прочее. Данные гностические операции должны содержаться в базе знаний интеллектуальной системы управления или задаваться оператором в ходе диалога.

Таким образом, хотя методы нечеткой логики и ситуационного управления позволяют решать широкий круг задач, связанных с управлением ПО в условиях неопределенности, но необходимо участие человека в постановке задачи, контроле перемещений ПО, постановке задач, вмешательстве в работу системы управления при возникновении нештатных ситуаций.

Выводы

Многие задачи управления автономными ПО или ПО группового взаимодействия решаются в условиях неопределенности, как относительно модели объекта, так и о состоянии окружающей среды [2; 7; 8; 15; 18; 23–25], причем решение задач управления в перечисленных работах в условиях неопределенности связано как с формализацией неопределенностей, так и с принятием решений, направленных на поиск управляющих воздействий, обеспечивающих оптимальные значения заданных критериев функций, определяющих, в свою очередь, эффективность функционирования систем управления.

В данной работе определено, что для формализации задач принятия решений в условиях неопределенности следует применять, в первую очередь, теорию нечетких множеств и теорию нечеткой логики. Правила нечеткой логики обеспечивают формальную методологию для лингвистических правил, следующих из рассуждения и принятия решения на основе нечеткой и неточной информации. В задачах управления ПО, особенно в критических режимах, управление рассмотрено как процесс принятия адекватных решений в условиях неопределенности.

Отличие предлагаемого в данной работе системного подхода заключается в следующем. Цель разработанного в данной статье системного подхода к задаче управления в условиях не-

определенности состоит в интеграции отдельных этапов решения задачи управления. Достижение поставленной цели обусловлено тем, что осуществлена формализация пространственных отношений между объектами внешней среды и ПО на основе экстенциональных и интенциональных отношений. Формализация поведения ПО на основе моделей классификации, вычисления степени истинности нечетких правил вывода, ситуационной модели позволяет находить адекватные управляющие решения. Рассмотрено контекстно-зависимое поведение ПО, предполагающее разделение общего поведения на составляющие, отдельные независимые поведения, фокусирующиеся на выполнении определенных подзадач. Разработка элементарных поведений ПО во внешней среде – движение к цели, обход препятствия, движение вдоль стены, чрезвычайная ситуация – позволяет координировать элементарные поведения ПО в условиях неопределенности и осуществлять имитационное моделирование движения ПО для различных вариантов расположения препятствий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Камаев, В. А., Крыжановский, А. И., Никляев, И. Ю., Пыхтин, П. С. Расчет траектории движения мобильного робота с гусеничным движителем для применения в алгоритме RRT // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 19. № 24 (127). С. 38–43.
2. Пшихопов, В. Х. Оценивание и управление в сложных динамических системах / В. Х. Пшихопов, М. Ю. Медведев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 295 с.
3. Бессекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бессекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
4. Гайдук, А. Р. Непрерывные и дискретные динамические системы / А. Р. Гайдук. – 2-е изд., перераб. – М.: Учебная литература, 2004. – 252 с.
5. Борисов, А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей : Примеры использования / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига : Зинатне, 1990. – 184 с.
6. Берштейн, Л. С. Модели и методы принятия решений в интегрированных интеллектуальных системах / Л. С. Берштейн, В. П. Карелин, А. Н. Целых. – Ростов н / Д : Изд-во Ростов. ун-та, 1999. – 278 с.
7. Pshikhov, V.Kh., Krukhmalev, V.A., Medvedev, M.Yu., Fedorenko, R.V., Kopylov, S.A., Budko, A.Yu., Chufistov, V.M. Adaptive control system design for robotic aircrafts // IEEE Latin American Robotics Symposium, 2013. – PP. 67–70.
8. Pshikhov, V., Sergeev, N., Medvedev, M., Kulchenko, A. The design of helicopter autopilot // SAE Technical Papers, 2012. – PP. 75–83.
9. Saaty, T.L. Measuring the fuzziness of sets // Journal of Cybernetics. – 1974. – V. 4. – PP. 149–194.

10. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин [и др.]. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
11. Заде, Л. А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе. В кн.: Классификация и кластер / Л. А. Заде. – М.: Мир, 1980. – С. 208–247.
12. Дюбуа, Д. Теория возможностей / Д. Дюбуа, А. Прад, пер. с фр. В. Б. Тарасова ; под ред. С. А. Орловского. – М.: Радио и Связь, 1990. – 288 с.
13. Финаев, В. И. Модели принятия решений / В. И. Финаев. – Таганрог : ТРТУ, 2005. – 101 с.
14. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 288 с.
15. Ющенко, А. С. Управление роботами с использованием нечеткой логики: состояние и проблемы / А. С. Ющенко // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – № 1. – С. 119–130.
16. Mamdani, E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis / IEEE Transactions on Computers, vol. 26, no. 12, 1977. – PP. 1182–1191.
17. Mamdani, E. H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers / International Journal of Man-Machine Studies, vol. 8, 1976. – PP. 669–678.
18. Володин, Ю. С. Нечеткая классификация препятствий мобильным роботом с использованием телевизионной системы пространственного зрения / Ю. С. Володин, Б. Б. Михайлов, А. С. Ющенко // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб науч. тр. междунар. конф. – М.: Физматлит, 2011. – С. 372–380.
19. Берштейн, Л. С. Нечеткие модели принятия решений: дедукция, индукция, аналогия : моногр. / Л. С. Берштейн, А. В. Боженов. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2001. – 110 с.
20. Прикладные нечеткие системы ; пер. с япон. // под ред. Т. Тэрано, К. Асан, М. Оугэно. – М.: Мир, 1993. – 268 с.
21. Ющенко, А. С. Интеллектуальное планирование в деятельности роботов / А. С. Ющенко // Мехатроника. – 2005. – № 3. – С. 5–18.
22. Жданов, А. А. Автономный искусственный интеллект / А. А. Жданов. – М.: БИНОМ, 2008 – 359 с.
23. Eichfelder, G. Adaptive Scalarization Methods in Multiobjective Optimization. Publisher: Springer, 2008. – P. 256.
24. Finaev, V.I., Zargaryan, Yu. Multicriterion Decision Making in Case of Incomplete Source Data. World Applied Sciences Journal 23 (9): 1253-1261, 2013 ISSN 1818-4952. ©IDOSI Publications, 2013 DOI: 0.5829/idosi.wasj. 2013.23.09.13140. [Electronic resource]. URL: [http://www.idosi.org/wasj/wasj23\(9\)13/19.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj23(9)13/19.pdf).
25. Tunstel, E., Lippincott, T. & Jamshidi, M. Behavior Hierarchy for Autonomous Mobile Robots: Fuzzy-behavior modulation and evolution//International Journal of Intelligent Automation and Soft Computing, Special Issue: Autonomous Control Engineering at NASA ACE Center, Vol. 3, № 1, 1997. – PP. 37–49.

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. № 84ж. Подписано в печать 01.10.2015 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 25,58. Уч.-изд. л. 20,39.
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.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Известия высших учебных заведений», серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах», публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование наземных транспортных и тяговых систем и их элементов, а также на повышение эффективности транспортных операций.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия журнала, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Диск должен быть вложен в отдельный конверт, на этикетке диска указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, на котором работает автор статьи. В конце статьи ставится подпись автора (на бумажном варианте).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b* и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной-двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номера служебного и домашнего телефонов, E-mail); документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.