

ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского
государственного
технического
университета

ISSN 1990-5297



Серия
Актуальные проблемы управления,
вычислительной техники и информатики
в технических системах

16+

№ 5 (215)
2018

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:

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, доц. 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, проф., засл. деятель науки РФ, МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
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., академик 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. 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, 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)
Поляничков 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)
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)
Шарипов В. М., д-р техн. наук, проф.,
Московский государственный технический университет (МАМИ, г. Москва, Россия)
Шаховская Л. С., д-р экон. наук, проф. ВолгГТУ
Шейн А. Г., д-р физ.-мат. наук, проф. ВолгГТУ
Щербачков М. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ

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

Щербаков М. В., д.т.н., проф.

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

Бериадский 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.

Кравец А. Г., д.т.н., проф.

Курейчик В. М., д.т.н., проф.
(ТаГГТУ, 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

№ 5 (215)
Май
2018

УЧРЕДИТЕЛЬ:

**ФГБОУ высшего 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», 2018

Head Editor of the scientific journal “Izvestiya VSTU”:

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

Editorial board:

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)

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., Academician 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)

Navrotskiy 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)

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

Shcherbakov M. V., D. Sc. (Engineering), Prof. VSTU

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

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

Shcherbakov M. V., 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.
Gorobitsov A. S., D. Sc. (Engineering),
Prof.

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

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

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

№ 5 (215)
May
2018

FOUNDER:
FSBEI of Higher Education
"Volgograd State Technical University"

Editorial office address:
Volgograd, Lenin avenue, 28.
Tel.: Head Editor – (+7 8442) 24-80-00
E-mail: president@vstu.ru

The journal is registered at the Federal Service on Control in the Sphere of Communication,
IT and Mass Communications (Roscomnadzor)

Registration certificate ПИ № ФС77–61113 of March 19, 2015

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

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

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

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аликова А. А. 43
Аникин А. В. 30
Васяева Н. С. 110
Воробьев А. С. 51
Голованчиков А. Б. 7, 11, 18
Голубев А. В. 60
Гордеев Н. А. 56
Гринченков Д. В. 77
Джамалидинова М. Е. 7, 48
Доан Минь Кыонг 7
Дронов Д. Р. 85
Дыков М. А. 56
Егунов В. А. 102, 106
Жменя Е. С. 77
Игнатъев А. В. 22
Качалов А. Л. 102
Коваленко П. О. 51
Колесников С. Г. 68
Коломиец А. В. 77
Коробкин Д. М. 56, 68
Крамарев М. В. 26
Крушель Е. Г. 43
Кульцова М. Б. 30
Ламскова М. И. 11
Литвинов С. П. 36
Лобейко В. И. 36
Матюшечкин Д. С. 30
Медведева Л. И. 26
Михайлов А. В. 51
Недоступов А. О. 60
Никишова А. В. 85
Новиков А. Е. 11
Омельченко Т. А. 90
Парыгин Д. С. 60
Пахомов Т. А. 90
Петросян М. К. 106
Петрухин А. В. 65
Подоплелов Д. С. 110
Прохоренко Н. А. 18
Садовникова Н. П. 60
Сорокин А. А. 94
Старусев А. В. 36
Степанченко И. В. 43
Федоров Я. В. 110
Филимонов М. И. 7, 11
Финогеев А. Г. 60
Фоменков С. А. 56, 68
Чан К. Т. 94
Шабанов Д. В. 68
Шевченко К. А. 65

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

<i>Голованчиков А. Б., Доан Минь Кыонг, Филимонов М. И.</i> Моделирование процесса разделения нефтешламов в отстойной центрифуге.....	7
<i>Голованчиков А. Б., Ламскова М. И., Филимонов М. И., Новиков А. Е.</i> Вероятность улавливания частиц в напорном гидроциклоне при двухслойном течении потока.....	11
<i>Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А.</i> Моделирование материального баланса с учетом продольной диффузии в ректификационной колонне.....	18
<i>Игнатьев А. В.</i> Математическая модель и алгоритмы динамического расчета конструкций по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода.....	22
<i>Крамарев М. В., Медведева Л. И.</i> Разработка и исследование системы автоматического управления процессом ректификации спирта с целью повышения чистоты разделения исходной смеси.....	26
<i>Матюшечкин Д. С., Кульцова М. Б., Аникин А. В.</i> Веб-сервис для перевода пиктограммных сообщений в согласованные тексты на русском языке.....	30
<i>Старусев А. В., Лобейко В. И., Литвинов С. П.</i> Об одном методе исследования сложных технических систем при проведении экспериментов.....	36

Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Аликова А. А., Крушель Е. Г., Степанченко И. В.</i> Исследование устойчивости оценок параметров источников выброса к помехам измерения концентраций в зоне рассеивания загрязняющих веществ.....	43
<i>Джамалидинова М. Е.</i> Контроль параметров радиоэлектронных средств системы подвижной связи с применением теории нечетких множеств.....	48
<i>Коваленко П. О., Михайлов А. В., Воробьев А. С.</i> Методы отслеживания объектов по ключевым точкам.....	51
<i>Коробкин Д. М., Гордеев Н. А., Фоменков С. А., Дыков М. А.</i> Метод выявления патентных трендов на основе описаний технических функций.....	56
<i>Парыгин Д. С., Садовникова Н. П., Голубев А. В., Недоступов А. О., Финогеев А. Г.</i> Подходы к визуализации экологической информации на карте города.....	60
<i>Петрухин А. В., Шевченко К. А.</i> Об одном подходе к автоматизации поиска и выбора биржевых стратегий.....	65
<i>Шабанов Д. В., Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Колесников С. Г.</i> Метод извлечения описаний технических функций из патентных текстов.....	68

Часть III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>Гринченков Д. В., Коломиец А. В., Жменя Е. С.</i> Построение когнитивной карты международной деятельности вуза.....	77
---	----

Часть IV. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

<i>Дронов Д. Р., Никишова А. В.</i> Встраивание данных в PNG-изображения.....	85
<i>Омельченко Т. А., Пахомов Т. А.</i> Аудит безопасности операционной системы мобильного устройства.....	90
<i>Чан К. Т., Сорокин А. А.</i> Нечеткая система управления интенсивностью передачи трафика в сетях передачи данных.....	94

Часть V. РОБОТОТЕХНИКА

<i>Егунов В. А., Качалов А. Л.</i> Разработка программно-аппаратного комплекса мобильного шагающего робота.....	102
<i>Егунов В. А., Петросян М. К.</i> Разработка инерциальной системы навигации шагающего робота с возможностью визуализации положения робота в пространстве.....	106
<i>Подоплелов Д. С., Федоров Я. В., Васяева Н. С.</i> Система ориентации автономных мобильных платформ в лабиринте.....	110
К сведению авторов.....	116

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 666.1.036.21

А. Б. Голованчиков, Доан Минь Кыонг, М. И. Филимонов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЕШЛАМОВ В ОТСТОЙНОЙ ЦЕНТРИФУГЕ

Волгоградский государственный технический университет

rahp@vstu.ru

Предлагается алгоритм расчета отстойной центрифуги с учетом стесненного осаждения частиц дисперсной фазы в центробежном поле.

Особенностью предлагаемой методики является использование уравнения связи локальных степеней очистки каждой фракции с их фракционными скоростями осаждения в центробежном поле и скоростью центробежного осаждения частиц номинального размера, то есть улавливаемых на 100 %.

Приводятся пример расчета, связанный с очисткой нефтешламов, и анализ зависимости эффективности разделения от скорости вращения и радиуса свободной границы суспензии внутри ротора.

Ключевые слова: нефтешлам, отстойная центрифуга, центробежное поле, фактор разделения, номинальный размер, плотность распределения, локальная и общая степени очистки.

A. B. Golovanchikov, Doan Minh Cuong, M. I. Filimonov

MODELING OF THE PROCESS SEPARATION OF PETROLEUMS IN THE SEDUARY CENTRIFUGE

Volgograd State Technical University

An algorithm for calculating a settling centrifuge is proposed, taking into account the cramped deposition of dispersed phase particles in a centrifugal field.

The peculiarity of the proposed technique is the use of the equation of the connection of the local degrees of purification of each fraction with their fractional deposition rates in the centrifugal field and the centrifugal deposition rate of particles of nominal size that is, trapped by 100%.

An example of calculation related to the cleaning of oil sludge is given and an analysis is made of the dependence of the separation efficiency on the rotational speed and the radius of the free boundary of the suspension inside the rotor.

Keywords: oil sludge, slop centrifuge, centrifugal field, separation factor, nominal size, distribution density, local and general degree of purification.

Известные методы расчетов отстойных центрифуг основаны на общем условии улавливания частиц или капель дисперсной фазы номинального размера, то есть улавливаемых на 100 %: время осаждения τ_n должно быть меньше или равно времени пребывания τ_c . Для осаждения в центробежном поле [1, 2]:

$$\tau_n \leq \tau_c. \quad (1)$$

Целью работы является разработка инженерной методики расчета отстойной центрифуги, учитывающей стесненное осаждение частиц дисперсной фазы в центробежном поле и влияние технологических параметров: скорости вращения ротора и свободной поверхности суспен-

зии в роторе на локальные степени очистки по фракциям и общую степень очистки на примере разделения нефтешламов.

На рис. 1 изображена схема отстойной центрифуги с обозначением геометрических размеров и скоростями сплошной фазы и центробежного осаждения частиц.

Алгоритм расчета отстойной центрифуги с учетом условия (1) может быть следующий (обозначения параметров представлены в табл. 1):

1. Плотность распределения частиц в исходной суспензии:

$$C(i) = C_1(i) / \sum_{i=1}^n C_1(i).$$

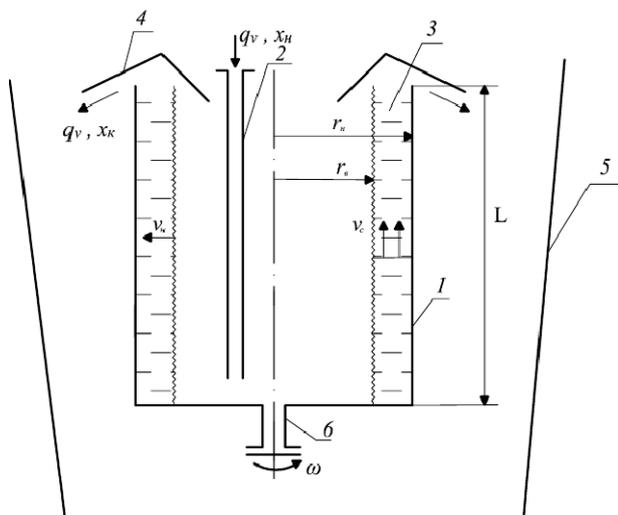


Рис. 1. Схема отстойной центрифуги:
1 – ротор; 2 – патрубок подачи исходной суспензии; 3 – слой суспензии на стенке ротора; 4 – кольцевой козырек для подачи очищенной суспензии в сборник; 5 – сборник очищенной суспензии; 6 – патрубок для отбора уловленных частиц из ротора

2. Среднее время пребывания суспензии в роторе:

$$\tau_c = \pi(R_n - R_e)^2 \cdot L / q_v.$$

3. Время осаждения частиц номинального диаметра в центробежном поле:

$$\tau_n = \frac{R_n - R_e}{v_n}.$$

4. Приравнявая среднее время пребывания и время осаждения частиц номинального диаметра в центробежном поле, получаем формулу скорости осаждения частиц номинального диаметра в центробежном поле:

$$v_n = \frac{q_v}{\pi(R_n + R_e) \cdot L}.$$

5. Средний фактор разделения:

$$\Phi = \frac{\omega^2(R_n + R_e)}{2g}.$$

6. Число Лященко для частиц номинального диаметра в центробежном поле (то есть частиц, улавливаемых на 100 %) [3]:

$$La_n = v_n^3 \cdot \rho^2 / (g \cdot \Phi \cdot \mu(\rho_m - \rho)).$$

7. Число Архимеда для частиц номинального диаметра (определяется методом половинного деления при решении трансцендентного уравнения):

$$La_n = Ar_n^2 / (18 + 0,61\sqrt{Ar_n})^3.$$

8. Число Рейнольдса для частиц номинального диаметра (формула Годеса) [4]:

$$Re_n = Ar_n / (18 + 0,61\sqrt{Ar_n}).$$

9. Размер частиц номинального диаметра:

$$d_n = Re_n \cdot \mu / (\rho \cdot v_n).$$

10. Число Архимеда для каждой фракции частиц в суспензии [5]:

$$Ar = Ar_0 \cdot [d(i)/d_n]^3.$$

11. Число Рейнольдса для каждой фракции частиц [6]:

$$Re = Ar / (18 + 0,61\sqrt{Ar}).$$

12. Скорость осаждения для каждой фракции:

$$v(i) = Re \cdot \mu / [\rho \cdot d(i)].$$

13. Локальная степень улавливания для частиц каждой фракции:

если $d(i) \geq d_n$, $x = 1$;

если $d(i) < d_n$, расчет проводится по формуле $1,5x^2 - 0,5x^3 = v(i)/v_n$ с определением x методом половинного деления [7].

14. Относительная доля уловленных частиц каждой фракции, остающаяся осадке на роторе

$$C_y(i) = C(i) \cdot x.$$

15. Интегральная (общая) степень очистки суспензии в центрифуге:

$$S_k = \sum_{i=1}^m C_y(i),$$

где m – число фракций пыли.

Расчет проводится с уменьшением на каждой итерации радиуса свободной границы суспензии R_e у стенки ротора или с увеличением числа оборотов ротора ω до тех пор, пока расчетная степень очистки S_k не станет больше необходимой степени очистки η ,

$$S_k \geq \eta.$$

По предлагаемому алгоритму были проведены расчеты технологических параметров отстойной центрифуги. В качестве суспензии был взят нефтешлам, направляемый в отстойники нефтеперерабатывающего завод. Исходные и справочные данные и расчетные параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Исходные и справочные данные и расчетные параметры отстойной центрифуги
для очистки нефтешлама от дисперсной фазы**

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
Исходные данные				
1	Производительность	м ³ /с	q_v	0,042
2	Радиус ротора центрифуги	м	r_n	0,2
3	Высота ротора центрифуги	м	L	1
4	Начальная концентрация частиц дисперсной фазы	кг/л	x_n	0,06
5	Необходимая общая степень очистки	–	η	0,9
Справочные данные				
1	Плотность нефтешлама	кг/м ³	ρ	900
2	Плотность частиц дисперсной фазы	кг/м ³	ρ_m	1090
3	Вязкость нефтешлама	Па·с	μ	0,123
4	Масса частиц каждой фракции при ситовом анализе	г	$C_i(i)$	см таб. 2
5	Размер частиц каждой фракции при ситовом анализе	мк	$d_m(i)$	см таб. 2
6	Число фракции в массиве	–	n	10
Варьируемые параметры				
1	Скорость вращения ротора	рад/с	ω	194
2	Радиус свободной поверхности нефтешлама в роторе	м	r_e	0,15
Расчетные параметры				
1	Плотность распределения частиц по фракциям	–	$C(i)$	см. таб. 2
2	Среднее время пребывания нефтешлама в роторе	с	τ_c	0,187
3	Скорость центробежного осаждения частиц номинального размера	м/с	v_n	$3,82 \cdot 10^{-2}$
4	Фактор разделения	–	Φ	674
5	Число Лященко для частиц номинального размера (улавливаемых на 100%)	–	La_n	$2,94 \cdot 10^{-4}$
6	Число Архимеда для частиц номинального размера	–	Ar_n	1,39
7	Число Рейнольдса для частиц номинального размера	–	Re_n	0,074
8	Размер номинальных частиц	м	d_n	$2,65 \cdot 10^{-4}$
9	Общая степень очистки	–	S_k	0,901
10	Концентрация частиц в нефтешламе после центрифуги	кг/л	x_k	0,006

В табл. 2 приведены исходные данные по массовому распределению частиц (ситовому анализу) плотность распределения частиц $C(i)$ по фракциям исходной суспензии, локальная степень $x(i)$ улавливаемых частиц по фракциям и локальная доля уловленных частиц в осадке на роторе. При скорости вращения ротора $\omega = 194$ рад/с и радиус свободной поверхности суспензии $r_e = 0,15$ м.

Как видно из результатов расчетов, представленных в табл. 1 и 2, для обеспечения

заданной общей степени очистки нефтешлама $\eta = 0,9$ необходимо обеспечить скорость вращения ротора $\omega = 194$ рад/с или $n = 1854$ об/мин при радиусе свободной поверхности нефтешлама в роторе $r_e = 0,15$ м, при этом номинальный размер частиц, то есть частиц улавливаемых на 100 % $d_o = 265,3$ мк. В этом случае частицы с размером больше номинального улавливаются на 100 %. Это фракции № 5–10. Самая мелкая фракция $d_{o1} = 100$ мк улавливается на 32,8 %.

Таблица 2

Повфракционные размеры частиц $d(i)$ в нефтешламе, их плотность распределения в исходной суспензии $C(i)$, локальная степень улавливания частиц $x(i)$ каждой фракции и локальная доля уловленных частиц $Sy(i)$ по фракциям

№ фракции	Размер частиц, мк	Плотность распределения частиц	Локальная степень улавливания частиц	Локальная доля уловленных частиц в осадке
1	100	0,018	0,328	0,006
2	150	0,074	0,516	0,038
3	200	0,129	0,703	0,090
4	250	0,165	0,922	0,153
5	300	0,184	1	0,184
6	350	0,158	1	0,158
7	400	0,121	1	0,121
8	450	0,085	1	0,085
9	500	0,051	1	0,051
10	550	0,015	1	0,015

Интересно проанализировать влияние скорости вращения ротора ω и радиуса свободной поверхности нефтешлама r_s в роторе на общую степень очистки. Графики этих зависимостей представлены на рис. 2 и 3.

Как видно из этих рисунков, центробежная сила, возникающая с ростом скорости враще-

ния и фактора разделения, оказывает большее влияние на общую степень очистки, чем уменьшение толщины слоя суспензии (рост r_s). Даже при толщине слоя суспензии в 5 мм общая степень очистки η не достигает 90 %, а необходимую степень очистки $\eta = 0,9$ можно достичь при скорости вращения ротора $\omega = 194$ рад/с.

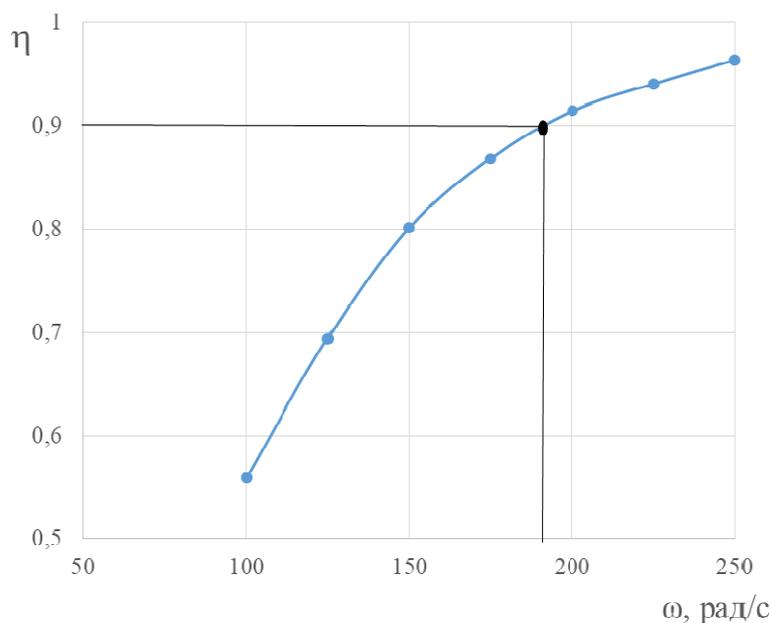


Рис. 2. Зависимость общей степени очистки нефтешлама от скорости вращения ротора

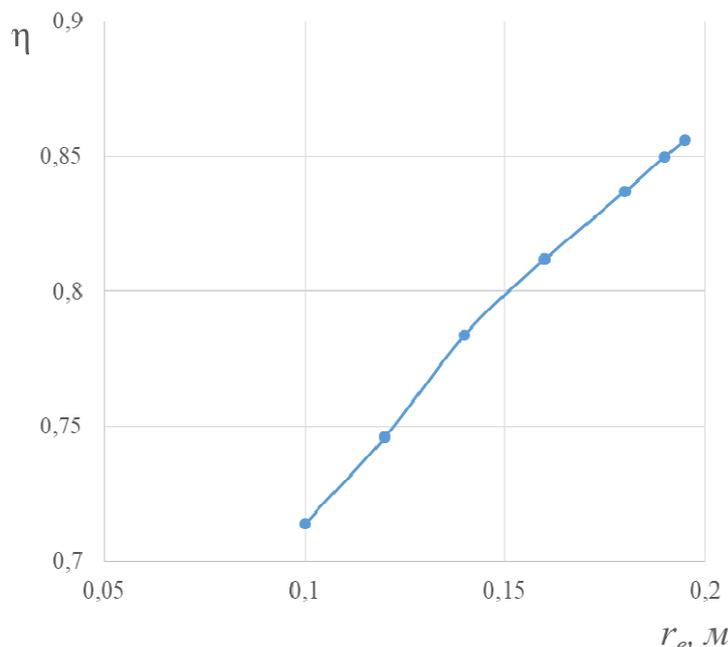


Рис. 3. Зависимость общей степени очистки нефтешлама от радиуса его свободной поверхности в роторе

Таким образом, предложенный алгоритм расчета отстойной центрифуги позволяет, варьируя скорость вращения ротора и толщину суспензии на стенке ротора, обеспечить необходимую степень очистки нефтешлама от частиц дисперсной фазы и оценить пофракционную долю улавливаемых частиц с учетом фактора разделения и стесненного центробежного осаждения частиц на стенку ротора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтетехимии : учеб. для вузов / А. И. Скобло [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недрабизнесцентр, 2000. – 677 с.
2. Тимонин, А. С. Машины и аппараты химических производств : учеб. для вузов / А. С. Тимонин [и др.] ; под общ. ред. А. С. Тимонина. – Калуга : Ноосфера, 2014. – 856 с.
3. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты

химической технологии : учеб. для вузов. – 10-е изд., стер., дораб. Перепечатано с изд.1973 г. – М. : Альянс, 2004. – 753 с.

4. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Ю. И. Дытнерский [и др.] ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1991. – 496 с.

5. Басарыгин, М. Ю. Результаты математического моделирования процесса очистки эмульгированного газового конденсата от осадков методом осадительного центрифугирования, Гипотезы, поиск, прогнозы / Сб. научн. трудов СКО РИА. Вып. № 14. Краснодар, 2002.

6. Овчинников, Д. Фильтрующие центрифуги / Д. Овчинников, А. Фоминых, А. Шарипов. Издательство «LAP Lambert Academic Publishing», 2013. – 132 с.

7. Голованчиков, А. Б. Очистка высоковязких жидкостей в каскаде гидроциклонов / А. Б. Голованчиков, Г. И. Первакова, И. С. Бацокин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного ун-та. Серия: Строительство и архитектура. – 2011. – № 21. – С. 135–140.

УДК 628.35

А. Б. Голованчиков, М. И. Ламскова, М. И. Филимонов, А. Е. Новиков

ВЕРОЯТНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ В НАПОРНОМ ГИДРОЦИКЛОНЕ ПРИ ДВУХСЛОЙНОМ ТЕЧЕНИИ ПОТОКА

Волгоградский государственный технический университет
pahp@vstu.ru

Представлено математическое описание процесса разделения неньютоновской жидкости в гидроциклоне с организацией двухслойного течения. Установлено, что регулируя соотношение расходов исходной суспензии и фугата в рецикле (при постоянном общем расходе) путем изменения положения заслонки на входном патрубке гидроциклона, можно варьировать степень очистки от минимальной для однослойного течения потока в гидроциклоне до требуемой при двухслойном течении.

Ключевые слова: гидроциклон, фракционный состав, степень улавливания, двухслойное течение.

A. B. Golovanchikov, M. I. Lamskova, M. I. Filimonov, A. E. Novikov
**THE PROBABILITY OF SEPARATION PARTICLES
 IN A PRESSURE HYDROCYCLONE IN TWO-LAYER CURRENT**

Volgograd State Technical University

It is presented the mathematical description of the separation process a non-Newtonian fluid (slime) in the hydrocyclone with the organization of a two-layer flow. It is found that adjusting the ratio of the costs of initial suspension and discharge in recycling (at a constant total flow rate) by changing the position of the flap at the inlet of the hydrocyclone, is possible to vary the degree of purification from minimal single-layer flow in a hydrocyclone to the desired when a two-layer flow.

Keywords: hydrocyclone, oil sludge, fractional composition, degree of capture, two-layer flow.

Рассмотрим напорное течение вязкой жидкости в гидроциклоне. Схема рассматриваемого течения представлена на рис. 1 [1].

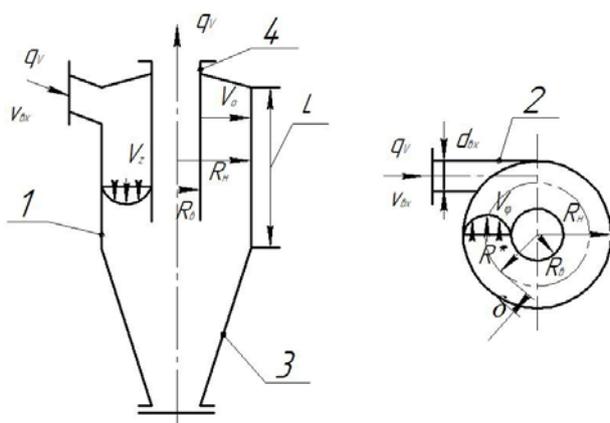


Рис. 1. Схема гидроциклона с эпюрами скоростей вращательного течения V_ϕ и осевого течения V_z

Жидкость в цилиндрический корпус 1 высотой L подается тангенциально с расходом q_v по патрубку 2, установленному под углом к горизонту. Жидкость участвует во вращательном движении со скоростью V_ϕ и осевом течении V_z , опускаясь в коническую часть 3 циклона, и выходит в трубу 4. Если в жидкости находятся частицы или капельки дисперсной фазы, плотность которых больше плотности жидкости ($\rho_q > \rho$), то центробежной силой они отбрасываются к боковой стенке цилиндрического корпуса 1 и, опускаясь по этой стенке, накапливаются в нижней части корпуса 3.

Полагаем течение в рабочей части гидроциклона в зоне цилиндрического корпуса 1 ламинарным и установившимся. В силу симметрии течения частные производные компонентов скоростей по ϕ равны нулю.

При напорном течении $V_z = 0$, $V_\phi = V_\phi(r)$ и $V_z = V_z(r)$.

Тогда частные производные скоростей $\frac{\partial V_\phi}{\partial z}$ и $\frac{\partial V_z}{\partial z}$ равны нулю, а компоненты тензора

деформаций [1] после принятых допущений для цилиндрической системы координат будут иметь вид [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{r\phi} = r \frac{d}{dr} \left(\frac{V_\phi}{r} \right) \\ \Delta_{\phi z} = 0 \\ \Delta_{rz} = \frac{dV_z}{dr} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

а реологические уравнения для ньютоновской жидкости с вязкостью μ приобретают вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{r\phi} = -\mu \left(\frac{dV_\phi}{dr} - \frac{V_\phi}{r} \right) \\ \tau_{rz} = -\mu \frac{dV_z}{dr} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где $R_b \leq r \leq R_n$

С учетом сделанных допущений и анализа компонентов тензора деформаций (1), уравнения движения в цилиндрической системе координат запишутся в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} -\rho \frac{V_\phi^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r}; \\ -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\phi}) \right] = 0; \\ -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (r \tau_{rz}) + \rho g Z = 0. \end{array} \right\}. \quad (3)$$

В силу симметрии можно считать

$$-\frac{\partial p}{\partial \phi} = \Delta p_\phi = \text{const},$$

то есть градиент давления при вращении является постоянным по углу вращения, причем Δp_ϕ – величина отрицательная.

Тогда из второго уравнения системы (3) получаем

$$\tau_{r\phi} = -\frac{\Delta p_\phi}{2} + \frac{c}{r^2}. \quad (4)$$

Так как при вращении угловая скорость ω и окружная скорость связаны выражением $V_\phi = \omega r$,

то первое уравнение системы (2) приобретает вид:

$$\tau_{r\varphi} = -\mu r \frac{d\omega}{dr}, \quad (5)$$

где $R_b \leq r \leq R_n$.

Решая совместно уравнения (4) и (5) относительно ω , после интегрирования получаем

$$\omega = \frac{\Delta p}{2\mu} \ln r + \frac{c}{2\mu r^2} + a.$$

Постоянные интегрирования c и a находим из граничных условий прилипания $\omega_0 = 0$ при $r = R_b$ и $r = R_n$. Тогда последнее уравнение приобретает вид:

$$\omega = \frac{\Delta p_\varphi}{2\mu} \left[\ln\left(\frac{r}{R_n}\right) + \frac{\ln\left(\frac{R_n}{R_b}\right)}{\left(\frac{1}{R_b^2} - \frac{1}{R_n^2}\right)} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_n^2}\right) \right] \quad (6)$$

Окружная скорость V_φ запишется в виде:

$$V_\varphi = \frac{\Delta p_\varphi}{2\mu} \left[\ln\left(\frac{r}{R_n}\right) + \frac{\ln\left(\frac{R_n}{R_b}\right)}{\left(\frac{1}{R_b^2} - \frac{1}{R_n^2}\right)} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_n^2}\right) \right] \cdot r. \quad (7)$$

Из уравнения неразрывности

$$q_v = l \int_{R_b}^{R_n} r V_\varphi dr,$$

где l – длина зоны вращения (шаг винтовой траектории). С учетом формулы (7) и выражения для средней скорости

$$V_\varphi = \frac{q_v}{l(R_n - R_b)}$$

получаем уравнение для средней скорости окружного течения

$$V_\varphi = \frac{\frac{\Delta p_\varphi}{2\mu} \left[\frac{\left[\ln\left(\frac{R_n}{R_b}\right) \right]^2}{\left(\frac{1}{R_b}\right)^2 - \left(\frac{1}{R_n}\right)^2} - \frac{(R_n^2 - R_b^2)^2}{4} \right]}{(R_n - R_b)}.$$

Тогда уравнение (7) принимает вид:

$$V_\varphi = V_{\varphi c} \left[\ln\left(\frac{r}{R_n}\right) + \frac{\ln\left(\frac{R_n}{R_b}\right) \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_n^2}\right)}{\left(\frac{1}{R_b}\right)^2 - \left(\frac{1}{R_n}\right)^2} \right] r A, \quad (8)$$

где постоянная A :

$$A = \frac{(R_n - R_b)}{\left[\frac{\left[\ln\left(\frac{R_n}{R_b}\right) \right]^2}{\left(\frac{1}{R_b}\right)^2 - \left(\frac{1}{R_n}\right)^2} - \frac{(R_n^2 - R_b^2)}{4} \right]}.$$

Аналогичные математические выкладки для профиля скорости V_z в кольцевом сечении между цилиндрами приведены в монографии [3]:

$$V_z = 2V_{zc} \left[1 - \left(\frac{r}{R_n}\right)^2 + \frac{\left[1 - \left(\frac{R_b}{R_n}\right)^2 \right]}{\ln\left(\frac{R_n}{R_b}\right)} \ln\left(\frac{r}{R_n}\right) \right] \cdot B, \quad (9)$$

где постоянная

$$B = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{R_n}{R_b}\right)^2 - \frac{1 - \left(\frac{R_n}{R_b}\right)^2}{\ln\left(\frac{R_n}{R_b}\right)} \right]}$$

и

$$V_{zc} = \frac{q_v}{\pi(R_n^2 - R_b^2)}.$$

В справочнике [4] приведен алгоритм расчета гидроциклона без выхода на определение локальных степеней улавливания частиц или капель дисперсной фазы и интегральной степени очистки.

Ниже предлагается метод расчета этих параметров гидроциклона.

Величина средней окружной скорости рассчитывается по формуле [4]

$$V_{\varphi c} = 3,15 V_{вх} \left(\frac{d_{вх}}{D} \right) \cdot \left(\frac{L}{D} \right)^{-0,32}, \quad (10)$$

где $D = 2R_n$; $d_{вх}$ – диаметр входного патрубка; H – высота активной зоны (рис. 1); $V_{вх}$ – средняя скорость очищаемой жидкости во входном патрубке (определяется из уравнения неразрывности).

Для ламинарного режима осаждения частиц в центробежном поле скорость их центробежного осаждения определяется по закону Стокса [3]

$$V_o = \left(\frac{V_\varphi^2}{r} \right) \frac{(\rho_q - \rho) d_q^2}{18\mu}, \quad (11)$$

где первый множитель в круглых скобках характеризует центробежное ускорение.

Приравнивая время осаждения частиц или капель в центробежном поле τ_{oc} к времени их пребывания в активной зоне τ_c гидроциклона длиной L :

$$\tau_{oc} \tau_c, \quad (12)$$

где
$$\tau_{oc} = \int_{R_b}^{R_n} \frac{dr}{V_o}$$

и
$$\tau_c = \frac{\pi(R_n^2 - R_b^2)}{q_v} L.$$

С учетом (11) определим номинальный диаметр частиц или капель, улавливаемых на 100 % даже с самой неблагоприятной траектории $r = R_b$, когда они попадают в гидроциклон вблизи трубы 4 (рис. 1), и путь их осаждения наибольший и равен зазору $\Delta = R_n - R_b$:

$$d_0 = \sqrt{\frac{36\mu}{(\rho_c - \rho)(R_n^2 - R_b^2)} l \int_{R_b}^{R_n} \frac{r dr}{V_\phi^2} \int_{R_b}^{R_n} r V_z dr}. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) позволяет определять фракции частиц или капель $d_i \geq d_0$, улавливаемых в гидроциклоне на 100 %.

Для частиц или капель меньшего размера вероятность улавливания будет меньше 1 и может быть оценена следующим образом [5].

Условие (12) для них будет выполняться на пути осаждения:

$$[\delta = (R_n - R^*)] < [\Delta = (R_n - R_b)].$$

Для каждой фиксированной траектории R^* , на которой находится частица или капля, можно рассчитать ее диаметр, обеспечивающий выполнение условия (12):

$$d_r = \sqrt{\frac{36\mu}{(\rho_c - \rho)(R_n^2 - R^{*2})} l \int_{R_b}^{R_n} \frac{r dr}{V_\phi^2} \int_{R^*}^{R_n} r V_z dr}. \quad (14)$$

Полагая, что частицы или капли любой фракции распределены по исходной суспензии или эмульсии равномерно (отсутствует градиент концентраций), то частицы или капли d_c , попавшие на траектории $R^* \leq r \leq R_n$ успевают осесть на стенку гидроциклона, а на траектории $R_b \leq r \leq R^*$ – не успевают. Тогда локальная степень улавливания частиц или капель может быть рассчитана по формуле [5]:

$$\chi = \frac{R_n - R^*}{R_n - R_b}. \quad (15)$$

На рис. 2 представлен график зависимости локальной степени улавливания частиц от их диаметра для гидроциклона ГНС-100 [4], геометрические и технологические параметры которого приведены в табл. 1, а плотность распределения исходных частиц на рис. 3 (кривая 1).

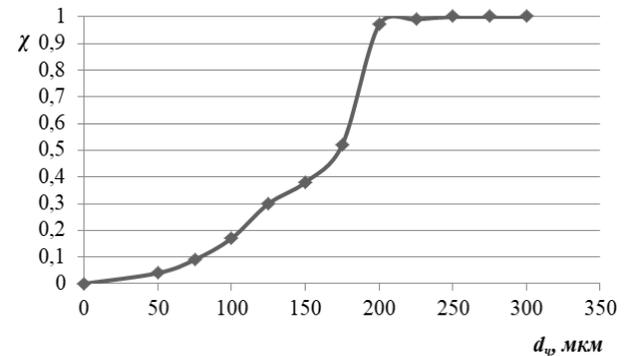


Рис. 2. График зависимости локальной степени улавливания частиц от их диаметра

На рис. 3 приведены результаты расчетов доли уловленных частиц каждой фракции, определяемые по формуле (кривая 2)

$$C_{y(i)} = C_{(i)} X_{(i)}.$$

Тогда общая степень очистки:

$$\eta = \sum_{i=1}^n C_{y(i)}.$$

Общая степень очистки не превышает 56 %. Это объясняется высокой вязкостью нефтешлама и его ламинарным течением. Для ее увеличения можно поставить выбранные гидроциклоны в каскаде.

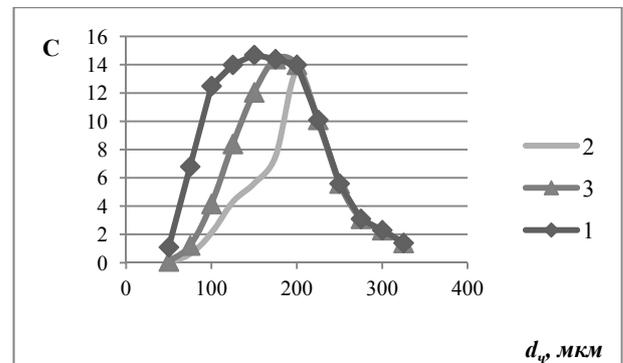


Рис. 3. Плотность распределения частиц в исходной суспензии нефтешлама (кривая 1), доля уловленных частиц по фракциям (кривая 2) (заштрихована общая степень очистки в одном гидроциклоне), доля уловленных частиц в гидроциклоне с двухслойным течением (кривая 3) ($q_r = 2,76 \text{ м}^3/\text{ч}$; $R_r = 0,035 \text{ м}$, $d_r = 171 \text{ мкм}$)

Таблица 1

**Исходные и справочные данные и расчетные параметры гидроциклона
для улавливания частиц нефтешлама**

Наименование	Размерность	Обозначение	Величина
Исходные и справочные данные			
1. Производительность	м ³ /ч	q _v	5
2. Внутренний радиус корпуса гидроциклона	м	R _н	0,05
3. Наружный радиус трубы для очищенной жидкости	м	R _в	0,02
4. Эквивалентный диаметр входного патрубка	м	d _п	0,012
5. Длина активной зоны гидроциклона	м	L	0,9
6. Плотность сплошной фазы нефтешлама	кг/м ³	ρ	900
7. Плотность дисперсной фазы-частиц	кг/м ³	ρ _ч	2000
8. Динамическая вязкость сплошной фазы	Па·с	μ	0,4
9. Диаметр частиц по фракциям	мк	d _ч	см. рис. 3
10. Плотность распределения частиц по фракциям в нефтешламе	–	C	см. рис. 3
Расчетные параметры			
1. Среднее время пребывания очищаемой жидкости	с	τ	4,27
2. Объем активной зоны гидроциклона	м ³	V _{ак}	5,93x10–
3. Число Рейнольдса для осевого потока	–	Re _z	28,43
4. Число Рейнольдса для окружного потока	–	Re _φ	1991,8
5. Число Рейнольдса для частиц начального диаметра, осаждающихся в центробежном поле	–	Re _r	0,04
6. Начальный диаметр частиц (улавливаемых на 100 %)	мк	d ₀	235
7. Фактор разделения	–	Φ	370

В табл. 2 приведены результаты расчетов степени очистки от числа гидроциклонов в каскаде.

Таблица 2

Зависимость степени очистки от числа гидроциклонов в каскаде

Число гидроциклонов в каскаде	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Степень очистки нефтешлама	0,56	0,679	0,836	0,875	0,902	0,922	0,937	0,948	0,957
Необходимая поверхность отстойника	40,5	50,0	61,0	74,0	88,0	92,0	108,0	120,0	132,0

Как видно из табл. 2, для достижения степени очистки нефтешлама $\eta = 0,9$ необходимо установить пять гидроциклонов в каскад.

Таким образом, для повышения степени очистки высоковязких суспензий или эмульсий с ламинарным течением и Стоксовским режимом осаждения частиц в центробежном поле необходимо устанавливать стандартные гидроциклоны в каскад (по аналогии с каскадом реакторов), что обеспечивает штатный режим работы каждого гидроциклона без турбулизации жидкости и возвращения осаждаемых частиц в поток движущейся по винтовой линии жидкости.

Рассмотрим вероятность улавливания частиц

(капель) при двухслойном течении в гидроциклоне, когда на входном патрубке установлена заслонка, делящая область течения на внутреннюю, прилегающую к внутреннему патрубку корпуса с радиусом R_в, и на внешнюю, прилегающую к внешнему патрубку корпуса R_н. Конструкция двухслойного гидроциклона представлена на рис. 4, имеется патент[6].

Во внешнюю область течения подается суспензия или эмульсия с расходом q_r и движущаяся в кольцевом зазоре R_r – R_н; во внутреннюю область течения подается фугат с расходом q_ф

$$q_{\phi} = q_v - q_r.$$

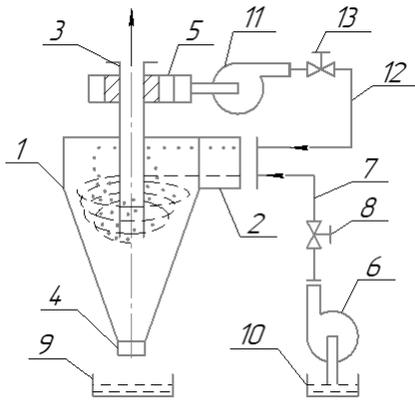


Рис. 4. Гидроциклон с двухслойным течением жидкости: 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – центральный патрубок; 4 – сливной патрубок; 5 – устройство для отбора фугата на рецикл; 6, 11 – насосы; 7 – трубопровод для подачи исходной суспензии; 8, 13 – вентили; 9 – камера для сбора шлама; 10 – камера для исходной суспензии; 12 – трубопровод для рецикла осветленной жидкости

По аналогии с выводом формулы (13), формула для расчета номинального диаметра частиц будет иметь вид:

$$d_s = \sqrt{\frac{36\mu}{(\rho_s - \rho)(R_n^2 - R_r^2)l} \int_{R_r}^{R_n} r dr \cdot \int_{R_r}^{R_n} r V_z^2 dr},$$

то есть радиус R_n заменен на R_r , соответствующий зоне течения суспензии в зазоре $(R_n - R_r)$,

а расход суспензии в этом случае определяется по уравнению:

$$q_r = 2\pi \int_{R_r}^{R_n} r V_z dr.$$

Графики зависимостей $d_r = d_r(R_r)$ и $q_r = q_r(R_r)$ представлены на номограмме (рис. 5). Исходные и справочные данные нефтешлама и гидроциклона приведены в табл. 1.

Определим локальную степень улавливания частиц в гидроциклоне, если перегородка делит входной патрубок и кольцевой поток в гидроциклоне ровно пополам, то есть $R_r = (R_n + R_b) / 2 = 0,035$ м. В этом случае расход суспензии согласно номограмме должен составлять $q_r = 2,76$ м³ / ч, расход фугата, возвращаемого на рецикл и подаваемого во внутреннюю область потока $q_p = 2,24$ м³ / ч. По номограмме определяем номинальный диаметр частиц, улавливаемых на 100 %: $d_r = 171$ мкм.

Таким образом, семь фракций исходной суспензии от шестой до двенадцатой будут улавливаться на 100 %, в отличие от обычного гидроциклона, где номинальный диаметр $d_0 = 235$ мкм, и только четыре фракции (с девятой по двенадцатую) улавливаются на 100 % (табл. 3).

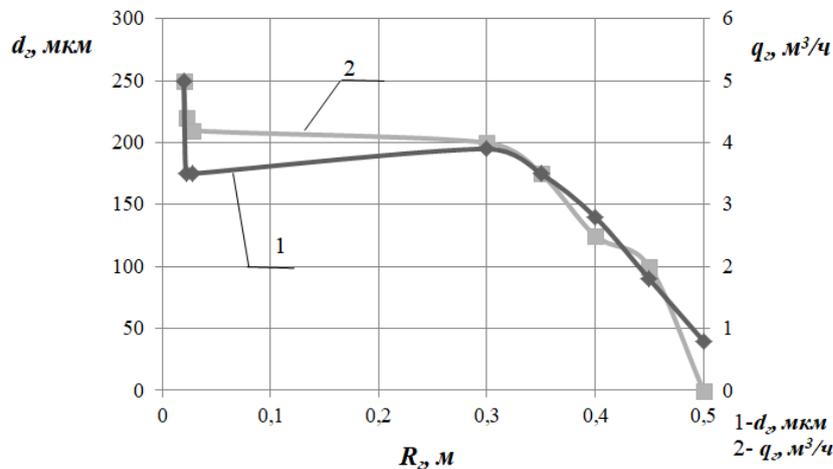


Рис. 5. Номограмма для инженерного расчета локальных и общих степеней очистки в гидроциклоне с двухслойным течением

Проведем по номограмме расчет локальной степени улавливания частиц, у которых диаметр меньше номинального, например, для $d_5 = 150$ мкм. Для этой фракции по номограмме определяем радиус траектории, с которой они бы улавливались на 100 %: $R_5 = 0,0376$ м. Тогда локальная степень улавливания составит:

$$\chi_5 = \frac{R_n - R_5}{R_n - R_r} = \frac{0,05 - 0,0376}{0,05 - 0,035} = \frac{0,0124}{0,015} = 0,82.$$

Аналогично для других фракций:

$$\chi_4 = \frac{0,05 - 0,041}{0,015} = \frac{0,009}{0,015} = 0,6.$$

$$\chi_3 = \frac{0,05 - 0,045}{0,015} = \frac{0,005}{0,015} = 0,333.$$

$$\chi_2 = \frac{0,05 - 0,0473}{0,015} = \frac{0,0027}{0,015} = 0,18.$$

$$\chi_1 = \frac{0,05 - 0,0488}{0,015} = \frac{0,0012}{0,015} = 0,08.$$

В табл. 3 приведены результаты сравнительных расчетов обычного гидроциклона и гидроциклона с двухслойным течением при $R_r = 0,035\text{м}$; $q_r = 2,76 \text{ м}^3 / \text{ч}$ и $d_r = 171\text{мм}$. Как видно из этой таблицы, уменьшение расхода с 5 до $2,76 \text{ м}^3 / \text{ч}$ повышает степень очистки в 1,3 раза (с 56 до 73,4 %). Для наглядности

графики локальных степеней улавливания по фракциям представлены на рис. 3 (кривые 2 и 3). Площади под этими графиками характеризуют долю уловленных частиц, площадь под кривой 1 характеризует распределение частиц исходной суспензии по фракциям.

Таблица 3

Сравнение локальных и общих степеней улавливания частиц в гидроциклоне и гидроциклоне с двухслойным течением

№ фракции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ, %
Диаметр частиц, мк	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	
Доля частиц каждой фракции в исходной суспензии, %	1,1	6,8	12,5	14	14,7	14,4	14	10,1	5,6	3,1	2,3	1,4	100
Локальная степень улавливания частиц в обычном гидроциклоне	0,04	0,09	0,166	0,3	0,38	0,52	0,967	0,975	1	1	1	1	
Доля уловленных частиц каждой фракции в обычном гидроциклоне	0,042	0,61	2,1	4,3	5,6	7,5	13,6	9,9	5,6	3,1	2,3	1,4	56
Локальная степень улавливания частиц в гидроциклоне с двухслойным течением $R_r = 0,035 \text{ м}$, $q_r = 2,76 \text{ м}^3/\text{час}$	0,08	0,18	0,333	0,6	0,82	1	1	1	1	1	1	1	
Доля уловленных частиц каждой фракции в гидроциклоне с двухслойным течением	0,088	1,224	4,16	8,4	12,05	14,4	14	10,1	5,6	3,1	2,3	1,4	73,44

Таким образом, регулируя расход потоков исходной суспензии и фугата в рецикле (при постоянном общем расходе q_v) путем изменения положения заслонки на входном патрубке, можно варьировать степень очистки от минимальной в обычном гидроциклоне до требуемой в гидроциклоне с двухслойным течением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голованчиков, А. Б. Вероятность улавливания частиц в напорном гидроциклоне / Голованчиков А. Б., Первакова Г. И., Бацокин И. С. // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники

и информатики в технических системах». Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 3. – С. 5–9.
 2. Мидман, С. Течение полимеров / С. Мидман. – М.: Мир, 1971. – 259 с.
 3. Романков, П. Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1974. – 288 с.
 4. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2 / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 884 с.
 5. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии. Ч. 2. Моделирование гидромеханических процессов : учеб. пособие / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов. – Волгоград : Царицын, 1995. – 121 с.
 6. П. м. 167820 РФ, МПК В 04 С 5/12. Гидроциклон / Ламскова М.И., Голованчиков А.Б., Новиков А.Е., Филимонов М.И.; ГОУ ВПО ВолгГТУ. – 2016.

УДК 66.048.3.069.833

*А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко***МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА
С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ В РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЕ****Волгоградский государственный технический университет**

pahp@vstu.ru

Аналитически выведены уравнения рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей частей ректификационной колонны с учетом продольной диффузии, которые при числе Пекле продольной диффузии $Pe \rightarrow \infty$ или коэффициенте продольной диффузии $De \rightarrow 0$ переходят в известные уравнения рабочих линий для структур потоков идеального вытеснения по обеим фазам.

Ключевые слова: продольная диффузия, число Пекле, уравнения рабочих линий, ректификация, структура потока, продольное перемешивание, идеальное вытеснение, скачок концентраций на входе.

*A. B. Golovanchikov, N. A. Prokhorenko***MODELING OF THE MATERIAL BALANCE WITH THE ACCOUNT
OF LONGITUDINAL DIFFUSION IN THE RECTIFICATION COLUMN****Volgograd State Technical University**

The equations of the working lines of the reinforcing and exhaustive parts of the distillation column are analytically derived, taking into account the longitudinal diffusion, which, when the longitudinal longitudinal diffusion number or the longitudinal diffusion coefficient, is transformed into the known equations of the working lines for the flow patterns of ideal displacement in both phases.

Keywords: longitudinal diffusion, Peclet number, working line equations, rectification, flow structure, longitudinal mixing, ideal displacement.

Известные типовые модели структуры потоков в насадных ректификационных колоннах основаны на идеальном вытеснении обеих фаз по всей высоте колонны [1–2]. Соответственно этой физической модели выведены на основании материального баланса аналитические уравнения рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей частей колонны, представляющие собой линейные зависимости связи концентраций легколетучего компонента в паровой и жидкой фазах, которые являются основой для расчетов минимального флегмового числа, числа теоретических тарелок, оптимального флегмового числа и геометрических размеров насадочных и тарельчатых ректификационных колонн.

Нивелировать эти отклонения реальной структуры потоков от идеального вытеснения можно учетом КПД тарелки, кинетическими кривыми, учитывающими степень использования локальной движущей силы, эмпирическими зависимостями, связанными с высотой теоретической тарелки (ВЭТТ) или высотой единицы переноса насадки (ВЕП) [2].

Целью статьи является аналитический вывод на основании материального баланса уравнений рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей частей ректификационной колонны, учитывающих продольную диффузию паровой и жидкой фаз, и анализ этих уравнений на минимальное

флегмовое число, число теоретических тарелок, оптимальное флегмовое число и геометрические размеры ректификационной колонны.

Выведем уравнение рабочей линии для исчерпывающей части колонны с учетом продольной диффузии в паровой фазе.

Выделяем снизу колонны на расстоянии z от опорной решетки насадки (где пар входит в насадку) сечение $I-I$ (рис. 1).

Для упрощения записи полагаем, что расходы соответственно исходной смеси G_F , флегмы

G_ϕ и дистиллята G_d $\left[\frac{\text{кмоль}}{c} \right]$.

$$(G_F + G_\phi) \cdot x + (G_\phi + G_d) \cdot y_0 + \frac{V_{D_0} \cdot S \cdot \rho_d}{M_d} = \\ = (G_F + G_\phi) \cdot x_K + (G_\phi + G_d) \cdot y + \frac{V_D \cdot S \cdot \rho_d}{M_d}.$$

Здесь в левой части материального баланса приход легколетучего компонента в выделенном объеме между сечениями $O-O$ и $I-I$, в правой – его расход. Скорость продольной диффузии по паровой фазе можно записать в виде модифицированного закона Фика [3–4]

$$V_D = -De \cdot \frac{dy}{dz}, \quad (1)$$

где De – коэффициент продольной диффузии по паровой фазе.

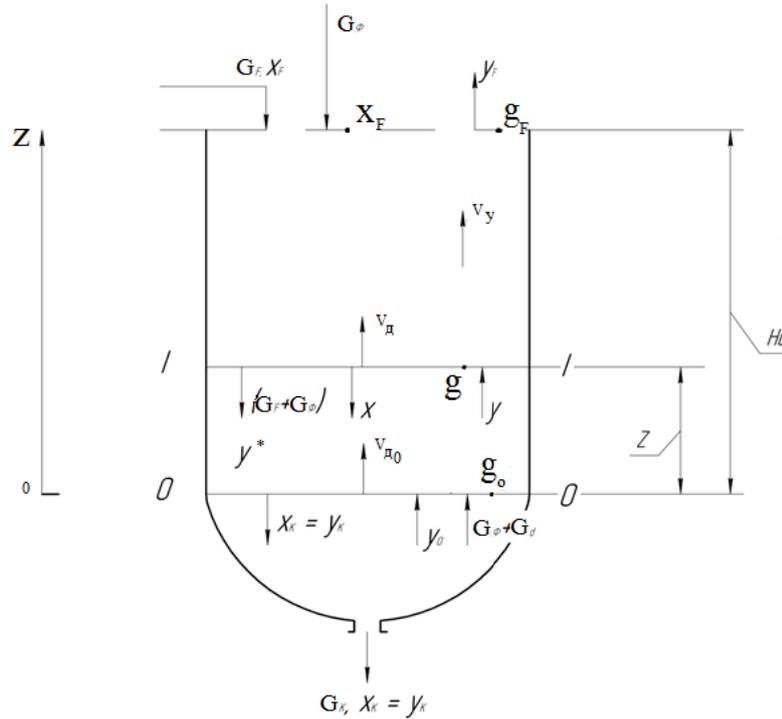


Рис. 1. Схема ректификации в исчерпывающей части колонны с материальными потоками и концентрациями легколетучего компонента в паровой и жидкой фазах с учетом продольной диффузии по паровой фазе

Тогда связь y и x может быть представлена после алгебраических преобразований уравнением:

$$y = y_0 + \left[\frac{(G_F + G_\phi)}{(G_\phi + G_d)} \right] \cdot (x - x_K) - \frac{S \cdot \rho_\delta \cdot \left[\left(\frac{dy}{dz} \right)_0 - \left(\frac{dy}{dz} \right) \right] \cdot De}{M_\delta \cdot (G_\phi + G_d)}$$

Разделим выражение в квадратных скобках второго слагаемого на G_d и имея в виду для третьего слагаемого уравнение неразрывности, из которого следует выражение для фиктивной скорости пара:

$$V_y = \frac{(G_\phi + G_d) \cdot M_\delta}{\rho_\delta \cdot S},$$

а также переходя к безразмерной координате по высоте $h = \frac{z}{H}$, получаем:

$$y = y_0 + \left(\frac{F + R}{R + 1} \right) \cdot (x - x_K) - \frac{[g_0 - g]}{Pe},$$

где $g = \frac{dy}{dx}$ и $g_0 = \left(\frac{dy}{dz} \right)_{z=0}$, $Pe = \frac{V_y \cdot H}{De}$ – число

Пекле по паровой фазе.

При $h = 1$, то есть при $z = Hu$ на входе исходного раствора в исчерпывающую часть колонны $x = x_F, y = y_F, g = g_F$:

$$y_F = y_0 + \left(\frac{F + R}{R + 1} \right) \cdot (x_F - x_K) - \frac{(g_0 - g_F)}{Pe}.$$

Из известного граничного условия на входе для диффузионной модели следует [5–8]:

$$h = 0 \quad y_K = y_0 - \frac{g_0}{Pe}. \quad (2)$$

Тогда, подставляя значение y_0 в уравнение материального баланса, получаем:

$$y_F = y_K + \left(\frac{F + R}{R + 1} \right) \cdot (x_F - x_K) + \frac{g_F}{Pe}.$$

Но из материального баланса всей исчерпывающей части колонны:

$$(R + 1) \cdot (y_F - y_K) = (F + R) \cdot (x_F - x_K),$$

то есть градиент $g_F = \left(\frac{dy}{dh} \right)_{h=1} = 0$.

Окончательное уравнение рабочей линии исчерпывающей части насадочной ректификационной колонны с учетом продольной диффузии по паровой фазе принимает вид:

$$y = y_K + \left(\frac{F + R}{R + 1} \right) \cdot (x - x_K) + \frac{g}{Pe} \quad (3)$$

с граничными условиями:

$$h = 0, \quad y_0 = y_K + \frac{g_0}{Pe}; \quad (4)$$

$$h = 1, \quad g_F = 0,$$

Как видно, уравнение (3) в общем случае является нелинейным и переходит в типовое линейное уравнение рабочей линии исчерпывающей части ректификационной колонны, соответствующее идеальному вытеснению по обеим фазам, при $Pe \rightarrow \infty$ или $De \rightarrow \infty$.

Аналогично выводятся уравнения рабочей

линии по паровой фазе для укрепляющей части колонны (рис. 2).

В этом случае уравнение рабочей линии укрепляющей части ректификационной колонны с продольной диффузией по пару приобретает вид:

$$y = y_F + \frac{R}{R+1} \cdot (x - x_F) + \frac{1}{Pe} \cdot g \quad (5)$$

с граничными условиями:

$$h = 0, \quad y_F = y_H - \frac{1}{Pe} \cdot g_H; \quad (6)$$

$$h = 1, \quad g_d = 0,$$

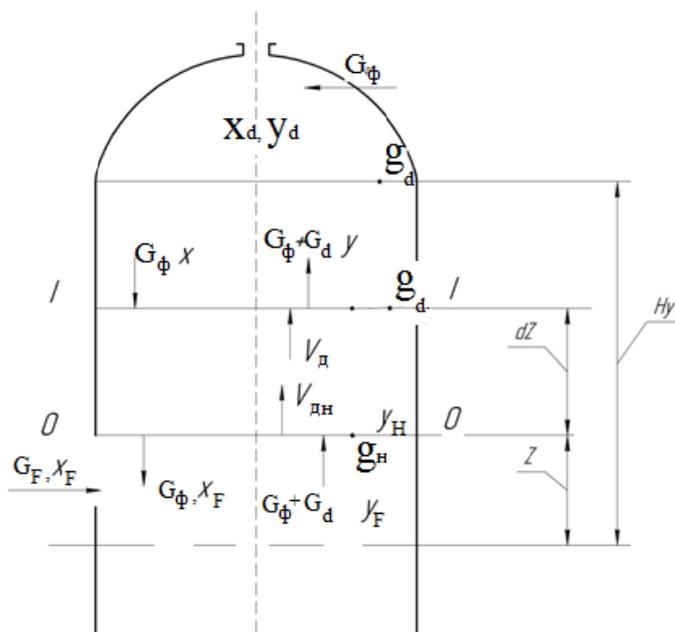


Рис. 2. Схема ректификации в укрепляющей части колонны с материальными потоками и концентрациям легколетучего компонента в паровой и жидкой фазах с учетом продольной диффузии по паровой фазе

На рис. 3 представлены графики уравнений рабочих линий для исчерпывающей и укрепляющей частей ректификационной колонны: типовые 2а и 2б, не учитывающие продольную диффузию, то есть соответствующих идеальному вытеснению по обеим фазам при $Pe \rightarrow \infty$ или $De \rightarrow 0$, и 3а и 3б, учитывающие продольную диффузию по паровой фазе и соответствующие выше выведенным уравнениям рабочей линии для исчерпывающей части колонны (3) с граничными условиями (4) и для укрепляющей части колонны с уравнением рабочей линии (5) с граничными условиями (6).

Из графиков уравнений рабочих линий (3) и (5) видно, что продольная диффузия, во-первых, приводит к скачку концентраций на входе пара в исчерпывающую и укрепляющую части колонны, то есть $y_0 > y_K$, а $y_H > y_F$ (рис. 3),

а, во-вторых, сами рабочие линии не прямые, а описываются выпуклыми кривыми. Оба отли-

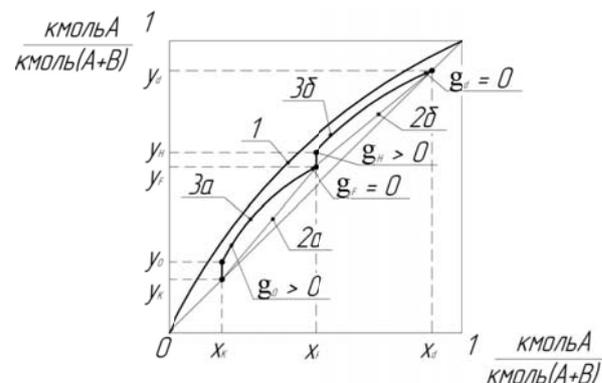


Рис. 3. Равновесная (1) и рабочие линии: типовые без учета продольной диффузии для исчерпывающей (2а) и укрепляющей (2б) частей колонны; с учетом продольной диффузии для паровой фазы для исчерпывающей (3а) и укрепляющей (3б) частей колонны

чия могут значительно уменьшать локальные и средние движущие силы, что приводит к увеличению числа теоретических тарелок, числа единиц переноса, минимального и оптимального флегмовых чисел, а с ними диаметров и высоты каждой части колонны.

Аналогичные математические выкладки проведены авторами для колонны с учетом продольной диффузии по жидкой фазе в статье [3–4].

В общем случае, когда продольная диффузия имеет место и по паровой и по жидкой фазам, получаем уравнения рабочих линий, учитывая соответствующие градиенты концентраций и числа Пекле продольной диффузии по обеим фазам в обеих частях колонны.

Для исчерпывающей части:

$$y = y_k + \left(\frac{F + R}{R + 1} \right) \cdot (x - x_k) - \frac{F + R}{R + 1} \cdot \left(\frac{g}{Pe_x} \right) + \left(\frac{g}{Pe_y} \right). \quad (7)$$

Для укрепляющей части колонны:

$$y = \left(\frac{x_d + R \cdot x}{R + 1} \right) - \frac{R}{R + 1} \cdot \left(\frac{g}{Pe_x} \right) + \left(\frac{g}{Pe_y} \right). \quad (8)$$

Графики уравнений рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей частей колонны с учетом продольной диффузии по обеим фазам представлены на рис. 4 (линии 3а и 3б).

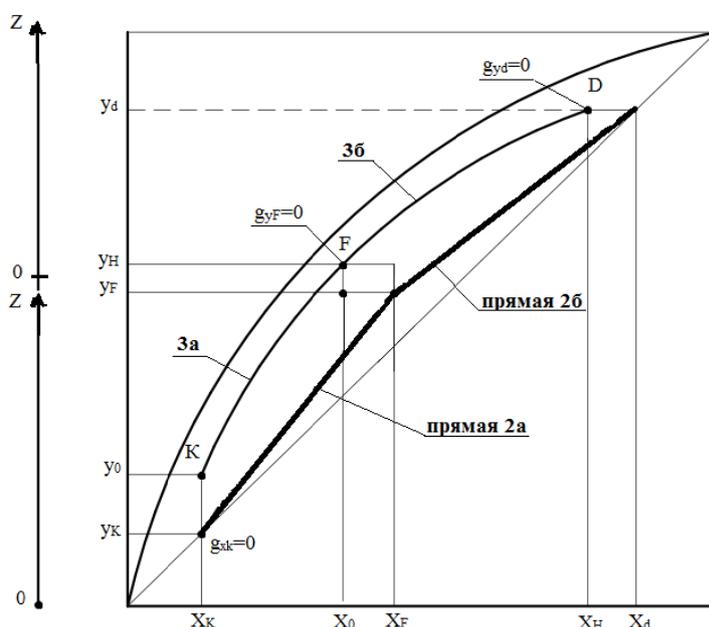


Рис. 4. Равновесная (1) и рабочие линии: типовые без учета продольной диффузии для исчерпывающей (2а) и укрепляющей (2б) частей колонны; с учетом продольной диффузии в обеих фазах для исчерпывающей (3а) и укрепляющей (3б) частей колонны

Продольная диффузия уменьшает локальные и средние движущие силы процессов массопередачи в обеих частях ректификационной колонны за счет скачка концентраций на входе по паровой и жидкой фазам, а также приводит к переходу от линейных уравнений рабочих линий к нелинейным. При критических значениях чисел Пекле по паровой Pe_x фазам точки К, F и D рабочих линий (рис. 4) ложатся на равновесную линию 1, то есть рабочие линии 3а и 3б пересекают равновесную, что теоретически увеличивает высоту колонны до бесконечности. В общем случае учет продольной диффузии может потребовать увеличения флегмового числа по сравнению с типовым расче-

том и привести к увеличению диаметра и высоты обеих частей ректификационной колонны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багатуров, С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации / С.А. Багатуров ; под ред. С.А. Багатурова. – 3-е изд., перераб. – М.: Химия, 1974.
2. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии : учеб. / В.В. Кафаров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985.
3. Голованчиков, А.Б. Алгоритм расчета насадочной ректификационной колонны с учетом продольного перемешивания по жидкой фазе / А.Б. Голованчиков, Н.А. Прохоренко, В.Н. Карев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 3(182). С. 14–17.
4. Голованчиков, А.Б. Расчет дисперсии воспроизводимости в отсутствии параллельных опытов / А.Б. Голованчиков, Н.А. Прохоренко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 11(190). С. 13–16.

УДК 004.942, 004.021

А. В. Игнатьев

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО
РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ПО МЕТОДУ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА***

Волгоградский государственный технический университет
alignat@gmail.com

Выполнен обзор и дана оценка используемых и предлагаемых разными авторами алгоритмов решения динамических задач на основе традиционного метода конечных элементов (МКЭ) в перемещениях. Предложен альтернативный вариант решения динамических задач на основе МКЭ в форме классического смешанного метода. Изложен алгоритм построения динамической матрицы откликов стержневого конечного элемента и формирования системы разрешающих уравнений. Эффективность предлагаемого алгоритма проиллюстрирована на примере определения первых трех собственных частот колебаний балки прямоугольного сечения, имеющей равномерно распределенную по длине собственную массу.

Ключевые слова: метод конечных элементов в форме классического смешанного метода; динамическая задача; динамическая матрица откликов.

A. V. Ignatyev

**MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHMS FOR DYNAMIC
ANALYSIS OF STRUCTURES BY THE FINITE ELEMENT METHOD
IN THE FORM OF A CLASSICAL MIXED METHOD**

Volgograd State Technical University

The review and the evaluation of the algorithms of the Finite Element Method in displacements that are traditionally used for solving dynamic problems, and those proposed recently by different authors are carried out.

An alternative solution of dynamic problems based on the FEM in the form of a classical mixed method is proposed. The algorithm for constructing the dynamic matrix of responses of the bar finite element and the formation of a system of governing equations is outlined. The effectiveness of the proposed algorithm is illustrated by the example of the computing of the first three natural frequencies of a beam of a rectangular cross section that has a uniformly distributed mass along its length.

Keywords: Finite Element Method in the form of a classical mixed method; dynamic problem; dynamic response matrix.

В настоящее время наиболее используемым методом исследования динамики конструкций и сооружений является МКЭ в перемещениях.

Для формирования матрицы масс конечного элемента при динамическом расчете по МКЭ используются различные подходы [7, 10, 12, 13, 14], приводящие к согласованной или диагональной матрице.

В работах [6, 8 и др.] отмечается, что применение для упрощения расчетов стержневых систем диагональной матрицы масс требует для достижения приемлемого уровня точности увеличения числа конечных элементов в системе.

В большинстве случаев применение диагональной матрицы масс даст заниженные по отношению к точным решениям результаты, а согласованных матриц – к завышенным результатам. Упрощение построения матрицы масс связано также и с тем, что влиянием инерции вра-

жения распределенных по длине конечного элемента – стержня масс обычно пренебрегают из-за его малости.

При использовании тех же аппроксимирующих функций в динамических задачах, что и в статических, удастся построить достаточно простой и эффективный алгоритм численного решения динамических задач.

Понятие «динамическая матрица жесткости», как отмечается в [8], было введено в работе [15].

Традиционно в литературе по МКЭ под динамической матрицей жесткости понимается матрица жесткости КЭ, объединенная с матрицей масс:

$$K_{дин} = K - \omega^2 M,$$

где ω – собственная частота колебаний или частота внешнего гармонического воздействия.

При этом не учитывается, что элементы матрицы $K_{дин}$ зависят от изменений кинематических параметров в узловых точках, то есть усилия в узловых точках конечного элемента определяются перемещениями в этих же узлах – формами собственных колебаний КЭ и соответствующими им собственными частотами.

Попытки учесть этот фактор для уточнения значений элементов матрицы $K_{дин}$ предпринимались в ряде работ [2, 4, 8, 15].

В последнее время был предложен целый ряд новых функций форм для решения задач динамики [10, 12]. Все они ориентированы на уменьшение числа степеней свободы конструкции за счет уменьшения числа конечных элементов, на которые она разбивается.

Эффективность функций форм определяется точностью описания реальных колебательных форм элементов, зависящих от частоты колебаний. При использовании точной функции формы результаты расчета получаются также точными, то есть погрешность в определении, например, собственных частот будет зависеть только от используемых численных методов решения частотного уравнения. В математическом плане – от методов решения алгебраической проблемы собственных значений и собственных векторов, к которой сводятся как задачи определения собственных частот колебаний, так и задачи устойчивости конструкций.

Сравнительный анализ использования точных функций форм и по МКЭ со статическими функциями форм выполнен для задач устойчивости в работах [4, 5, 6, 9, 11].

В работе [6] утверждается без ссылки на сравнительный анализ, что такие аппроксимирующие функции форм в динамике менее эффективны, чем в статических задачах.

При выполнении динамического анализа конструкций повышение точности расчета может быть достигнуто при использовании традиционного МКЭ двумя способами: более точным описанием динамического поведения выбранной для расчета модели конечного элемента или увеличением числа конечных элементов.

С ростом номера тона свободных колебаний число конечных элементов, необходимых для получения решения с требуемой степенью точности возрастает. Трудоемкость расчета также возрастает пропорционально величине n^2 , где n – число конечных элементов.

Получение динамической матрицы масс, получаемой на основе точного интегрирования дифференциальных уравнений динамики базисного конечного элемента, дает теоретическую возможность увеличения размеров конечного элемента, то есть уменьшения числа конечных элементов и числа степеней свободы в конечно-элементной модели конструкции и снижения трудоемкости расчета.

Однако получение такой матрицы связано со значительными математическими трудностями и возрастанием трудоемкости расчета. Это объясняется тем, что частотные уравнения, получаемые при использовании динамических матриц масс, являются трансцендентными нелинейными и программ для определения их собственных чисел нет.

Практически этот вариант расчета с использованием динамической матрицы масс реализован только для плоских стержневых систем [2, 4, 6, 8, 11, 15].

Необходимо при этом заметить, что сложность алгоритмов, использующих в расчетах точные (трансцендентные) функции формы, зависящие от частоты собственных колебаний, и численная реализация этих алгоритмов делают их теоретические преимущества по точности расчета минимальными по сравнению с обычной дискретизацией по МКЭ.

Поэтому обычно используются алгоритмы, основанные на предварительном определении месторасположения в частотном спектре искомой частоты [2, 4, 8].

При нахождении частот свободных колебаний по методу конечных элементов в смешанной форме все массы в области конечного элемента должны быть приведены к его узловым точкам, то есть к местам введения связей в его основной системе.

Число степеней свободы каждой из этих приведенных узловых масс определяется типом массы. Для точечной массы m число ее степеней свободы в плоской системе координат равно двум, для объемной массы с моментами инерции вращения $I_p = \int \rho dm$, число степеней свободы равно трем.

При гармонических колебаниях по закону $y(t) = A_y \sin \theta t$ максимальное значение инерционной силы определяется выражением $F_{y,max} = m\theta^2 A_y$, а максимальный инерционный момент объемной массы – выражением $F_{y,max} = I_p \theta^2 A_y$.

Эти инерционные силы должны быть учтены при формировании матрицы откликов конечного элемента путем включения в статическую матрицу откликов основной системы КЭ на единичные воздействия инерционных сил.

Возможны несколько вариантов динамической матрицы откликов конечного элемента. Эти варианты для стержневого КЭ рассмотрены в диссертации В. В. Габовой [1].

Первый из них основан на использовании согласованной матрицы масс, построенной с учетом инерционных сил по всей области конечного элемента.

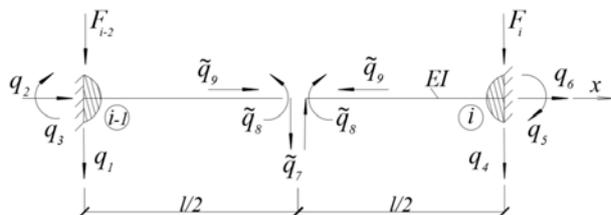


Рис. 1

Так, для стержневого КЭ (см. приведенный выше рисунок) она имеет при принятой последовательности степеней свободы в системе координат ХОУ следующий вид:

$$[M] = \rho A \begin{bmatrix} \frac{13l}{35} & \frac{11l^2}{210} & 0 & \frac{9l}{70} & -\frac{13l^2}{420} & 0 \\ & \frac{l^3}{105} & 0 & \frac{13l^2}{420} & -\frac{l^3}{140} & 0 \\ & & \frac{l}{3} & 0 & 0 & \frac{l}{6} \\ & & & \frac{13l}{35} & -\frac{11l^2}{210} & 0 \\ & & & & \frac{l^3}{105} & 0 \\ & & & & & \frac{l}{3} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Симметрично

Матрица масс (1) называется «согласованной», так как для ее вычисления используются те же функции формы (аппроксимирующие функции), что и при вычислении матрицы жесткости.

Матрица масс конечного элемента может быть получена также простым статическим способом сведения массы конечного элемента к его узлам. Такая матрица сосредоточенных масс КЭ в отличие от согласованной диагональная. Она более удобна для расчета, но и одновременно менее точно отражает динамические характеристики распределенной по области конечного элемента массы.

В соответствии со структурой матрицы масс для конечного элемента матрица инерционных воздействий имеет вид $\{F_{(ин)}\} = \omega^2 [M] \{q\}$.

Динамическую матрицу откликов представим в соответствии с этим выражением:

$$[D_{дин}] = [D_{cm}] - \lambda [M],$$

здесь $\lambda = \omega^2$, $[D_{cm}] = \begin{bmatrix} r & \tilde{r} \\ \tilde{\delta} & \delta \end{bmatrix}$ – статическая матрица откликов [9]; $[r]$ – матрица реакций во введенных кинематических связях от единичных смещений; $[\delta]$ – матрица перемещений по направлениям силовых неизвестных при их единичных значениях; $[\tilde{r}]$ – матрица реакций во введенных связях от единичных силовых неизвестных; $[\tilde{\delta}] = -[\tilde{r}]^T$ – матрица перемещений по направлениям силовых неизвестных от единичных смещений введенных кинематических связей.

При использовании динамической матрицы откликов КЭ система разрешающих уравнений для задач динамики имеет в блочно-матричной записи следующий вид:

$$[r - \lambda M] \{q\} - [\tilde{r}] \{\tilde{q}\} = 0,$$

$$[\tilde{\delta}] \{q\} + [\delta] \{\tilde{q}\} = 0.$$

Все матрицы, входящие в эти уравнения, относятся ко всей конструкции, то есть для всего ансамбля конечных элементов, представляющих ее:

$[M]$ – матрица масс всей конструкции;

$\{q\}$ – вектор амплитуд неизвестных перемещений по направлениям связей, введенных в основную систему;

$\{\tilde{q}\}$ – вектор амплитуд неизвестных усилий, заменяющих устраненные в основной системе связи.

Для оценки эффективности предлагаемого алгоритма расчета на основе динамической матрицы откликов найдем, с использованием разработанного автором программного комплекса [3], первые три собственные частоты колебаний балки прямоугольного сечения, имеющей равномерно распределенную по длине собственную массу.

Параметры балки:

$$L = 8 \text{ м}, EI = \text{const}, E = 3 \cdot 10^6 \text{ м} / \text{м}^2,$$

$$b = 0.15 \text{ м}, h = 0.15 \text{ м}, \rho = 2.75 \text{ м} / \text{м}^3.$$

Результаты расчета по КСФ МКЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Число конечных элементов								
ω	4	6	8	10	12	14	16	Точное решение
ω_1	15.831	15.815	15.812	15.811	15.811	15.811	15.8105	15.810
	0.13%	0.03%	0.01%	0.006%	0.006%	0.006%	0.00%	
ω_2	43.985	43.668	43.610	43.593	43.588	43.585	43.584	43.582
	0.92%	0.20%	0.06%	0.025%	0.013%	0.01%	0.004%	
ω_3	87.263	86.051	85.641	85.523	85.479	85.461	85.4515	85.444
	2.13%	0.71%	0.23%	0.09%	0.04%	0.02%	0.01%	

*результаты приведены в Гц.

Эта же задача решена по методу конечных элементов в перемещениях с использованием ПК Лира. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число конечных элементов								
ω	4	6	8	10	12	14	16	Точное решение
ω_1	15.26	15.44	15.52	15.58	15.6	15.62	15.64	15.810
	-3.6%	-2.4%	-1.87%	-1.48%	-1.35%	-1.22%	-1.09%	
ω_2	38.36	40.3	41.06	41.52	41.82	42.06	42.22	43.582
	-13.6%	-8.14%	-6.14%	-4.97%	-4.21%	-3.62%	-3.22%	
ω_3	67.0	73.04	75.58	77.5	78.66	79.52	80.18	85.444
	-27.5%	-16.9%	-13.1%	-10.2%	-8.62%	-7.45%	-6.56%	

*результаты приведены в Гц.

Из анализа этих таблиц следует, что для вычисления с удовлетворительной точностью первой собственной частоты балки достаточно уже представление ее ансамблем из четырех конечных элементов, второй частоты – из 8 КЭ, третьей – из 12 КЭ.

Численные расчеты, выполненные автором статьи, подтвердили высокую эффективность применения динамических матриц откликов для расчета стержневых систем с использованием алгоритма метода конечных элементов в форме классического смешанного метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Габова, В.В.* Применение смешанной формы МКЭ к расчетам стержневых систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. Волгоград, 2011.
 2. *Гриненко Н.И., Мокеев В.В.* О задачах исследования колебаний конструкций методом конечных элементов // Прикладная механика. 1985. – Т. 21, № 3. С. 12–15.

3. *Игнатъев А.В., Габова В.В.* Свид-во о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2016660344 от 13.09.2016 г. РФ, Программа расчета плоских стержневых систем по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода / ВолгГАСУ. – 2016.
 4. *Игнатъев В.А.* Редукционные методы расчета в статике и динамике пластинчатых систем. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та. – 1992. – 142 с.
 5. *Игнатъев В.А., Игнатъев А.В., Жиделев А.В.* Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики. ВолгГАСУ. Волгоград. 2006. 171 с.
 6. *Кеглин Б.Г., Цуканова Е.С.* Динамический конечный элемент в строительной механике // Строительная механика и расчет сооружений, № 4, 2015. С. 45–53.
 7. *Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С.* Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М.: Высш. школа, 1985. – 392 с.
 8. *Постнов В.А.* Динамические матрицы жесткости балочных элементов и их использование в методе конечных элементов при расчете вынужденных колебаний стержневых систем // Вестник гражданских инженеров – №1 (2) 2005. С. 42–49.
 9. *Рогов А.Н., Тихонов Е.М., Игнатъев В.А.* Приближенный расчет регулярных систем перекрестных балок с использованием собственных форм и собственных значений для стержней с равномерно распределенной массой.

Труды III научно-тех. конф. (Исследования по строительной механике). Минобороны СССР. СВВИУХЗ. Саратов. – 1975. С. 114–125.

10. *Соболев В.И., Черниговская Т.Н.* Построение прямоугольного гармонического элемента для моделирования колебаний плоской пластины // *Современные технологии. Моделирование.* № 4(16), ИГУПС, 2007. С. 28–32.

11. *Цуканова Е.С.* Совершенствование методов расчета колебаний стержневой системы на основе динамического конечного элемента : автореферат дис. на соискание уч. степени к.т.н. Брянск. 2017.

12. *Юлдашев О.И., Юлдашева М.Б.* Конечно-элементные векторные узловые базисные функции из специальных гильбертовых пространств // *JINR LIT Scientific Report 2008-2009*, JINR, Dubna, 2009. С. 105–108.

13. *Chen Y.H., Shen J.T.* Beam length dynamic stiffness // *Computational Methods of Applied Mechanics in Engineering*. 1996. Vol. 129. p. 311–318.

14. *Hallauer W.L., Liu R.Y.L.* Beam bending torsion dynamics stiffness method for calculation of exact vibration modes // *Journal of Sound and Vibration*. 1982. Vol. 85. p. 83–113.

15. *Kolousek V.* Dynamics in engineering structures. London. Butterworth. 1973.

УДК 681.5

М. В. Крамарев, Л. И. Медведева

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ СПИРТА
С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЧИСТОТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИСХОДНОЙ СМЕСИ**

**Волжский политехнический институт, филиал
Волгоградского государственного технического университета**
Murky4488@gmail.com, Lyumed@yandex.ru.

На основе изученной литературы, определены сложности, которые возникают при регулировании процесса ректификации. Рассматривается функциональная схема с одноконтурными автоматизированными системами регулирования и проводится исследование недостатков данной схемы. Для решения этих проблем выбирается схема, включающая не только одноконтурные автоматизированные системы регулирования, но и две комбинированные системы для более точного регулирования основных параметров колонны. Разработана математическая модель ректификационной колонны для создания более эффективной системы регулирования. Рассматривается система регулирования температуры верха колонны ректификационной колонны с компенсацией температуры в средней тарелке, с использованием П, ПИ, ПИД регуляторов. В качестве показателя эффективности берется среднеквадратическое отклонение. На основе выбранного критерия эффективности выбирается лучшая система из рассматриваемых.

Ключевые слова: каскадная автоматизированная система регулирования, математическая модель, интегральная оценка качества.

M. V. Kramarev, L. I. Medvedeva

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
OF PROCESS OF RECTIFICATION OF ALCOHOL TO INCREASE THE PURITY
OF SEPARATION OF THE STARTING MIXTURE**

**Volzhsky Polytechnic Institute (branch)
of Volgograd State Technical University**

Based on the literature, the difficulties that arise in regulating the process of rectification are determined. The functional scheme with single-loop automated control systems is considered and the shortcomings of this scheme are investigated. To solve these problems, a scheme is selected that includes not only single-loop automated control systems, but also 2 combined systems for more precise control of the main parameters of the column. A mathematical model of a rectification column has been developed to create a more efficient regulatory system. We consider a system for controlling the temperature of the top of a column in a distillation column with temperature compensation in the middle plate using P, PI, PID regulators. The standard deviation is used as an index of efficiency. On the basis of the chosen efficiency criterion, the best system from the considered is chosen.

Keywords: cascade automated control system, mathematical model, integral quality assessment.

Основное внимание в данной статье уделяется способу поддержания заданной температуры в отдельных зонах ректификационной колонны в зависимости от ее высоты.

Разработка математической модели и автоматизированной системы управления этим процессом является актуальной задачей, так как

ее решение способствует уменьшению себестоимости продуктов и увеличению конкурентоспособности производства.

Целью данной работы является повышение эффективности процесса ректификации бутилового спирта, за счет разработки и исследования системы автоматического регулирования.

Наибольшие сложности при регулировании массообменных процессов чаще всего возникают из-за отсутствия автоматических приборов для непрерывного контроля состава получаемых продуктов. В этих случаях регулирование состава ведется по косвенным показателям – температуре кипения смеси, ее плотности и т. п. При этом возникают дополнительные сложности, связанные с компенсацией влияния возмущающих факторов на взаимосвязь между косвенными параметрами и составом готового продукта.

Анализ научной литературы и патентов показал, что технологический процесс ректификации реализуется на следующем оборудовании: ректификационной колонне, дефлегматоре, двух теплообменниках, расположенных на

линии отвода кубового остатка и на линии подачи питающей смеси (рис. 1).

Для достижения цели процесса – разделения смеси – использование только одноконтурных систем регулирования в ректификационных колоннах является неэффективным, так как в колонне присутствует транспортное запаздывание, обусловленное ее размерами. Отсутствие компенсирующих воздействий по возмущениям со стороны питания приводит к большим динамическим ошибкам регулирования составов продуктов, так как регулятор состава (или температуры) на конце колонны получит сигнал об отклонении регулируемой координаты от заданного значения лишь после того, как изменится состав жидкости по всей высоте колонны.

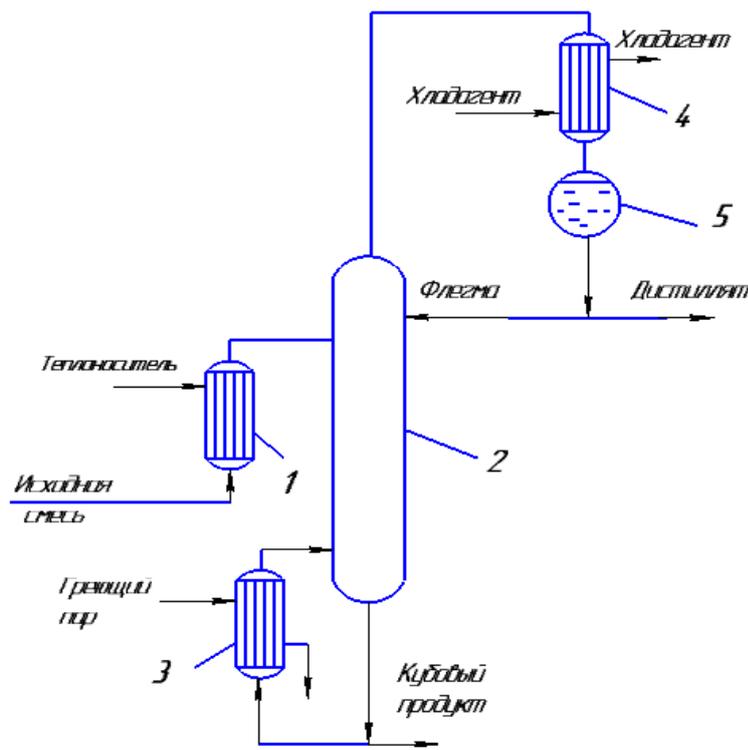


Рис. 1. Схема технологическая процесса ректификации [1]:

1 – теплообменник для нагрева исходной смеси; 2 – ректификационная колонна; 3 – кипятильник; 4 – холодильник для охлаждения пара; 5 – дефлегматор для конденсации пара

Основным регулятором, стабилизирующим состав дистиллята (при разделении бинарной смеси при постоянном давлении), является регулятор температуры верха колонны 1, воздействующий на отбор дистиллята. Функциональная схема такого регулирования изображена на рисунке 2. Регулятор температуры 2 стабилизирует температуру питания. Регуляторы уров-

ня 3 и 4 обеспечивают поддержание баланса в системе по жидкой фазе, а регулятор давления 5 – по паровой фазе. Регулятор расхода 6 стабилизирует подачу греющего пара в кипятильник. В целом эта система обеспечивает стабилизацию состава дистиллята и поддержание материального и теплового балансов в установке, но уязвима для возмущений [2].

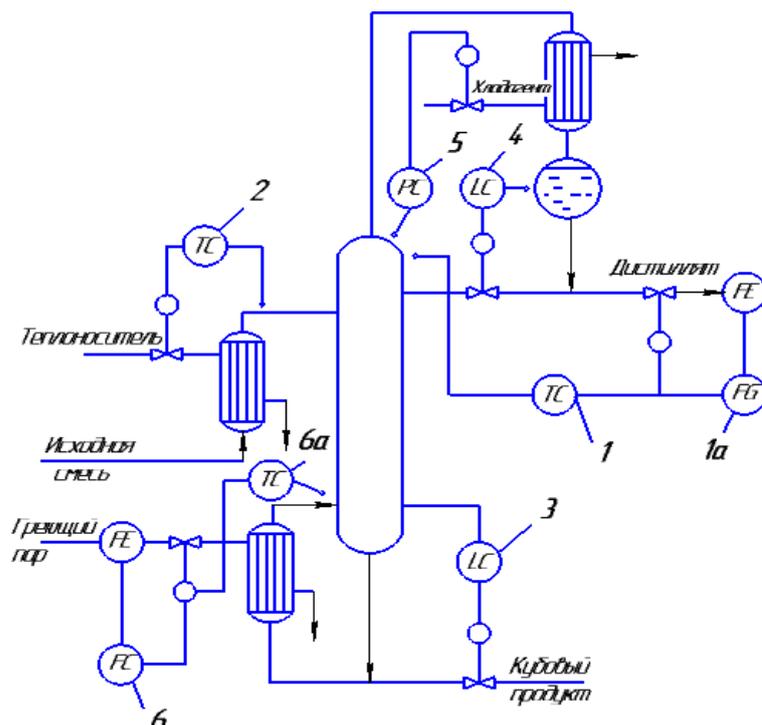


Рис. 2. Функциональная схема с использованием одноконтурных АСР отдельных технологических параметров

Следующий вариант отличается от выше рассмотренного использованием регуляторов 6 соотношения расходов греющего пара и питания (или расходов флегмы и питания), обеспечивающих минимизацию энергозатрат на разделение. Также из-за наличия транспортного запаздывания в ректификационной колонне,

для регулирования температуры продукта применяется каскадная автоматизированная система регулирования с дополнительным импульсом по производной от температуры на контрольной тарелке (регуляторы 1 и 1а), что позволяет уменьшить динамическую ошибку (рис. 3) [3].

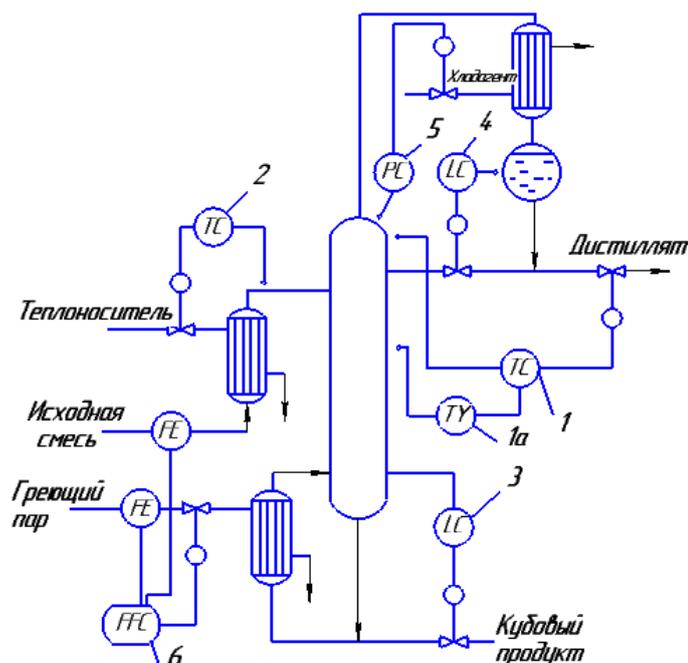


Рис. 3. Функциональная схема с использованием каскадной АСР

Одним из основных этапов разработки эффективной системы регулирования технологическим процессом является математическое моделирование объекта управления. В рассматриваемом процессе в качестве него выбирается ректификационная колонна, которая формально делится на три зоны: зону нагрузки или поступления исходной смеси, зону куба и зону верха колонны.

Согласно методике, предложенной В. Я. Ротачем [4], математическая модель верха ректификационной колонны выглядит следующим образом:

$$W(p) = \frac{1}{177.65p^3 + 72.54p^2 + 13.434p + 1} * e^{-2.42p}$$

Еще одним элементом схемы является компенсатор и его математическая модель выглядит следующим образом:

$$W_k(p) = \frac{266.435p^3 + 108.81p^2 + 20.151p + 1.5}{3375p^3 + 450p^2 + 15p + 1} * e^{-0.92p}$$

После того, как рассчитывается математическая модель верха колонны [4], рассматриваются несколько систем регулирования и среди них выбирается наиболее эффективная система регулирования температуры верха ректификационной колонны. В качестве критерия оценки эффективности системы управления

выбирается интегральная оценка качества – определенный интеграл по времени от некоторой функции управляемой величины $y(t)$, а чаще сигнала ошибки $e(t)$:

$$I_c = \int_0^{\infty} f_0[x(t), t] dt.$$

Подынтегральная функция f_0 выбирается таким образом, чтобы интеграл лучше характеризовал качество системы и проще выражался через коэффициенты передаточной функции замкнутой системы. Чтобы интеграл был сходящимся, в функцию f_0 вводят не абсолютные значения $y(t)$ или $e(t)$, а их отклонения от конечных, установившихся значений. Интегральная оценка учитывает как величину динамических отклонений, так и длительность их существования. Поэтому чем меньше оценка, тем лучше качество процесса управления [5].

Рассматривается система регулирования температуры верха колонны ректификационной колонны с компенсацией температуры в средней тарелке, с использованием П-, ПИ-, ПИД-регуляторов. Анализ показал, что наиболее эффективной среди рассмотренных систем является система с использованием ПИД-регулятора, так как она имеет наименьшее среднеквадратическое отклонение равно $I_c = 137172$ (рис. 4).

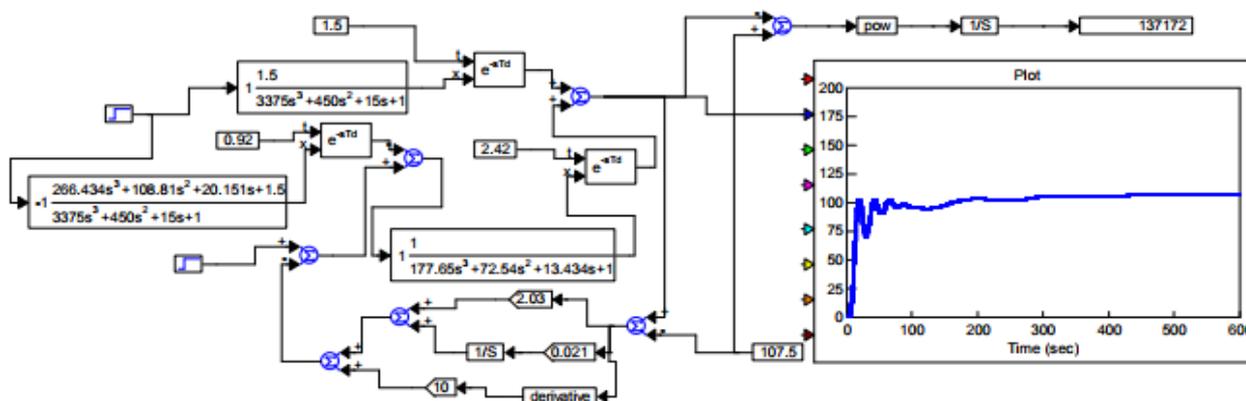


Рис. 4. Реализация в VisSim

В качестве программного средства предлагается VisSim – пакет компонентного визуального моделирования фирмы VisualSolutions, предназначенный для разработки и моделирования динамики непрерывных, дискретных и гибридных систем и является одним из наи-

более ярких представителей систем, реализующих концепцию структурного моделирования.

Визуально график зависимости критерия оценки от коэффициентов управляющего устройства представлен на рис. 5.

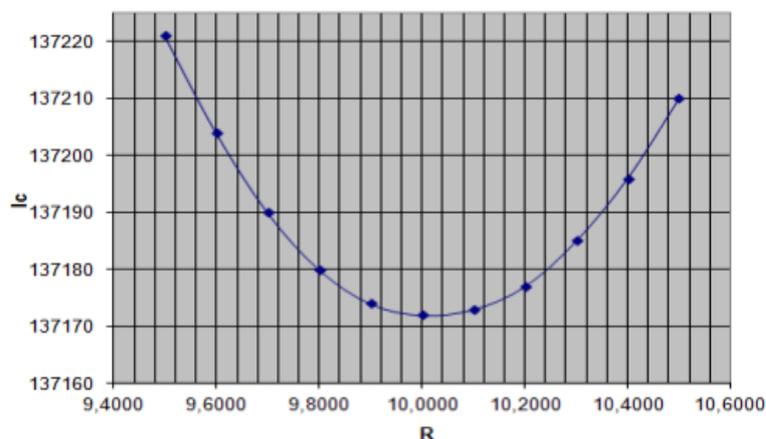


Рис. 5. График оптимального значения настроечных коэффициентов ПИД-регулятора

Таким образом, система регулирования температуры верха колонны с компенсацией температуры средней тарелки с использованием ПИД-регулятора позволяет улучшить чистоту разделения исходной смеси. Схема с ПИД-регулятором имеет показатель эффективности $I_s = 137172$, схема с ПИ-регулятором $I_s = 242762$, схема с П-регулятором $I_s = 586538$. Получается, что схема ПИД-регулятором почти в 4,5 раза эффективнее схемы с П-регулятором и почти в 2 раза схемы ПИ-регулятором. Увеличение надежности современных средств микропроцессорной техники, которые в настоящее время используются для осуществления управления технологическими процессами на отечественных предприятиях, вполне позволяет реализовывать системы управления с более сложной

структурой, чем распространенные системы с обратной связью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Медведева, Л.И., Лебедев, Л.В.* Определение математического описания внутренних взаимосвязей в ректификационной колонне // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 14 (178). С. 19–23.
2. Конспект лекций по курсу «Автоматизация технологических процессов и объектов» Раздел 15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://window.edu.ru>
3. *Беспалов, А.В.*, Системы управления химико-технологическими процессами / А.В. Беспалов, Н.И. Харитонов. – М.: Академкнига, 2007. – 690 с.
4. *Ротач, В. Я.* Теория автоматического управления. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 399 с.
5. *Сенигов, П.Н.* Теория автоматического управления : Конспект лекций. – Челябинск : ЮУрГУ, 2001 – 93 с.

УДК 004.5

Д. С. Матюшечкин, М. Б. Кульцова, А. В. Аникин

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ ПЕРЕВОДА ПИКТОГРАММНЫХ СООБЩЕНИЙ В СОГЛАСОВАННЫЕ ТЕКСТЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Волгоградский государственный технический университет

poas@vstu.ru

В данной статье описана реализация специального веб-сервиса, с помощью которого можно осуществлять перевод пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке. Также рассмотрены подходы к решению данной задачи и представлены результаты разработки методов перевода.

Разработанный веб-сервис для перевода пиктограммных сообщений в текстовые может иметь широкий спектр применения в области вспомогательной и альтернативной коммуникации для людей с ментальными и речевыми нарушениями. Также данный веб-сервис могут использовать сторонние разработчики программного обеспечения для людей с ограниченными возможностями, что позволит в их программах задействовать перевод пиктограммных сообщений.

Ключевые слова: вспомогательные компьютерные технологии, пользователи с ограниченными возможностями, система альтернативной коммуникации, пиктограмма, веб-сервис, автоматический перевод, машинное обучение, нейросети.

D. S. Matyushechkin, M. B. Kultsova, A. V. Anikin

WEB-SERVICE FOR TRANSLATION PICTOGRAMMES SAGES INTO COHERENT TEXT IN RUSSIAN

Volgograd State Technical University

This article examines the implementation of web-service providing translation of pictogram messages into text messages in Russian. Also approaches to the decision of the given task are considered and results of development of methods of translation are presented.

The developed web-service for the translation of pictogram messages into text messages can have a wide range of applications in the field of augmentative and alternative communication for people with mental and speech disorders. Also, this web service can be used by third-party software developers for people with disabilities, which will enable their programs to translate pictogram messages.

Keywords: assistive computer technologies, users with disabilities, alternative communication system, pictogram, web-service, automatic translation, machine learning, neural networks.

1. Введение

На сегодняшний день существуют различные программы и приложения, которые помогают людям с речевыми нарушениями облегчить процесс коммуникации. Как правило, в основе таких программ лежат средства альтернативной коммуникации [1], дающие возможность частично или полностью заменить вербальную речь. Большинство врачей-дефектологов и педагогов, работающих с людьми, страдающими такими заболеваниями, как аутизм, ДЦП или синдром Дауна, рекомендуют использовать как для реабилитации, так и, в некоторых случаях, для постоянного использования средства альтернативной коммуникации. На сегодняшний день, доказано, что наиболее быстрым в освоении и эффективным средством альтернативной коммуникации для людей с речевыми нарушениями являются пиктограммы [2]. Это карточки с символическими изображениями, заменяющие слова, с помощью которых можно строить фразы, выражать просьбы и задавать вопросы.

Для осуществления коммуникации с помощью пиктограмм требуются особые навыки и знания, которые люди с речевыми нарушениями получают при работе со специалистами-дефектологами. Однако даже при наличии таких навыков могут возникнуть значительные трудности при общении с теми, кто не знаком с языком пиктограмм, что может замедлить социальную адаптацию людей с проблемами речи.

Существуют различные банки пиктограмм и различные пиктограммные нотации, такие как Sclera, Beta, PECS и другие, которые отличаются цветом изображений, принципами обозначений предметов и количеством семантических единиц языка, приходящихся на одну карточку. Но среди пиктограммных нотаций общим является то, что последовательность пиктограмм

можно интерпретировать на естественном языке и что предложения на естественном языке можно представить в виде последовательности пиктограмм. Педагоги, практикующие использование пиктограмм отмечают, что в качестве пиктограмм могут быть использованы не только реальные карточки с изображениями, но и электронные средства, которые демонстрируют изображения подобно карточкам и хранят банки пиктограмм в различных нотациях [3].

Был проведен анализ различных существующих на данный момент программных средств для работы с пиктограммами, были рассмотрены такие приложения, как интернет-мессенджер «Сезам» [4], мобильное приложение «Говори молча» [5], веб-сайт «Text2Picto» [6] и некоторые другие. По результатам обзора и сравнения данных средств можно сделать вывод, что ни одно из них не предоставляет возможности переводить пиктограммные сообщения в связный текст на русском языке. Как правило, программы позволяют составлять из пиктограмм сообщения, а в качестве их перевода выводится текстовая интерпретация каждой из пиктограмм без согласования слов между собой. Последовательность текстовых интерпретаций каждой из пиктограмм в последовательности может облегчить понимание смысла сообщения, однако данный перевод не подходит для обучения людей с речевыми нарушениями чтению и восприятию вербальной речи, так как перевод является грамматически некорректным.

Главной задачей разрабатываемого веб-сервиса является осуществление перевода пиктограммных сообщений в грамматически правильные предложения, образующие на выходе связный текст.

Далее будет приведен анализ подходов к решению поставленной задачи (раздел 2), а также приведены описания и результаты реализации

перевода методом на основе шаблонов сообщений (раздел 3) и методом, в основе которого лежит машинное обучение (раздел 4).

2. Анализ методов решения задачи перевода сообщения в альтернативной системе коммуникации в текстовое сообщение на русском языке

Для определения метода решения поставленной задачи был проведен обзор существующих методов перевода сообщений в альтернативной системе коммуникации в текстовые сообщения на русском языке.

Система альтернативной коммуникации представляет собой банк пиктограмм, каждая пиктограмма которого обозначает слово на естественном языке или комплексный концепт. Для каждой пиктограммы известен перевод на русском языке. При составлении пиктограммного сообщения формируется последовательность пиктограмм, образующих предложения. Для перевода таких сообщений на русский язык требуется каждый из инфинитивных переводов

привести к грамматически правильной форме, то есть согласовать предоставленные слова в предложении.

Таким образом, задача перевода пиктограммного сообщения в текстовое сводится к формированию связного текста из набора инфинитивных форм, определяющих каждую из пиктограмм.

Для реализации данного перевода были рассмотрены различные методы автоматической генерации текста по заданным словам, а именно:

- формальные грамматики [7];
- метод на основе шаблонов [8];
- машинное обучение [9].

Каждый из представленных методов имеет свои достоинства и недостатки с точки зрения решения задачи перевода.

Сравнительный анализ приведенных методов с обзором их достоинств и недостатков приведен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа методов решения задачи генерации

Метод	Достоинства	Недостатки
Формальные грамматики	Набор правил описывает много различных вариантов предложений и обеспечивает большую вариабельность	Требует больших трудозатрат для составления всех необходимых правил, чтобы учесть все варианты предложений, составляемых из пиктограмм. Ограниченный словарный запас
Метод на основе шаблонов	Шаблоны могут быть сгенерированы автоматически из заданного набора предложений на естественном языке	Обеспечивает меньшую вариабельность предложений в сравнении с методом формальных грамматик
Машинное обучение	Отсутствие необходимости в формализации структуры предложений. Простой способ обучения нейросети	Больше подходит для генерации относительно случайных текстов, чем для составления текстов из конкретных слов. Для данной задачи обучающая выборка должна представлять почти полный перебор всех возможных предложений, которые могут быть составлены из пиктограмм

По результатам проведенного анализа было принято решение использовать методы на основе шаблонов и машинного обучения как альтернативные для согласования слов в предложении.

3. Описание метода перевода на основе шаблонов сообщения в альтернативной системе коммуникации в текстовое сообщение на русском языке

В силу того, что на практике используются пиктограммные сообщения достаточно простой структуры и с ограниченным количеством участвующих в них концептов, составление необ-

ходимых шаблонов потребует меньшее количество трудозатрат, чем другие представленные методы. Шаблоны можно сгенерировать автоматически на основе предложений на естественном языке, что значительно ускоряет формирование их базы. Список предложений на естественном был собран при участии экспертов предметной области (специалистов областного детского реабилитационного центра «Надежда», г. Волжский), что дает возможность обеспечить максимальное покрытие поддерживаемых для перевода последовательностей пиктограмм.

В основе реализации такого перевода лежит анализ входных данных на соответствие тому или иному заданному шаблону и применение преобразований над входными данными, предписанных соответствующим шаблоном. Шаблон должен показывать, какие преобразования необходимо произвести над входными данными, чтобы получить согласованное предложение в качестве перевода.

Для решения задачи перевода было принято решение использовать в качестве шаблона список, элементы которого несут информацию о том, какой части речи соответствует элемент и какими морфологическими и неморфологическими признаками он обладает.

Используемые в шаблонах части речи и их морфологические и неморфологические признаки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Морфологические признаки элементов шаблона

Часть речи	Морфологические признаки	Неморфологические признаки
Имя существительное	Род, число, падеж, склонение	Одушевленность
Имя прилагательное	Род, число, падеж	
Имя числительное	Род, число, падеж	Тип (количественное или порядковое)
Наречие	–	–
Местоимение	Род, число, падеж	Разряд (личное, притяжательное, возвратное, вопросительное, относительное, неопределенное, отрицательное, указательное, определительное)
Глагол	Время, лицо, род, число, спряжение	Вид, переходность, возвратность, наклонение, модальность
Причастие	Время, род, число, падеж.	Вид, переходность, возвратность
Предлог	–	–
Союз	–	–
Частица	–	–

Для того, чтобы не описывать каждый шаблон вручную, было принято решение автоматически создавать предложенный шаблон на основе предложений на естественном языке. При формировании шаблона на основе предложения производится определение части речи и морфологический разбор каждого члена предложения, на основании которого строится шаблон. Возможности проведения данного разбора предоставляют различные лингвистические библиотеки для языков программирования, в частности, для языка PHP используется библиотека «phpMorphy» [10].

Помимо морфологического анализа всех членов предложения, нужно произвести синтаксический разбор анализируемого предложения и построить для него синтаксическое дерево, которое описывает взаимоотношения членов предложения между собой (его структуру). Синтаксическое дерево для предложения также можно построить автоматически с помощью программы `gnu-parser-ru`, для хранения и обработки сформированных шаблонов используется формат разметки XML.

Например, шаблон, сформированный на основе предложения «Я играю.» будет иметь вид, представленный на рис. 1.

```

<text>Я играю.</text>
<tokens>
  <token>
    <word>Я</word>
    <position>0</position>
    <lemma>я</lemma>
    <part_of_speech>МЕСТОИМЕНИЕ
    </part_of_speech>
    <tags>ЛИЦО:1 | ПАДЕЖ
      : ИМ1 ТИП_МЕСТОИМИЯ
      : АВТОНОМ | ЧИСЛО: ЕД</tags>
  </token>
  <token>
    <word>играю</word>
    <position>1</position>
    <lemma>играть</lemma>
    <part_of_speech>ГЛАГОЛ
    </part_of_speech>
    <tags>НАКЛОНЕНИЕ: ИЗЪЯВ | ВРЕМЯ
      : НАСТОЯЩЕЕ | ЛИЦО: 1 | ЧИСЛО
      : ЕД | МОДАЛЬНЫЙ: 0 | ПЕРЕХОДНОСТЬ
      : ПЕРЕХОДНЫЙ | ПАДЕЖ: ВИН | ПАДЕЖ
      : ТВОР | ВИД
      : НЕСОВЕРШ | ВОЗВРАТНОСТЬ: 0
    </tags>
  </token>
</tokens>

```

Рис. 1. Пример шаблона, сформированного на основе предложения «Я играю»

```

<syntax_tree>
<node><token>0</token><word>Я</word><parent>1</parent><parent_word
>играю</parent_word><link_type>SUBJECT</link_type></node>

<node is_root='true'><token>1</token><word>играю</word><parent>-1
</parent><parent_word></parent_word><link_type></link_type
></node>

<node><token>2</token><word>.</word><parent>1</parent><parent_word
>играю</parent_word><link_type>PUNCTUATION</link_type></node>

</syntax_tree>

```

Рис. 2. Синтаксическое дерево в формате XML для предложения «Я играю»

Пример построенного синтаксического дерева в формате XML для предложения «Я играю» приведен на рис. 2.

Для того чтобы определить, какому шаблону соответствует последовательность входных инфинитивов, нужно произвести морфологический разбор каждого инфинитива. Это даст возможность сравнивать состав входной последовательности с имеющимися шаблонами по частям речи и неморфологическим признакам. После того, как подходящий шаблон предложения найден, производится морфологическое преобразование каждого инфинитива в соответствии с шаблоном, в результате чего образуется согласованное предложение. В силу того, что морфологические признаки не участвуют в поиске шаблона для последовательности инфинитивов (для инфинитивов они будут не определены), для одной и той же последовательности инфинитивов может подходить несколько шаблонов одновременно, сгенерированных на основе разных предложений. Для того, чтобы выбрать нужный шаблон, необходимо произвести преобразования над инфинитивами в соответствии со всеми подходящими шаблонами, а затем для каждого получившегося предложения сформировать синтаксическое дерево. Далее следует сравнить получившееся синтаксическое дерево с синтаксическим деревом соответствующего шаблона. Подходящим шаблоном следует считать тот, с которым будут совпадать как неморфологические признаки частей речи, так и синтаксические деревья по своей структуре.

Реализовав данный подход, можно переводить пиктограммные сообщения в текстовые на русском языке, причем в результате перевода будут получаться грамматически согласованные предложения. Подход на основе шаблонов не может дать абсолютной точности перевода в случае отсутствия подходящего шаблона предложения или возникновения неразрешимых не-

однозначностей при выборе шаблона, однако в системе пиктограммных сообщений большое количество физических ограничений для построения предложений, что обеспечивает отсутствие сложных грамматических конструкций и уменьшает вероятность появления непредвиденных в шаблонах последовательностей.

Реализация метода на основе шаблонов дала необходимую возможность перевода пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке для относительно коротких простых предложений. Расширение возможностей веб-сервиса может осуществляться путем добавления новых шаблонов, однако, при увеличении количества шаблонов, более часто возникают ситуации, когда одна и та же последовательность инфинитивов соответствует более, чем одному шаблону. Разрешение подобных неоднозначностей требует большое количество дополнительных условий в алгоритме перевода, что значительно затрудняет развитие веб-сервиса.

Алгоритмы, в основе которых лежит машинное обучение, в частности глубинное машинное обучение (deeplearning), позволяют решать задачи перевода текстов с одного языка на другой в более общем виде, чем методы, основанные на построении структурных моделей естественного языка. Системы, построенные на машинном обучении, являются более устойчивыми к непредсказуемым входным данным, а также способны переводить более длинные и сложные предложения. В следующем разделе данной статьи описан метод перевода пиктограммных сообщений в текстовые, в основе которого лежит машинное обучение.

4. Описание метода перевода пиктограммного сообщения в текстовое сообщение на русском языке на основе машинного обучения

На сегодняшний день существует большое количество алгоритмов машинного обучения для решения различных задач. С их помощью

можно осуществлять классификацию данных, распознавать визуальные образы и переводить тексты с одного языка на другой. Одним из наиболее популярных методов решения задачи перевода является машинное обучение на параллельных текстовых корпусах [9]. Это значит, что для обучения нейронной сети необходимы два текста на разных языках, идентичных по своему содержанию. Как правило, с одного языка на другой тексты переводятся вручную, для того, чтобы эталоном результата перевода являлся текст, переведенный человеком.

Так как в качестве исходного языка для перевода является последовательность пиктограмм, а не текст на естественном языке, необходимо использовать исходную текстовую интерпретацию пиктограммного сообщения (последовательность инфинитивных форм), как и в методе на основе шаблонов. Таким образом, текст исходного языка должен быть представлен набором последовательностей лемм, а параллельный ему текст на результирующем языке должен состоять из предложений, где данные леммы согласованы. Например, в исходном тексте содержится последовательность инфинитивов «Мальчик хотеть спелый груша», а в результирующем тексте параллельное данной последовательности предложение «Мальчик хочет спелую грушу».

Для различных иностранных языков существуют специально подготовленные корпуса параллельных текстов для обучения нейронных сетей, но в силу того, что исходный язык в данной задаче является специфичным, потребовалось специально сгенерировать данные для обучения сети. Для этого был взят текстовый корпус, состоящий из 1 миллиона случайно подобранных предложений из открытых источников, которые были преобразованы в последовательности лемм автоматически. Для лемматизации каждого слова в согласованных предложениях был использован инструмент «Яндекс-стеммер» для языка программирования «Python» [11].

Для создания нейронной сети был выбран специальный фреймворк «OpenNMT-ру» для языка «Python», который способен на основе двух параллельных текстов создать модель перевода и использовать ее. Помимо обучающих корпусов, на вход «OpenNMT-ру» требуются дополнительно два параллельных корпуса, чтобы осуществлять валидацию данных по мере обучения и оценивать точность перевода модели в промежуточных состояниях обучения. В связи с этим, подготовленные корпуса были

разделены таким образом, чтобы на вход «OpenNMT-ру» было передано 800 тысяч последовательностей лемм и их параллельных переводов для обучения нейронной сети, а 200 тысяч для ее валидации.

Одним из важных преимуществ фреймворка «OpenNMT-ру» является то, что для ускорения процесса обучения нейронной сети можно использовать технологию параллельных вычислений «CUDA», что значительно сократило время обучения сети.

Обучение сети проводилось в 30 эпох, на каждой из которых оценивались параметры точности перевода (accuracy) и «недоумения» (perplexity). На каждой эпохе параметр accuracy увеличивался, а perplexity уменьшался, что говорит о повышении качества сети в процессе обучения и отсутствии негативного явления переобучения сети. Промежуточные параметры нейронной сети представлены в табл. 3.

Таблица 3

Промежуточные параметры нейронной сети

Эпоха	Accuracy	Perplexity
1	77.72	2.24
7	86.17	1.66
14	87.38	1.65
21	87.63	1.64
30	89.21	1.59

В результате обучения была создана нейронная сеть, способная преобразовывать последовательности лемм в согласованные предложения на русском языке.

Тестирование обученной сети показало следующие результаты, в сравнении с методом перевода на основе шаблонов:

- метод на основе машинного обучения позволяет переводить более длинные предложения;
- метод на основе машинного обучения позволяет переводить грамматически более сложные предложения с участием вводных слов и междометий;
- могут возникать непредсказуемые варианты переводов и замены некоторых слов в предложении синонимами;
- возможно искажение смысла в процессе перевода.

После реализации и сравнения двух различных подходов к решению задачи перевода пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке можно сделать вывод, что оба подхода

обеспечивают на выходе согласованные предложения. Каждое из решений можно использовать в качестве альтернативных друг другу, в зависимости от потребностей конечного пользователя. Метод на основе машинного обучения показал более качественный результат с точки зрения грамматически правильного согласования слов и устойчивости системы к длинным последовательностям входных данных. Однако метод на основе шаблонов возвращает результат, в котором используются исключительно те слова, которые были переданы на вход, что позволяет избежать искажение смысла переводимой последовательности.

Признательность

Авторы статьи выражают благодарность специалистам детского реабилитационного центра «Надежда» города Волжский за оказанное содействие при проведении исследования и предоставление экспертных данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта N18-07-00032 «Интеллектуальная поддержка принятия решений по управлению знаниями в образовании и научных исследованиях на основе коллективного создания и использования информационного пространства предметной области, представленного онтологической моделью».

Также исследование проводилось при поддержке фонда содействия инновациям в рамках программы «УМНИК».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайзман, Н. П. Реабилитационная педагогика. М.: Аграф, 1996.
2. Смирнова, И. А. Неартикулируемые средства общения и методика их использования в работе по формированию коммуникативности у неговорящих детей / И. А. Смирнова // Логопедическая диагностика, коррекция и профилактика нарушения речи у детей с ДЦП. Алалия, дизартрия, ОНР. – СПб.: Речь. – 2004. – С. 206–226.
3. L. Sevens, V. Vandeghinste, I. Schuurman, and F. Van Eynde, “Natural Language Generation from Pictographs,” in ENLG 2015 – Proceedings of the 15th European Workshop on Natural Language Generation, 2015.
4. «Сезам» – первый российский интернет-мессенджер для детей и взрослых с нарушениями речи и письма // Теплица социальных технологий URL: <https://te-st.ru/elements/sezam/> (дата обращения: 05.02.2018).
5. Приложение «Говори Молча» для планшета // АУТИЗМ Будущее есть. URL: <http://autizmru.ru/5390-2/> (дата обращения: 05.02.2018).
6. Text2Picto. URL: <http://picto.ccl.kuleuven.be/> (дата обращения: 05.02.2018).
7. Шаров, С. Средства компьютерного представления лингвистической информации // ИТТС, ТТС 2 URL: http://www.kcn.ru/tat_en/science/ittc/vol000/002/ (дата обращения 20.02.2000).
8. Иорданская, Л. (1992) Коммуникативная структура и ее использование в системе текстовой генерации // Международный форум по информации и документации. Т. 17, № 2. С. 15–28.
9. Как работает машинный перевод // Документация API переводчика «Яндекс». Режим доступа : <https://tech.yandex.ru/translate/doc/intro/concepts/how-works-machine-translation-docpage/?nclid=8977>. (Дата обращения 10.03.2017)
10. phpMorphy // sourceforge.net. URL: <http://phpmorphy.sourceforge.net/dokuwiki/> (дата обращения: 05.02.2018).
11. OpenNMT-py. URL: <http://opennmt.net/OpenNMT-py/> (дата обращения: 05.02.2018).

УДК 004.032

А. В. Старусев, В. И. Лобейко, С. П. Литвинов

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Астраханский государственный университет

starusev-av@yandex.ru

В статье рассматривается метод, основанный на рассмотрении сложной системы не изолированно, а как сложного целого и позволяющий проводить всестороннее изучение испытываемых сложных технических систем, их характеристик, связей на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также возможность получения полезных результатов и внедрение их в производство. Для реализации предложенного метода требуется определить условия, в которых проводятся испытания, рациональным образом их спланировать и затем оценивать полученные результаты испытаний. Все эти требования характеризуют поставленную цель – провести эксперименты в достаточно точных, учитываемых условиях, а затем оценить полученные результаты того или иного эксперимента, причем, при необходимости, повторять проведение их в тех же условиях.

Ключевые слова: сложные технические системы, вероятность случайной величины, математическая статистика, исследуемые процессы, испытания, теория вероятности, условия эксперимента.

A. V. Starusev, V. I. Lobeyko, S. P. Litvinov

ABOUT ONE METHOD OF RESEARCH OF THE DIFFICULT TECHNICAL SYSTEMS AT CARRYING OUT OF EXPERIMENTS

The Astrakhan State University

In article the method based on consideration of difficult system not separately and as difficult whole and allowing to spend all-round studying of tested difficult technical systems, their characteristics, communications on the basis of the principles developed in a science and knowledge methods, and also possibility of reception of useful results and their introduction to manufacture is considered. For realisation of the offered method it is required to define conditions in which tests are conducted, in the rational image them to plan and then to estimate the received results of tests. All these requirements characterise an object in view - to make experiments in enough exact, considered conditions, and then to estimate the received results of this or that experiment, and, if necessary, to repeat their carrying out in the same conditions.

Keywords: difficult technical systems, probability of a random variable, the mathematical statistics, investigated processes, tests, the probability theory, experimental conditions.

Введение

Большинство современных сложных технических систем являются классическим примером сложной компьютеризованной системы [1]. Под понятием система будем понимать процессы жизненного цикла систем предназначенного для любого рода систем, как совокупность взаимодействующих элементов, упорядоченная для достижения одной или нескольких поставленных целей.

Практически каждая современная система содержит или моделируется и сопровождается при помощи компьютерных технологий. Это привело к новым возможностям и, вместе с тем, к дополнительным трудностям на протяжении всего жизненного цикла системы. Очевидны существенные различия между элементами программного, аппаратного обеспечения и людьми, из которых состоит система. В сложных технических системах (СТС) человек продолжает оставаться одним из основных звеньев системы [2].

Постановка задачи

Системный подход к изучению исследуемых сложных технических систем – характерная черта современной науки. В этом случае исследуемая система изучается не изолированно, а как сложное целое, выявляются не только свойства системы и ее устройство, но и связи ее элементов, их функции, устанавливается взаимосвязь системы с окружающей средой.

При проведении экспериментов (испытаний сложных технических систем) необходимо исследовать не только детализированные, но и случайные вероятностные (стохастические) процессы [3, 4]. В связи с этим приходится анализировать случайные, вероятностные или сто-

хастические связи, в которых каждому аргументу соответствует множество значений функции. Несмотря на случайный характер событий, они подчиняются определенным закономерностям, рассматриваемым в теории вероятностей. Теория вероятностей рассматривает теоретические распределения случайных величин и их характеристики. Математическая статистика занимается способами обработки и анализа эмпирических событий. Эти две родственные науки составляют единую математическую теорию массовых случайных процессов, широко применяемую для анализа научных исследований [5, 6].

Метод решения

На практике при исследовании СТС требуется знать частоту происходящих в них процессов (событий) $P^*(x)$, представляющую собой отношение числа случаев $n(x)$, при которых имело место событие, к общему числу событий n :

$$P^*(x) = \frac{n(x)}{n}. \quad (1)$$

При неограниченном возрастании числа событий частота $P^*(x)$ стремится к вероятности $P(x)$, представляющей собой отношение числа случаев $N(x)$, которые приводят к наступлению события x к общему числу возможных случаев N :

$$P(x) = \frac{N(x)}{N}. \quad (2)$$

Так, при исследовании аэродромной системы определялось количество самолетов x_i , прибывающих ежедневно на аэродром (см. таблицу ниже):

**Статистические наблюдения за количеством самолетов,
прибывающих ежедневно на аэродром**

x_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n(x_i)$	2	4	10	14	7	5	4	3	1	0
P_{oi}^*	0,04	0,08	0,20	0,28	0,14	0,10	0,08	0,06	0,02	0

где P_{oi}^* – частота относительная; $\sum n(x) = 50$.

Частота $P_{oi}^* = \frac{n(x)}{\sum n(x)}$ характеризует вероят-

ность появления исследуемого события и представляет собой ряд распределения, представленный на рис. 1, а плавная кривая – закон (функция) распределения $F(x)$.

В свою очередь, вероятность исследуемого события – это количественная оценка возможности его появления. Достоверное событие имеет вероятность $P = 1$, невозможное событие $P = 0$. Следовательно, для случайного процесса (события) $0 \leq P(x) \leq 1$, а сумма вероятностей всех возможных значений $\sum_0^n P_i = 1$.

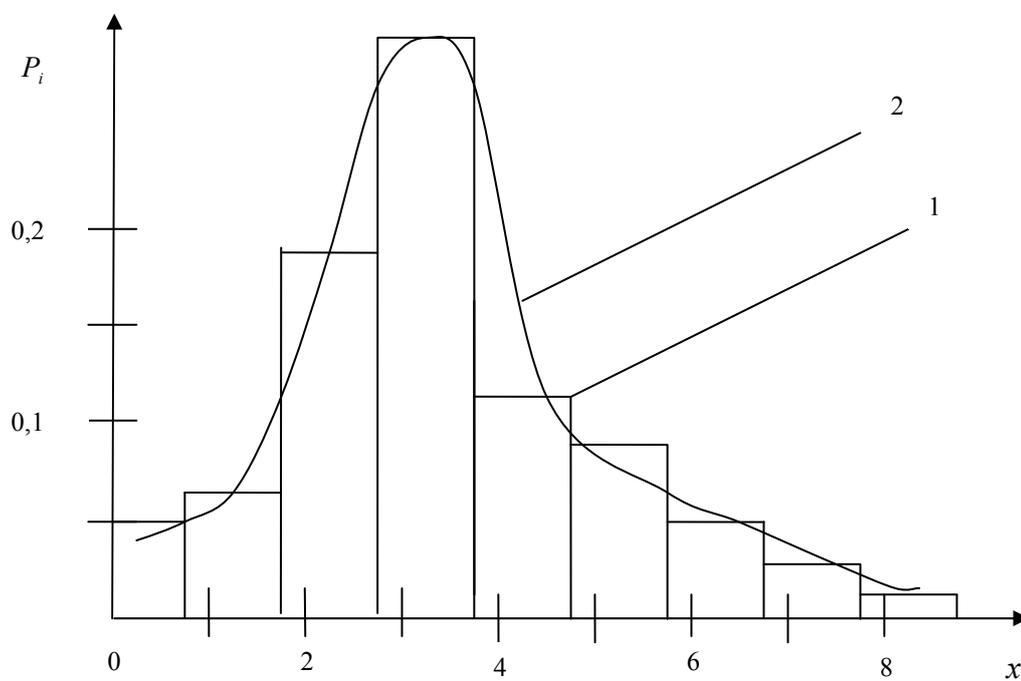


Рис. 1. Общий вид распределения исследуемых событий:
1 – гистограмма; 2 – кривая распределения

При проведении исследований СТС недостаточно знать одну функцию распределения. Необходимо еще иметь ее характеристики: среднеарифметическое, математическое ожидание, дисперсию, размах ряда распределения.

Так, при исследовании случайного процесса среди n событий случайная величина x_1 повторялась n_1 раз, величина x_2 – n_2 раза и т. д. Тогда среднеарифметическое значение \bar{x} имело вид

$$\bar{x} = \sum_1^n x_i \frac{P_i^*}{n}. \quad (3)$$

Размах можно использовать для ориентировочной оценки вариации ряда событий:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (4)$$

где x_{\max} , x_{\min} – максимальное и минимальное значения измеренной величины.

Если вместо эмпирических частот P_1^*, \dots, P_n^* принять их вероятности P_1, \dots, P_n , то получим важную характеристику функции распределения – математическое ожидание:

$$m(x) = \sum_1^n x_i P_i. \quad (5)$$

Так, при изучении процесса исследуемой СТС проведено пять измерений одной выборки: $x_1 = 1; x_2 = 2; x_3 = 3; x_4 = 4; x_5 = 5; P_1 = 0,10; P_2 = 0,15; P_3 = 0,45; P_4 = 0,30; P_5 = 0$. Среднее значение $\bar{x} = \frac{15}{5} = 3,0$.

По формуле (5) математическое ожидание $m(x) = 1 \cdot 0,10 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,45 + 4 \cdot 0,30 + 5 \cdot 0 = 2,95$

Для непрерывных случайных процессов математическое ожидание

$$m(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} xP(x)dx, \quad (6)$$

т. е. оно равно действительному значению x_D наблюдаемых процессов. Следовательно, если систематические погрешности измерений полностью исключить, то истинное значение измеряемой величины исследуемого процесса равно математическому ожиданию, а соответствующая ему абсцисса называется центром распределения. Дисперсия характеризует рассеивание случайной величины исследуемого процесса по отношению к математическому ожиданию и вычисляется с помощью формулы

$$D(x) = \sum_1^n (x_i - m(x))^2 P_i. \quad (7)$$

Для исследуемого выше процесса СТС

$$D(x) = (1 - 2,95)^2 0,10 + (2 - 2,95)^2 0,15 + (3 - 2,95)^2 0,45 + (4 - 2,95)^2 0,30 + (5 - 2,95)^2 0 = 0,83$$

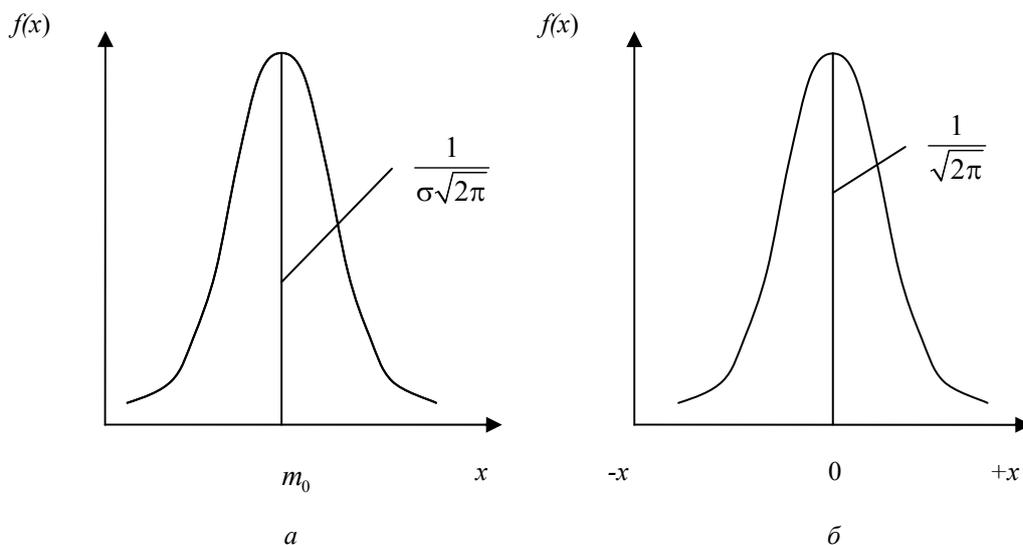


Рис. 2. Общий вид кривой нормального распределения:

$$a - m_0; б - m(x) = 0$$

Важной характеристикой теоретической кривой распределения является среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}. \quad (8)$$

Площадь, расположенная под кривой распределения, соответствует единице вследствие того, что кривая охватывает все значения случайных величин, т. е. все результаты измерений.

Для одной и той же площади можно построить большое количество кривых распределения, т. е. они могут иметь различное рассеяние. Мерой рассеяния (точности измерений) является дисперсия или среднеквадратичное отклонение.

Коэффициент вариации

$$K_B = \frac{\sigma}{m(x)} \quad (9)$$

принимается для сравнения интенсивности рассеяния в различных совокупностях, определяется в относительных единицах: $K_B \langle 1$.

Выше были рассмотрены основные характеристики теоретической кривой распределения, которые анализирует теория вероятности.

В статистике оперируют с эмпирическими распределениями. Основной задачей статистики является подбор теоретических кривых по имеющемуся закону распределения.

При исследовании процессов взаимодействия между элементами СТС наиболее часто принимался закон нормального распределения (рис. 2):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m(x))^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (10)$$

Это уравнение соответствует функции нормального распределения при $m(x) \neq 0$.

Если совместить ось ординат с точкой m , т. е. $m(x) = 0$ и принять $\sigma^2 = 1$, то закон нормального распределения описывается зависимостью (за единицу масштаба принята дисперсия σ^2):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right). \quad (11)$$

Эта формула более проста и чаще применялась при анализе результатов экспериментов.

При исследовании изучаемого процесса использовалась величина σ . Очевидно, чем меньше σ , тем меньше рассеяние, т. е. большинство наблюдений мало отличаются друг от друга (рис. 3).

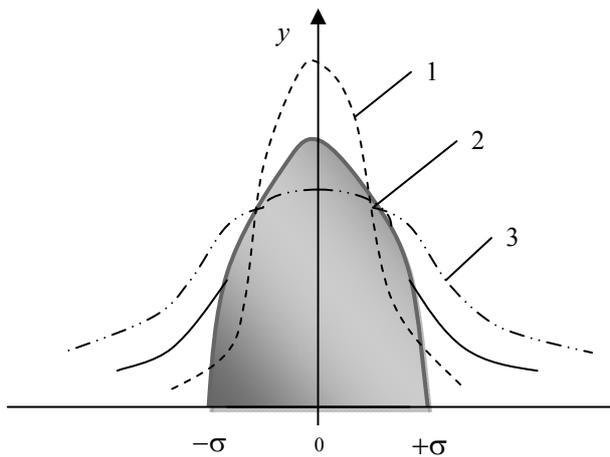


Рис. 3. Характер рассеяния полученной кривой нормального распределения

С увеличением σ рассеяние возрастает, вероятность появления больших погрешностей увеличивается, а максимум кривой распределения (ордината), равный $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$, уменьшается.

Поэтому значение $y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ при $\sigma = 1$ или

$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$ называют мерой точности. Таким образом, чем меньше σ , тем больше сходимость результатов измерений, а ряд измерений более точен. Как видно из уравнений (10)–(11), среднеквадратичное отклонение определяет закон распределения. Среднеквадратичное отклоне-

ние $+\sigma$ и $-\sigma$ соответствует точкам перегиба кривой (затемненная площадь на рис. 3). Вероятность того, что случайные события не выйдут за эти пределы, равна 0,683. В общем случае, для предела $\pm t\sigma$ вероятность того, что событие x_i попадает в данный предел, вычисляется по распределению Лапласа

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx. \quad (12)$$

Функция $\Phi(x)$ табулирована и используется в исследованиях [7].

При анализе многих случайных дискретных процессов, происходящих в исследуемых СТС, использовалось распределение Пуассона [8]. Так, вероятность появления числа краткосрочных наблюдаемых событий $x=1, 2, 3 \dots$ в единицу времени выражается законом Пуассона (рис. 4):

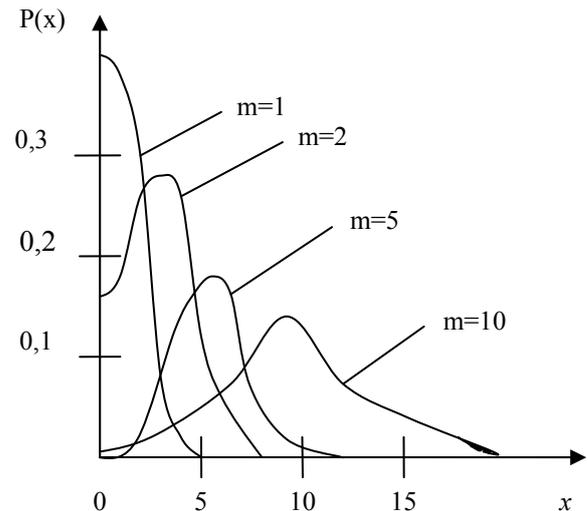


Рис. 4. Общий вид полученной кривой распределения Пуассона

$$P(x) = \frac{m^x}{x!} e^{-m} = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t}, \quad (13)$$

где x – число событий за данный отрезок времени t ; λ – плотность, т. е. среднее число событий за единицу времени; λt – среднее число событий за время t , $\lambda t = m$.

Для закона Пуассона дисперсия равна математическому ожиданию числа наступления события за время t , т. е. $\sigma^2 = m$.

Для исследования количественных характеристик таких процессов, как время отказов изделий, элементов системы применялся показательный закон распределения.

Плотность вероятности показательного закона выражена зависимостью:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (14)$$

где λ – плотность или интенсивность (среднее число) событий отказов в единицу времени.

В показательном законе плотность является величиной, обратной математическому ожиданию $\lambda = \frac{1}{m(x)}$. Кроме того, имеет место соотношение $\sigma^2 = [m(x)]^2$.

При исследовании взаимной связи процессов в СТС применялся закон распределения Вейбулла:

$$f(x) = n\mu^n x^{n-1} e^{-\mu x^n}; \quad (15)$$

здесь n, μ – параметры закона, константы; x – аргумент, чаще применяемый как время.

Исследуя процессы, связанные с постепенным снижением параметров (процессы старения, износные отказы в элементах СТС), применялся закон гамма-распределения (рис. 5).

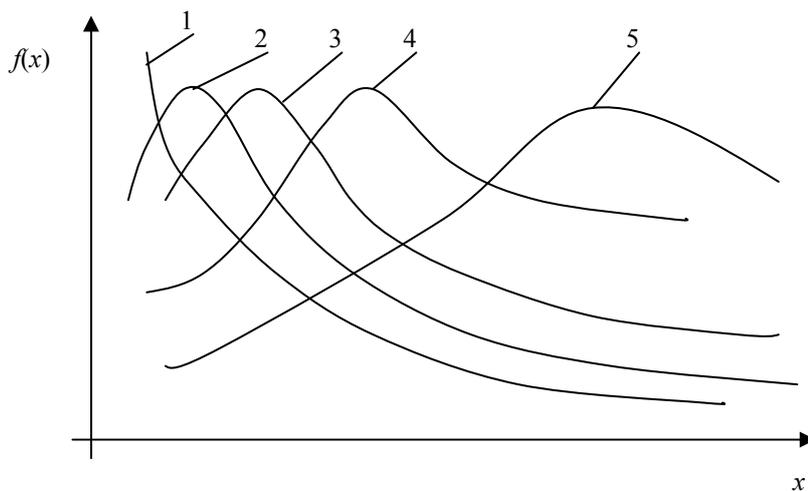


Рис. 5. Общий вид полученных кривых гамма-распределения

$$f(x) = \frac{\lambda^\alpha}{\alpha!} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x}, \quad (16)$$

где λ, α – параметры.

Если $\alpha = 1$, гамма-функция превращается показательный закон (как на рис. 5):

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}. \quad (17)$$

При исследовании процессов, связанных с анализом климатических воздействий на систему, определение расчетных характеристик элементов СТС использовался закон распределения Пирсона, общий вид полученной по ре-

зультатам экспериментов кривой распределения приведен на рис. 6.

$$f(x) = a e^{dx} \left(1 + \frac{x}{b}\right)^{db}, \quad (18)$$

где a – максимальная ордината; d, b – соответственно расстояния от максимальной ординаты до центра распределения и начала координат.

Кроме приведенных выше, при исследовании процессов, происходящих в СТС, применялись и другие виды распределений – Рэля, бета-распределение, Шарлье, Гудрича.

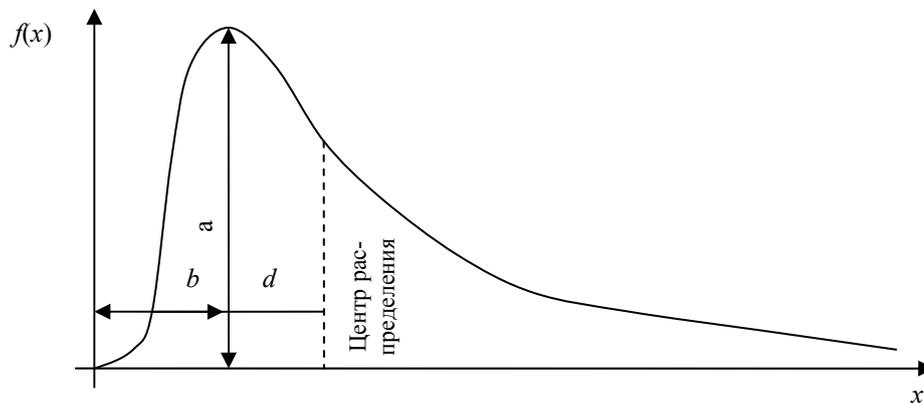


Рис. 6. Общий вид кривой распределения Пирсона

Подбор теоретических кривых распределения по имеющемуся эмпирическому закону распределения являлся основной задачей проводимых исследований СТС.

Так, в результате n измерений случайного события получили вариационный ряд x_1, x_2, \dots, x_n .

Первичная обработка таких рядов сводилась к следующему:

– группируем x_i в интервалы и устанавливаем для каждого из них частоты P_i^* и P_{oi}^* ;

– по значениям x_i и P_{oi}^* строим ступенчатую гистограмму частот;

– вычисляем характеристики эмпирической кривой распределения.

Основными характеристиками эмпирического распределения являются среднее арифметическое значение

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (19)$$

дисперсия

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (20)$$

и среднеквадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{D}$.

Значениям \bar{x}, D, σ эмпирического распределения соответствуют величины $\bar{x}, D(x), \sigma(x)$ теоретического распределения.

В исследованиях всегда возникает вопрос – в какой мере влияет тот или иной фактор или комбинация факторов на исследуемый процесс? Методы установления основных факторов и их влияние на исследуемый процесс рассматривались нами в дисперсионном анализе [8, 9]. В этом случае проводились одно- и многофакторный анализы.

Дисперсионный анализ считался многофакторным, если он имел два и более факторов. Суть его не отличалась принципиально от однофакторного, но усложнялись выкладки и существенно увеличивалось количество расчетов [10, 11].

Заключение

Разработанный метод, основанный на рассмотрении сложной системы не изолированно,

а как сложное целое, позволяет достоверно изучить испытываемые технические системы, их характеристики.

Предложенный метод исследования можно применить при решении широкого круга задач испытаний сложных технических систем, что отражено в статье.

Данный метод исследования применялся при проведении экспериментов в условиях, необходимых заказчику и отраженных в технических заданиях на изделие, а также прошел апробацию при испытаниях нескольких сложных технических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Балыбердин, В.А.* Проблемные вопросы создания и внедрения новых информационных технологий в автоматизированных системах военного назначения / В.А. Балыбердин, О.В. Пенкин, А.И. Полунин. – М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2001. – 146 с.
2. *Киселев, В.Д.* Теоретические основы оптимизации информационно-вычислительного процесса и состава комплексов средств защиты информации в вычислительных сетях / В.Д. Киселев, О.В. Есиков, А.С. Кислицин. – М.: Полиграфсервис XXI века, 2003. – 153 с.
3. *Магнус, Я.Р.* Матричное дифференциальное исчисление с приложениями к статистике и эконометрике : пер. с англ. / Я.Р. Магнус, Х. Нейдекер ; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Физматлит, 2002. – 496 с.
4. *Тьюки, Дж.* Анализ результатов наблюдений / Дж. Тьюки. – М.: Мир, 1981. – 693 с.
5. *Капица, П.Л.* Эксперимент, теория, практика / П.Л. Капица. – 2-е изд. – М.: Наука, 1977. – 351 с.
6. Прикладная статистика. Исследование зависимостей / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 488 с.
7. *Вентцель, Е.С.* Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
8. *Ван Дер Варден Б.Л.* Математическая статистика : пер. с нем. / Б.Л. Ван Дер Варден ; под ред. Н.В. Смирнова. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 483 с.
9. *Крамер, Г.* Математические методы статистики : пер. с англ. / Г. Крамер ; под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: Мир, 1975. – 648 с.
10. *Старусев, А.В.* Применение интервальных оценок для анализа характеристик испытываемых сложных технических систем / А.В. Старусев, В.И. Лобейко, С.В. Поляков // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2015. №13 (177). С. 85–88.
11. *Лобейко, В.И.* Современные подходы к организации испытаний сложных систем / В.И. Лобейко. – Астрахань : Астраханский университет, 2006. – 332 с.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.942

А. А. Аликова, Е. Г. Крушель, И. В. Степанченко

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСА К ПОМЕХАМ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ЗОНЕ РАССЕИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
79093926588@yandex.ru, elena-krushel@yandex.ru, stilvi@mail.ru

В предшествующих работах (Н.Г. Крушель, А.Э. Панфилов, И.В. Степанченко) были предложены алгоритмы оценки объемов выбросов вредных веществ из источников-загрязнителей по результатам измерения приземных концентраций в небольшом числе точек. Ниже исследуется чувствительность алгоритма к исходным данным.

Ключевые слова: экология, мониторинг, оценка объемов выбросов вредных веществ, помехи, исследование чувствительности оценок параметров.

A. A. Alikova, E. G. Krushel, I. V. Stepanchenko

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF ESTIMATES OF THE PARAMETERS OF EMISSION SOURCES TO HINDRANCES MEASUREMENTS OF CONCENTRATIONS IN THE ZONE OF DISPERSION OF POLLUTANTS

Kamyshin Technological Institute (Branch)
of Volgograd State Technical University

Previous work (Krushel E.G, Panfilov A.E., Stepanchenko I.V.) proposed algorithms for estimating the amount of pollutant emissions from pollutant sources from the results of measuring surface concentrations at a small number of points. Below we study the sensitivity of the algorithm to the original data.

Keywords: ecology, monitoring, estimation of emissions of harmful substances, interference, sensitivity study of parameter estimates.

Благоприятные экологические условия (наряду с уникальным географическим положением) являются одним из важнейших факторов, противодействующих депопуляции небольших городов.

В работах [1, 2] была предложена функциональная структура системы экологического мониторинга атмосферного воздуха, учитывающая особенности малого города с относительно редкими (по сравнению с мегаполисами) ситуациями превышения ПДК (предельно допустимых концентраций) по некоторым из загрязняющих веществ. В состав задач мониторинга была включена так называемая обратная задача, которая заключается в идентификации объемов выбросов (расхода газовой смеси и

массы) загрязняющих веществ из источников-загрязнителей по результатам точечных измерений приземных концентраций в зоне рассеивания загрязняющих веществ [3]. Исходными данными для метода идентификации являются результаты эпизодического интеллектуального контроля в ограниченных зонах на территории города средствами мобильной экологической лаборатории [4]. Как было показано в этой работе, если число точек измерения приземных концентраций равно произведению количества оцениваемых параметров на количество источников-загрязнителей, то параметры источников рассчитываются однозначно независимо от размещения точек контроля (точность оценки соответствует точности известной модели,

положенной в основу документа ОНД-86[5]). При меньшем числе точек система уравнений для оценки параметров выбросов становится недоопределенной, но неопределенность можно снять путем нахождения приближенной оценки методом Левенберга – Марквардта [6]. Точность оценки в этом случае зависит от размещения точек контроля, и в этом случае представляет интерес задача их размещения, при котором среднее квадратическое отклонение оценок параметров от их истинных значений минимально. Решение данной задачи описано в [6]. Ниже рассматриваются вопросы, связанные с возможным ухудшением качества оценок из-за неточностей исходных данных, использованных в алгоритме Левенберга – Марквардта.

Целью работы является оценка чувствительности алгоритма решения обратной задачи идентификации объемов выбросов источников к исходным данным при их определении с помощью алгоритма Левенберга – Марквардта. Для этого была проведена серия вычислительных экспериментов для города со следующими экологическими параметрами: число источников выбросов – 2, загрязняющее вещество – углекислый газ (CO_2), температура окружающего воздуха (-15) °С, скорость ветра – 5.3 м/с, угол между направлением ветра и ординатой – $\pi/4$ рад.

Ниже приведена картина рассеивания (линии равного уровня приземных концентраций на высоте 2 м от земли) с указанием размещения приборов контроля (рис. 1).

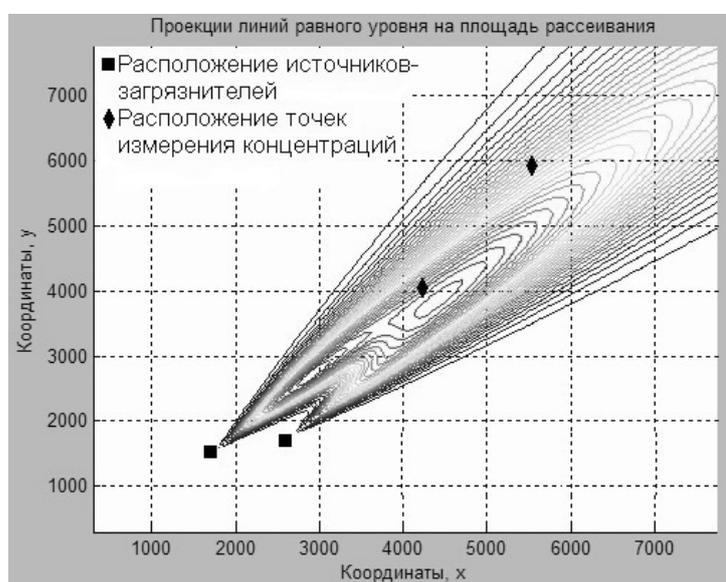


Рис. 1. Расположение двух точек измерения концентраций загрязняющих веществ для оценки четырех параметров двух источников выбросов

Эксперименты проведены по следующей схеме:

1. В качестве основы для получения поля значений приземных концентраций загрязняющих веществ была использована модель, положенная в основу ОНД-86 [5]. С помощью модели рассчитаны значения концентрации загрязняющего вещества с шагом в 20 м, выбрасываемого двумя источниками.

2. Далее на полученные значения концентраций загрязняющих веществ накладывались помехи в форме независимых случайных чисел с нормальным распределением, тем самым имитировалась смещенность, в том числе смещенность показаний приборов (для этого математическое ожидание помех принималось ненулевым – в частности, равным 1 % от максимального значения

концентраций загрязняющего вещества (что никак не ограничивает общности, данный шаг можно повторить для каждого вещества в общем случае) в зоне рассеивания). Стандартное отклонение помех изменялось в пределах от 0 до 6 % максимального значения концентраций загрязняющего вещества с шагом 0,6 %.

3. Для каждого значения стандартного отклонения помехи генерировалось 10 вариантов значений помех и для каждого варианта осуществлялась идентификация параметров источников в предположении, что они неизвестны. Таким способом имитировались многократные измерения, проведение которых предписывается методиками измерения концентраций загрязняющих веществ [4].

Обработанные результаты представлены в табл. 1, 2 и на рис. 2. Для табл. 1 истинное значение расхода газовой смеси составляло 165 м³/с, для табл. 2 – 135 м³/с.

Таблица 1

Статистическая обработка результатов идентификации расхода газовой смеси V м³/с из первого источника при наличии помех измерению концентраций

Номер варианта	Ст. откл. помехи, % к макс. концентрации										
	0,0%	0,6%	1,2%	1,8%	2,4%	3,0%	3,6%	4,2%	4,8%	5,4%	6,0%
1	165,83	160,20	155,35	149,45	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
2	165,83	169,36	172,17	174,79	176,94	178,79	181,19	183,77	185,32	187,42	189,64
3	165,83	171,09	175,55	179,18	182,56	185,69	191,15	193,27	200,45	201,61	209,20
4	165,83	172,22	177,40	181,95	188,74	190,61	198,70	201,05	209,73	211,99	217,79
5	165,83	161,68	158,50	153,91	149,93	145,92	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
6	165,83	169,67	172,49	175,52	177,20	181,60	182,49	185,13	188,89	189,94	191,86
7	165,83	167,87	167,08	167,78	168,41	170,14	169,64	170,24	172,30	172,49	173,29
8	165,83	172,24	177,00	181,18	185,39	189,73	194,58	199,65	208,11	213,49	219,10
9	165,83	170,37	173,45	177,20	180,57	183,33	184,99	188,27	190,61	193,77	200,25
10	165,83	172,66	177,18	182,46	188,85	191,81	200,26	203,20	208,94	218,11	220,50
Обработка:											
Среднее значение $m(V)$ расхода V	165,83	168,73	170,62	172,34	174,86	176,76	180,30	182,46	186,43	188,88	192,16
Стандартное отклонение $s(V)$ расхода V от $m(V)$	0	4,38	7,893	11,756	14,46	16,493	18,367	19,684	22,595	24,664	26,79
Отклонение $m(V)$ от тестового значения V_T в % к V_T	0,50%	2,26%	3,40%	4,45%	5,98%	7,13%	9,27%	10,58%	12,99%	14,47%	16,46%
Верхняя граница разброса: $m(V) + 2s(V)$	0,50%	7,57%	12,97%	18,70%	23,50%	27,12%	31,54%	34,44%	40,38%	44,37%	48,94%
Нижняя граница разброса: $m(V) - 2s(V)$	0,50%	-3,05%	-6,16%	-9,80%	-11,55%	-12,86%	-12,99%	-13,28%	-14,40%	-15,42%	-16,01%

Таблица 2

Статистическая обработка результатов идентификации расхода газовой смеси V м³/с из второго источника при наличии помех измерению концентраций различной интенсивности

Номер варианта	Ст. откл. помехи, % к макс. концентрации										
	0,0%	0,6%	1,2%	1,8%	2,4%	3,0%	3,6%	4,2%	4,8%	5,4%	6,0%
1	129,08	126,06	123,48	120,40	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
2	129,08	130,96	132,45	133,91	135,10	136,12	137,45	138,89	139,77	140,95	142,20
3	129,08	131,85	134,29	136,30	138,21	139,98	143,00	144,26	148,31	149,02	153,36
4	129,08	132,51	135,36	137,88	141,65	142,75	147,31	148,69	153,67	155,02	158,30
5	129,08	126,85	125,14	122,73	120,65	118,58	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
6	129,08	131,12	132,66	134,28	135,25	137,56	138,18	139,65	141,75	142,34	143,46
7	129,08	130,15	129,75	130,12	130,46	131,39	131,12	131,45	132,51	132,66	133,06
8	129,08	132,48	135,14	137,45	139,81	142,25	145,00	147,89	152,73	155,85	159,06
9	129,08	131,46	133,15	135,23	137,09	138,64	139,58	141,42	142,75	144,55	148,12
10	129,08	132,75	135,24	138,17	141,73	143,44	148,19	149,93	153,24	158,45	159,94
Обработка:											
Среднее значение $m(V)$ расхода V	129,08	130,62	131,67	132,65	134,00	135,07	136,98	138,22	140,47	141,88	143,75
Стандартное отклонение $s(V)$ расхода V от $m(V)$	0	2,342	4,247	6,323	7,95	9,051	10,287	11,053	12,726	13,921	15,145
Отклонение $m(V)$ от тестового значения V_T в % к V_T	-4,39%	-3,24%	-2,47%	-1,74%	-0,74%	0,05%	1,47%	2,38%	4,05%	5,10%	6,48%
Верхняя граница разброса: $m(V) + 2s(V)$	-4,39%	0,23%	3,82%	7,62%	11,03%	13,46%	16,71%	18,76%	22,91%	25,72%	28,92%
Нижняя граница разброса: $m(V) - 2s(V)$	-4,39%	-6,71%	-8,76%	-11,11%	-12,52%	-13,36%	-13,77%	-13,99%	-14,80%	-15,52%	-15,96%

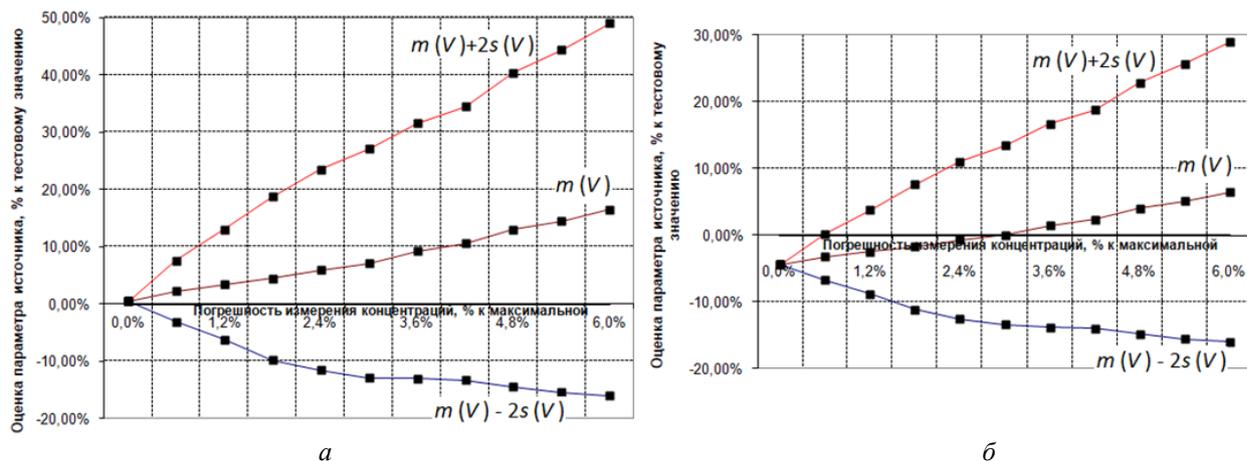


Рис. 2. Погрешность оценки среднего значения расходов газовой смеси из первого (а) и второго (б) источников-загрязнителей и оценка возможного разброса значений в пределах $\pm 2s$ от среднего значения (s – стандартное отклонение)

В табл. 3 и на рис. 3, 4 представлены примеры вычисления отклонения расходов газовой смеси $\Delta V(1)$, $\Delta V(2)$ и масс выбросов $\Delta M(1)$, $\Delta M(2)$ в % к тестовым значениям x источников.

Таблица 3

Отклонения расходов газовой смеси $\Delta V(1)$, $\Delta V(2)$ и масс выбросов $\Delta M(1)$, $\Delta M(2)$ в процентах к истинным значениям при одновременных отклонениях координат x и y отзначений, найденных для оптимального размещения [3]

$\Delta x, м$	$\Delta y, м$	$\Delta V(1)$	$\Delta V(2)$	$\Delta M(1)$	$\Delta M(2)$
0	0	0,50%	-4,39%	0,23%	-1,67%
10	-10	0,61%	-5,39%	-0,57%	1,21%
20	-20	0,27%	-6,51%	-1,28%	3,52%
30	-30	-0,23%	-7,57%	-1,82%	5,25%
40	-40	-0,88%	-8,53%	-2,23%	6,38%
50	-50	-1,66%	-9,36%	-2,55%	6,90%
60	-60	-2,27%	-10,01%	-2,73%	7,24%
70	-70	-2,87%	-10,53%	-2,86%	7,27%
80	-80	-3,36%	-10,94%	-2,93%	7,21%
90	-90	-3,75%	-11,26%	-2,95%	7,09%
100	-100	-4,08%	-11,51%	-2,95%	6,91%
110	-110	-4,33%	-11,71%	-2,93%	6,73%

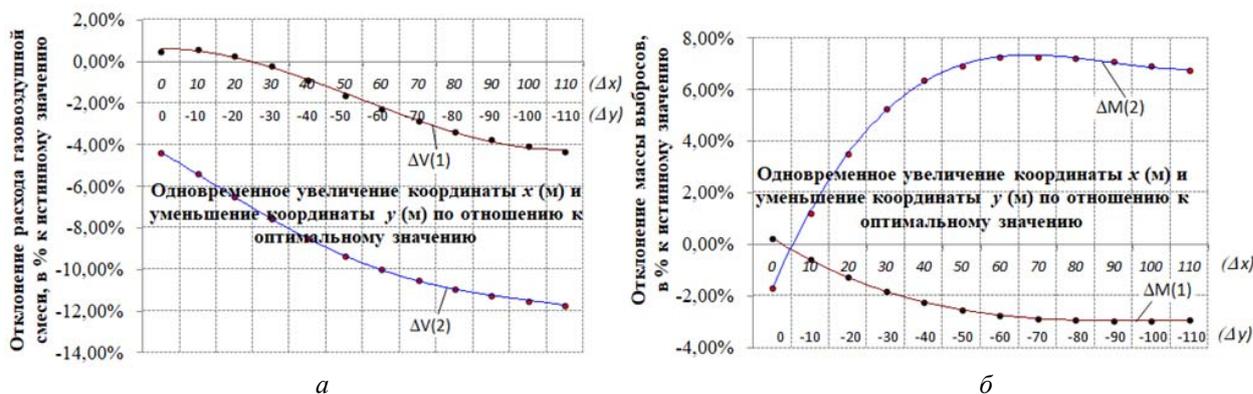


Рис. 3. Зависимость отклонений идентификации расходов газовой смеси (а) и масс выбросов (б) при одновременных отклонениях координат x и y в пределах от 0 до 110 м по оси Ox и от 0 до -110 м по оси Oy

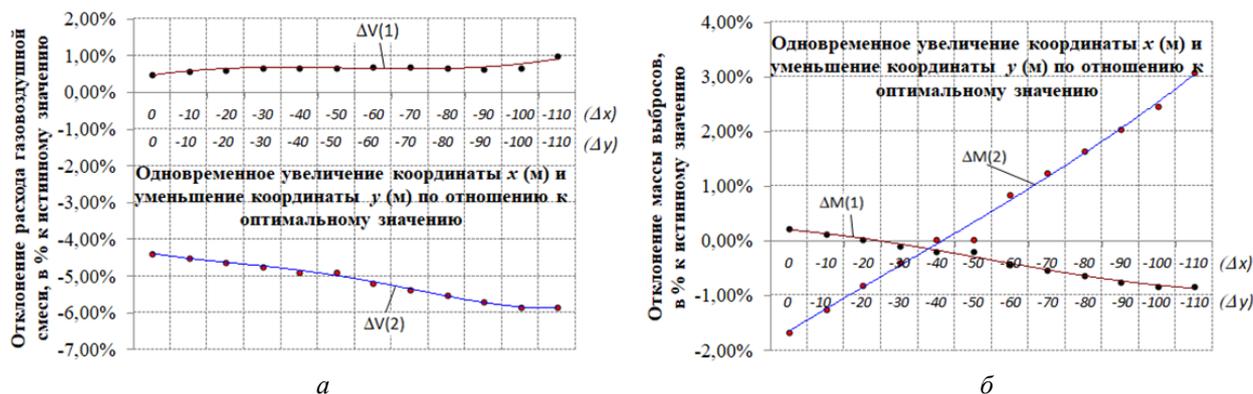


Рис. 4. Зависимости погрешностей оценки расходов газовой смеси (а) и масс выбросов (б) в процентах к истинным значениям при одновременных отклонениях x и y в пределах от 0 до 110 м по оси Ox и от 0 до -110 м по оси Oy

Потери точности сравнивались с априорной идентификацией параметров выбросов. В рассчитанных примерах априорные данные были таковы: массы выбросов из двух источников – 160 и 90 г/с (отклонение $-11,1$ и $-10,0$ % относительно истинных значений 180 и 100 г/с); расходы газовой смеси из двух источников – 150 и 120 м³/с (отклонение $-9,1$ и $-11,1$ % относительно истинных значений 165 и 135 м³/с).

Вычислительные эксперименты по исследованию чувствительности метода идентификации параметров источников-загрязнителей показали:

1. При отклонении координат точек размещения приборов контроля в пределах ± 5 % в любом направлении от координат оптимальной точки, погрешности идентификации параметров источников остаются ниже априорных.

2. Наибольшая скорость изменения погрешностей имеет место вблизи точки оптимума. Затем скорость снижается по мере приближения оценок к априорным значениям.

3. Направление отклонений координат точек измерения от оптимальных существенно влияет на погрешности (это связано с влиянием направления ветра). Так, при отклонении координаты x от оптимального значения на (-110) м при оптимальном значении координаты y погрешность оценки массы выбросов из второго источника составляет $(-12,2$ %). При отклонении координаты x от оптимального значения на 110 м и координаты y на (-110) м погрешность составляет 3,1 %. Следовательно, если имеется несколько маршрутов выезда мобильной лаборатории в окрестность оптимального размещения измерителей, то следует заранее рассчитать, для какого размещения лаборато-

рии погрешность оценивания параметров будет наименьшей.

4. Погрешности идентификации параметров мощных источников меньше, чем параметров источников меньшей мощности (благоприятный фактор для службы экологического мониторинга, которая должна уверенно установить причину повышенного загрязнения атмосферы).

5. Идентификация массы выбросов, как правило, имеет меньшую погрешность, чем идентификация расходов газовой смеси (также благоприятный фактор: приземные концентрации в большей степени зависят именно от масс выбросов).

6. Поскольку результаты идентификации параметров выбросов чувствительны к координатам точки размещения измерительных приборов, то при небольшом числе источников-загрязнителей, имеющих при текущих метеорологических условиях перекрывающиеся зоны рассеивания, следует использовать количество точек измерений, достаточное для получения полного информационного портрета [3].

Дальнейшее направление развития работы заключается в исследовании оценки влияния информационного запаздывания при контроле приземных концентраций, величина которого зависит как от количества измерений, так и от маршрута следования мобильной лаборатории, а также скорости ветра.

В целом представленный материал подтверждает необходимость моделирования процесса рассеивания загрязняющих веществ в системе экологического мониторинга. В частности, имеется возможность заранее рассчитать нужные маршруты следования лаборатории к ряду наиболее часто возникающих зон опасного загрязнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанченко, И.В., Камаев, В.А. О структуре системы экологического мониторинга атмосферного воздуха города // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – № 4 (54). – С. 132–138.
2. Степанченко, И.В. Построение систем экологического мониторинга в городах с нестабильной локацией зон опасного загрязнения атмосферного воздуха // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-28 : сб. тр. XXVIII Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 2. / под общ. ред. А.А. Большакова. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2015; Ярославль : Ярослав. гос. техн. ун-т; Рязань : Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2015. – С. 70–75.
3. Крушель, Е.Г., Степанченко, И.В., Панфилов, А.Э. Экологический мониторинг атмосферного воздуха небольшого города. Модели и алгоритмы. – М.: Наука, 2012. – 118 с.
4. Крушель, Е.Г., Степанченко, И.В. Об алгоритме идентификации параметров выбросов вредных веществ в атмосферу // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013 – № 10. – С. 37–42.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / Утверждена председателем государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды № 192 от 04.08.1986 г. – Ленинград : ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1987. – 68 с.
6. Гилл Ф., Мюррей У., Райт, М. Практическая оптимизация. – М.: Мир, 1985. – 509 с.

УДК 519.248+621.391

*М. Е. Джамалидинова***КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ****Астраханский государственный технический университет**

madina-s2402@mail.ru

Приведена методика контроля состояния объектов радиоэлектронных средств системы подвижной связи, в отсутствие полной статистики о сложившейся информации на объектах. Задача анализа резкого изменения значения параметров и получения области нечетких состояний сведена к определению и последующему сравнению априорных и апостериорных векторов признаков с использованием математического аппарата нечетких множеств. Обоснована необходимость применения данного метода для дальнейшего поиска неисправностей объектов системы подвижной связи.

Ключевые слова: радиоэлектронные средства, система подвижной связи, теория нечетких множеств, вероятность, контроль, базовая станция, антенно-фидерное устройство.

*М. Е. Dzhamalidinova***MONITORING PARAMETERS OF RADIO-ELECTRONIC MEANS OF MOBILE SYSTEM COMMUNICATION USING THE THEORY OF FUZZY SETS****Astrakhan State Technical University**

The paper describes the methodology of control of a condition objects of radio-electronic means of system mobile communication, for lack of full statistics about the developed information. The task of the analysis of sharp change of value of parameters and receiving area of indistinct states is reduced to definition and the subsequent comparison of aprioristic and a posteriori vectors of signs with use of a mathematical apparatus of fuzzy sets. Need of application of this method for specification of search of malfunctions of objects of system of mobile communication is proved.

Keywords: radio-electronic means, the system of mobile communication, the theory of indistinct sets, probability, monitoring, the base station, the antenna – the feeder device.

В настоящий момент, уровень электромагнитного поля или другими словами, уровень мощности излучения базовой станции системы подвижной связи лишь периодически контролируется выездными бригадами, оснащенными подвижным комплексом мониторинга и оптимизации сетей связи [1]. Функциональность базовой станции (БС) удаленно контролируется оператором сотовой связи через центр коммутации подвижной связи, и такой качественный параметр,

как реальный уровень мощности на выходе передатчика контролем не охвачен. Это означает, что в случае заниженной мощности излучения передатчика – зона обслуживания базовой станции (БС) изменяется в сторону уменьшения и значительно снижается качество предоставляемых услуг. Контроль всей сети оператора одновременно и постоянно физически не возможен. Существующие система контроля и анализа параметров качества [3] представлена на рис. 1.

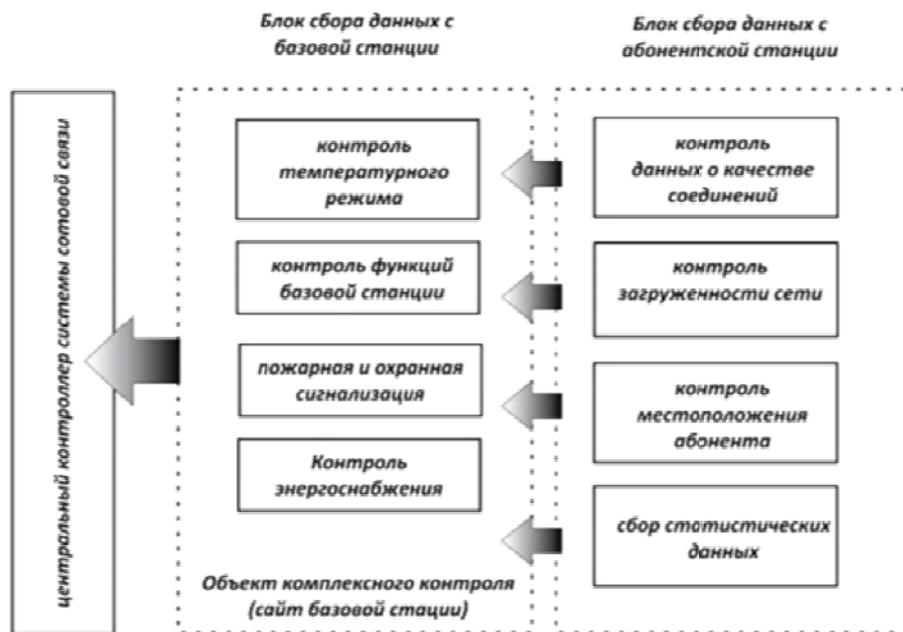


Рис. 1. Существующие система контроля и анализа параметров качества

В блок сбора данных с абонентской станции входят, в основном, сбор информации о качестве соединений, локальном местоположении абонента для организации предоставления сервисов, обслуживающих каналы, их количестве и приоритетности по подключению, о наличии и уровне интерференция для организации «скачков» по частотам, и прочее. Однако эта информация не отражает ухудшения характеристик излучаемого электромагнитного поля (ЭПМ). На снижение качества предоставления услуг при наличии исправности остального оборудования, а также стандартной системы сигнализации в каналах GSM оператор сотовой связи не сможет отреагировать в виду отсут-

вия информации об этом. Таким образом, необходима дополнительная точка контроля качественных параметров БС – отражения уровня работоспособности или мощности на выходе передатчика БС. При этом уровень мощности излучения передатчика можно контролировать на выходе самого передатчика, на выходе соединительного волновода (на выходе jamper) и, что особенно важно, на входе АФУ, данные параметры представлены в приведенной ниже таблице. Так, под контроль попадают качественные характеристики волноводов фидерного тракта, несущие основную нагрузку по затуханию мощности передатчика при ее переносе от приемопередатчика к антенне.

Проблема контроля параметров системы подвижной связи

Объекты радиоэлектронных средств (РЭС)	Параметры, не контролируемые удаленно
Базовая станция (БС)	Мощность на выходе передатчика БС
Радиорелейная станция (РРС)	Мощность на входе приемника
Антенно-фидерное устройство (АФУ)	Мощность на входе АФУ
Система энергоснабжения	Уровень разряда аккумуляторных батарей
Система безопасности контроля функционирования	Исправность устройств заземления
Устройства коммутации соединительных линий	Мощность на выходе соединительного волновода

При этом априорно известно множество наиболее возможных состояний объектов РЭС (дефектов, нарушений, повреждений), влияющих на изменение уровня мощности поля Def и расчетная вероятность их проявлений. Будем считать,

что на изменения уровня мощности поля в СПС влияют следующие параметры: мощность на выходе передатчика Def_p , мощность на выходе соединительного волновода Def_{jam} , мощность на входе АФУ Def_A , при этом выполняются условия

$$Def_p \cap Def_{jam} \cap Def_A \subset Def \quad (1)$$

$$\sum_j p(d_j) < 1, \quad (2)$$

где $p(d_j)$ – априорная вероятность состояния. Неравенство (2) объясняет неполноту статической информации о возможных состояниях объектов РЭС.

$$\sum_{\omega} p(d_{\omega}) = 1 - \sum_j p(d_j). \quad (3)$$

Дополнение (3) определяет суммарную вероятностную меру еще неизвестных дефектных состояний системы $d_{\omega} \in Def_{\omega}$. Будем считать, что априорно определены параметры наиболее возможных состояний (дефектов) и представлены векторами

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= (n_{11}, n_{12}, n_{13}, \dots, n_{1n}), \\ h_2 &= (n_{21}, n_{22}, n_{23}, \dots, n_{2n}), \\ &\dots \\ h_j &= (n_{j1}, n_{j2}, n_{j3}, \dots, n_{jn}) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где j – индекс состояния; $j \in Def$; n – номер диагностического параметра.

Затем реализуется режим контроля параметров РЭС СПС, где устанавливается факт резкого изменения уровня мощности поля. За период ΔT_i производится анализ состояния параметров РЭС в динамике через каждые Δt_{i+k} выбранных параметров, $\Delta t_{i+k} \in \Delta T_i$. В результате такого анализа формируется апостериорный вектор параметров

$$\vec{H}_1 = \vec{h}_1, \vec{h}_2, \dots, \vec{h}_{1+k}. \quad (5)$$

Далее производится процедура сравнения векторов (5) с априорными параметрами векторов (4) по некоторой мере близости [2]:

$$\chi_{i,j,k} = \psi(h_j - h_{i,1+k}), \quad \chi_{i,j,k} \in [0,1], \quad (6)$$

где $\psi(h_j - h_{i,1+k})$ означает процедуру сравнения.

Принимая дополнение $a_{j,k} = [1 - \chi_{i,j,k}(\psi)]$ за степень принадлежности нечеткого множества, получаем области нечетких состояний, что представляется в виде матрицы (7)

$$M_i^d = \begin{matrix} & d_1 & d_2 & d_3 & \dots & d_j \\ \Delta t_1 & a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ \Delta t_2 & a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ \Delta t_3 & a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta t_k & b_{j1} & b_{j2} & b_{j3} & \dots & 1 \end{matrix} \quad (7)$$

Каждая строка матрицы (7) есть нечеткое множество. $Def_{i,k} = \{\text{возможная область состояний на } \Delta t_k\}$, с функцией принадлежности $\mu(d_j) \in [0,1]$.

Переход в режим контроля параметров РЭС СПС является случайным, поэтому в зависимости от времени суток $\Delta t_k \in \Delta T_i$ имеют различную значимость, что задается нечеткой матрицей предпочтения (8).

$$M_i^{\Delta} = \begin{matrix} & \Delta t_1 & \Delta t_2 & \Delta t_3 & \dots & \Delta t_k \\ \Delta t_1 & 1 & b_{12} & b_{13} & \dots & b_{1k} \\ \Delta t_2 & b_{21} & 1 & b_{23} & \dots & b_{2k} \\ \Delta t_3 & b_{31} & b_{32} & 1 & \dots & b_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta t_j & b_{j1} & b_{j2} & b_{j3} & \dots & 1 \end{matrix}, \quad (8)$$

где Δ_i – интервал анализа с момента времени T_i ; b_{jk} – числовое значение функции принадлежности $\mu_R(\Delta t_j, \Delta t_k) = \{\Delta t_j \text{ не хуже } \Delta t_i\}$, $b_{jk} \in [0,1]$. Путем вычислений матриц (8) и (9), получим условную нечеткую область дефектов за время анализа интервала ΔT_i :

$Def_{\Delta_i} = \{\text{НАИБОЛЕЕ ВОЗМОЖНАЯ ОБЛАСТЬ ДЕФЕКТОВ } d_j \text{ ПО УСЛОВИЮ } \Delta t_k\}$ с функцией принадлежности $\mu_{Def}(d_j / \Delta t_i, \dots, \Delta t_k)$.

Представленная методика контроля состояний объектов РЭС применяется для дальнейшего поиска неисправности и принятия решения о работоспособности системы. Увеличение объемов информации, поступающей в приборы обработки данных, усложнение решаемых задач, необходимость учета большого числа взаимосвязанных параметров и быстро меняющегося характера ситуации требуют использования интеллектуальных средств поддержки принятия решений (ИСППР). Предложенная в [4] ИСППР – прикладного характера, применительно к контролю качества системы связи, включает в себя базу ситуаций (БС), базу знаний (БЗ), модули обучения данных баз и механизм логического вывода, способна работать в условиях неполноты исходной информации и вырабатывать управляющие решения на основе представленной выше методики оценки состояний объектов РЭС. Механизм ИСППР, представленный на рис. 2, основывается на продукционных правилах, где вершины нечетко ориентированного взвешенного графа являются

эталонными нечеткими ситуациям, дуги взвешены управляющими решениями, которые необходимы для перехода по ситуациям, и степенями предпочтения этих решений [5].

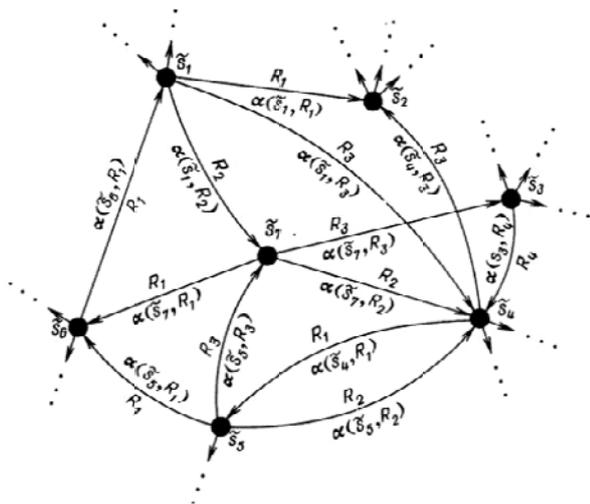


Рис. 2. Фрагмент нечеткой сети, представляющей механизм ИСППР

Выводы

Предложенная методика позволяет сделать оценку состояний объектов радиоэлектронных средств системы подвижной связи в отсутствии полной статистики о сложившихся ситуациях

на объектах, за относительно малый интервал времени анализа. Это дает обоснованную информацию техническому персоналу (оператору) для дальнейшего поиска неисправности и окончательного принятия решения о работоспособности системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пицин, О.Н. Альтернативные сети сигнализации и контроля функциональности систем подвижной радиосвязи // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – Вып. 2. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. – С. 135–140.
2. Пицин, О.Н., Джамалидинова, М.Е. Контроль управления качеством системы управления на основе интеллектуальной системы поддержки принятия решений «Наука, образование, инновации: пути развития». Материалы седьмой Всероссийской научно-практич. конф. (24–26 мая 2016 г.) г. Петропавловск – Камчатский: КамчатГТУ, 2016, с. 36–41.
3. Джамалидинова, М.Е., Пицин, О.Н. Оценка качества систем сотовой связи на основе нечеткого вывода. Вестн. Астрахан. гос. техн. у-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 3. С. 65–73.
4. Джамалидинова, М.Е., Пицин, О.Н. Управление качеством в системах подвижной радиосвязи на основе искусственного интеллекта. Перспективы развития информационных технологий: Сборник материалов XXII междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2014. – С. 33–44.
5. Мелихов, А.Н., Бернштейн, Л.С., Коровин, С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

УДК 004.932.2

П. О. Коваленко, А. В. Михайлов, А. С. Воробьев

МЕТОДЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПО КЛЮЧЕВЫМ ТОЧКАМ*

Волгоградский государственный технический университет

p.kovalenko.o@gmail.com, a.mikhaylov.v@gmail.com, a.vorobyov.a@yandex.ru

В работе приводится толкование понятия ключевых точек и их дескрипторов, приведено описание задачи визуального отслеживания объектов и задачи сопоставления ключевых точек. Описаны методы сопоставления ключевых точек, основанные на использовании стандартных функций OpenCV, и методы сопоставления с использованием машинного обучения. Представлен сравнительный анализ работы данных методов по таким параметрам как среднее квадратическое отклонение, максимальное отклонение по осям координат, среднее время работы, точность работы.

Ключевые слова: компьютерное зрение, ключевая точка, дескриптор, изображение, отслеживание.

P. O. Kovalenko, A. V. Mikhaylov, A. S. Vorobyov

METHODS OF OBJECT TRACKING ON THE KEY POINTS

Volgograd State Technical University

The article presents the interpretation of the concept of keypoints and their descriptors, describes the task of visual tracking of objects and tasks of comparison of keypoints. It describes the methods of comparison of keypoints, based on the use of standard functions OpenCV library and comparison methods by using machine learning. Presents the comparative performance data analysis of methods on such parameters as the standard deviation, the maximum deviation of the coordinate axes, the average time, accuracy of the method.

Keywords: keypoint, descriptor, image, tracking.

© Коваленко П. О., Михайлов А. В., Воробьев А. С., 2018

* Исследовательская работа выполнена в рамках гранта победителю программы «УМНИК-МФТИ-осень 2015» по договору № 9886ГУ/2015 от 10.03.2016 (код 0020827) с проектом «Разработка методов визуального поиска и отслеживания цели с помощью квадрокоптера».

Задача визуального отслеживания объектов заключается в последовательном определении местоположения целевого объекта на каждом кадре видеопотока. Эта задача находит практическое применение во многих практических областях, так или иначе связанных с обработкой видео для получения из них некоторой информации. Примерами систем, в которых применяются технологии визуального отслеживания объектов, являются приложения дополненной реальности и компьютерные игры, системы анализа спортивных матчей, системы видеонаблюдения. Система визуального отслеживания объекта является обязательной частью системы управления беспилотными летательными аппаратами, используемыми для наблюдения за подвижными объектами, используемыми, например, при сопровождении спортсменов в процессе видеосъемки или при погоне за преступником.

Данное исследование было проведено с целью определения применимости рассматриваемых методов отслеживания по ключевым точкам для решения задачи отслеживания объектов с помощью квадрокоптера.

Актуальность данного исследования обосновывается тем, что, несмотря на огромный прогресс в исследованиях, визуальное отслеживание объектов остается сложной задачей.

Задача визуального отслеживания объектов

Задача визуального отслеживания объектов (трекинг объектов) является одной из наиболее важных задач современного анализа видеоизображений. Задача отслеживания в общем случае разбивается на захват объекта, другими словами, выделение объекта в первом кадре последовательности некоторой рамкой и смещение с трансформацией этой рамки на последующих кадрах [1].



Рис. 1. Отслеживаемый объект выделен рамкой

Объект можно описывать разными способами: как ограничительную прямоугольную рамку или эллипс, как цепочку соединенных между собой точек, и так далее. Например, на рис. 1 показана ограничительная рамка вокруг целевого объекта [2].

Ключевые точки и их дескрипторы

Особое значение при построении признакового описания изображения имеет выделение (детектирование) характерных для изображения частей, в качестве которых можно рассмотреть, например, углы, ребра, регионы, соответствующие экстремумам интенсивности, и т. п. [3].

Ключевая точка сцены или точечная особенность – это точка изображения (пиксель) с характерной окрестностью, то есть, отличающаяся своей окрестностью от всех соседних точек. Описываются вектором признаков вычисляемых на основе интенсивности/градиентов или других характеристик точек окрестности. Используя ключевые точки можно анализировать как изображения целиком, так и объекты на них. Хорошие характерные точки позволяют справиться с изменением масштаба, ракурса и перекрытиями сцены или объекта [4].

Дескриптором ключевой точки называется числовой вектор, характеризующий особенности изображения в окрестности данной точки [3].

Задача сопоставления ключевых точек

Обнаружения и сопоставление ключевых точек на изображениях является важной задачей компьютерного зрения. На первый взгляд наборы соответствующих точек на изображениях дают мало информации об изображениях и наблюдаемой сцене, но на самом деле это не так. Например, если имеется несколько изображений одной сцены и наборы соответствующих точек на этих изображениях, то можно определить настройки и положение камеры для каждого изображения [5].

Рассмотрим задачу более детально. Пусть нам даны 2 изображения некоторой сцены. Требуется найти набор пар точек на одном изображении и на втором изображении таким образом, чтобы они являлись изображениями одной и той же точки (рис. 2).

Заметим, что для сопоставления подходят далеко не все точки изображения. Например, очень сложно найти соответствующую точку для некоторой области изображения однородной поверхности. Поэтому для сопоставления используются ключевые точки.

Данный процесс можно разбить на три этапа: выделение ключевых точек с помощью детектора (featuredetector), описание найденных точек с помощью дескриптора (featuredescriptor), получение набора связей (соответствий) между ключевыми точками (matcher).

Реализация не составляет особого труда ввиду наличия широкого класса библиотек компьютерного зрения. Среди них стоит выделить библиотеку OpenCV, написанную на языке C++ и обладающую наиболее широким набором функций. Прежде всего, в ней имеется модуль FeaturePointsDetection&Description, содержащий реализации различных детекторов и дескрипторов.

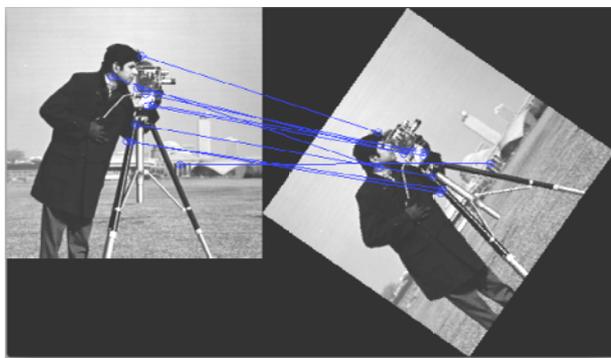


Рис. 2. Сопоставление ключевых точек на двух изображениях

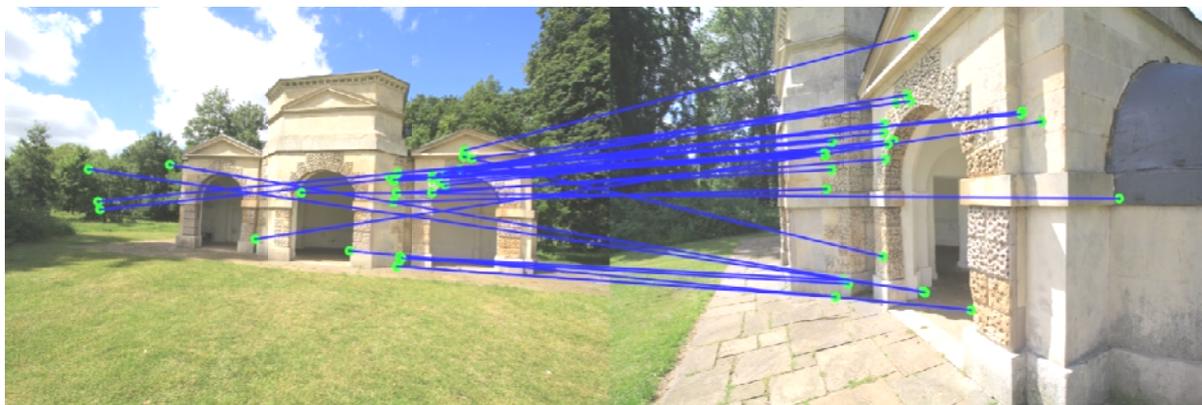


Рис. 3. Некорректное сопоставление ключевых точек на двух изображениях

Б. Сопоставление ключевых точек с фильтрацией

Данный метод является модификацией метода описанного выше. Для того чтобы улучшить точность работы, происходит отсеивание тех точек, которые совпадают и указывают на одну и ту же ключевую точку. Это выполняется следующим образом: подсчитывается минимальное и максимальное расстояния между точками после их сопоставления. Затем отби-

Сопоставление ключевых точек, основанное на использовании стандартных функций OpenCV

А. Сопоставление без фильтрации

В данном методе для построения соответствий между двумя наборами точек изображения используется matcher, реализованный в библиотеке OpenCV [6].

В качестве входных параметров метод получает изображение искомого объекта и изображение, на котором его нужно найти. В результате строится соответствие между точками, принадлежащими объекту и точками, которые объекту не принадлежат.

Для начала производится поиск ключевые точки и вычисление дескрипторов на обоих изображениях. Дескрипторы производят описание найденных особенностей, оценивая их позиции через описание окружающих областей. Затем происходит сопоставление, другими словами, построение соответствий между двумя наборами точек изображений.

Известные алгоритмы поиска соответствий между ключевыми точками двух изображений нередко показывают высокий процент ошибочных связей (outlier). Это приводит к тому, что они некорректно сопоставляют тестируемые изображения (рис. 3).

раются только те точки, расстояние между которыми меньше полусуммы максимального и минимального расстояния между ними. Этот метод показывает, результаты значительно лучше, чем предыдущий.

Сопоставление ключевых точек с использованием машинного обучения

Один из возможных подходов к решению задачи отслеживания объекта по ключевым

точкам состоит в том, чтобы использовать алгоритмы машинного обучения для построения моделей классов объектов и алгоритмы вывода для поиска объектов на изображении.

Построение модели состоит из двух этапов [7]: 1) извлечение признаков, характерных для объектов класса, – построение характеристических векторов-признаков для ключевых точек объекта (углов, ребер или контуров объектов) или для всего объекта; 2) тренировка (обучение) модели на полученных признаках для последующего распознавания объектов.

А. Сопоставление с помощью метода опорных векторов

Данный метод «сопоставление точек с помощью метода опорных векторов» основан на машинном обучении. В этом методе машинное обучение используется для создания классификатора, который используется для того, чтобы определить, какие признаки принадлежат объекту.

Метод опорных векторов (Support Vector Machine – SVM) относится к группе граничных методов. Она определяет классы при помощи границ областей [8].

После того как были найдены ключевые точки и вычислены их дескрипторы на одном изображении, необходимо обучить SVM с помощью тренировочной выборки. В качестве тренировочной выборки выступают дескрипторы ключевых точек. Первый класс – все точки, принадлежащие объекту. Второй класс – все точки, не принадлежащие объекту.

После того, как тестируемая выборка готова, проводится обучение на ней классификатора SVM. Затем в каждом кадре проводится поиск ключевых точек и вычисление их дескрипторов. Для всех дескрипторов текущего кадра происходит предсказывание, к какому классу относится данная ключевая точка с помощью функции библиотеки OpenCVpredict().

Б. Сопоставление с помощью нейронных сетей

Данный метод похож по своему строению на метод сопоставления ключевых точек с использованием метода опорных векторов. Он также основан на машинном обучении, но только, на нейронных сетях. Нейронные сети широко используются для решения разнообразных задач, одна из них – задача классификации. Процесс обучения нейронной сети заключается в подстройке ее внутренних параметров под конкретную задачу. Процесс обучения

и предсказывания такой же, как и в предыдущем методе.

Описание методики исследования

Исследование было проведено в среде Microsoft Visual Studio 2012 Ultimate с помощью библиотеки OpenCV 3.0.

Для того, чтобы проверить можно ли использовать методы, основанные на ключевых точках для решения задачи отслеживания объекта с помощью квадрокоптера, был проведен сравнительный анализ выбранных методов по критериям. В качестве критериев сравнения были выбраны: среднеквадратическое отклонение координат центра объекта от реальных координат центра объекта (в пикселях), среднее время работы алгоритма за один кадр (в секундах), максимальное отклонение координат центра объекта от реальных координат центра объекта (в пикселях), точность работы алгоритма (в процентах).

В работе использовались такие алгоритмы поиска ключевых точек и вычисления их дескрипторов, как SIFT и SURF.

В качестве тестовых данных было записано видео в формате MPEG-4 и был подготовлен текстовый файл, содержащий информацию о местонахождении объекта на каждом кадре данного видео. При таком наборе входных данных становится возможным рассчитать статистику работы методов отслеживания.

В качестве отслеживаемого объекта на видео выступает синяя банка. На рис. 4 представлен кадр из тестового видео, на котором показано использование отслеживания объекта с использованием сопоставления с помощью метода опорных векторов.

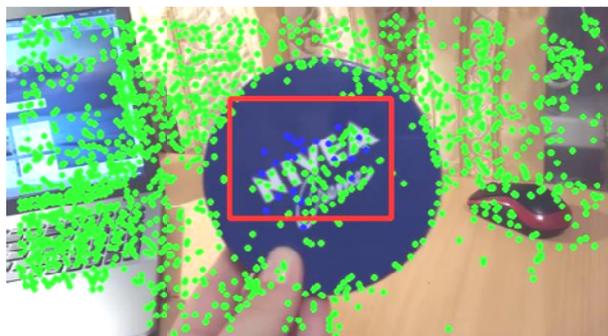


Рис. 4. Кадр из тестового видео

Результаты исследования

Результаты методов отслеживания по ключевым точкам представлены в таблице ниже.

Статистика работы методов отслеживания объектов по ключевым точкам

Метод отслеживания	Дескриптор ключевых точек	Среднеквадратическое отклонение (в пикс.)	Макс. отклонение по X (в пикс.)	Макс. отклонение по Y (в пикс.)	Среднее время работы (в сек)	Точность работы алгоритма (в процентах)
Сопоставление без фильтрации	SIFT	7.58	17.13	120.78	1.31	72
	SURF	31.27	51.52	384.12	0.43	66
Сопоставление с фильтрацией	SIFT	9.23	14.21	23.13	1.32	76
	SURF	10.11	7.32	98.22	0.24	69
Сопоставление с помощью SVM	SIFT	17.21	56.43	85.11	0.48	79
	SURF	19.11	46.19	154.44	0.29	87
Сопоставление с помощью ANN	SIFT	45.62	59.53	57.71	8.45	38
	SURF	31.47	55.40	109.63	2.38	52

В результате тестирования программы можно сделать следующий вывод.

Самым быстрым и точным алгоритмом сопоставления ключевых точек является алгоритм сопоставления с помощью метода опорных векторов (SVM) (среднее время работы алгоритма за один кадр – 0,29 секунд, точность работы алгоритма – 87 %). Самый длительный по времени работы является алгоритм сопоставления ключевых точек с помощью нейронных сетей (ANN) – 8,45 секунды. И точность работы у данного алгоритма самая низкая – 38 %.

Еще одним из плюсов алгоритма сопоставления точек с помощью опорных векторов является то, что если объект выйдет за пределы кадра, а затем опять вернется, программа будет снова продолжать отслеживать этот объект. Этому способствуют алгоритмы машинного обучения. Также можно заметить, что алгоритм поиска ключевых точек и вычисления дескрипторов SURF работает значительно быстрее алгоритма SIFT.

При уменьшении порога отсекаемых ключевых точек время работы алгоритмов, основанных на машинном обучении, увеличивается, а также, увеличивается и точность работы алгоритмов. Это связано с тем, что чем больше тестируемая выборка для обучения классификаторов, тем точнее его предсказывание.

Заключение

По результатам проведенной работы были исследованы методы сопоставления ключевых точек, основанные на использовании стандартных функций OpenCV и методы сопоставления с использованием машинного обучения, такие

как сопоставление с помощью метода опорных векторов и сопоставление с помощью нейронных сетей.

По результатам работы методов отслеживания выявлена и проанализирована статистика их работы на реальных тестовых данных.

Таким образом, можно сделать вывод, что для решения задачи отслеживания объектов с помощью квадрокоптера, методы, основанные на ключевых точках, не подходят, так как они работают крайне медленно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шапошников, А. А. К вопросу о качестве работы алгоритмов слежения за объектами / А. А. Шапошников, Е. В. Шапошникова, А. И. Шапошников // Компьютерные исследования и моделирование. – 2014. – Т. 6, вып. 4. – С. 495–502.
2. Вражнов, Д. А. О качестве работы алгоритмов слежения за объектами на видео / Д. А. Вражнов, А. В. Шаповалов, В. В. Николаев // Компьютерные исследования и моделирование. – 2012. – Т. 4, вып. 2. – С. 303–313.
3. Половинкин, П. Н. Детекторы и дескрипторы ключевых точек. Алгоритмы классификации изображений. Задача детектирования объектов на изображениях и методы ее решения : учеб. пособие / П. Н. Половинкин ; ННГУ. – Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. – 38 с.
4. Amit, Y. 2D Object Detection and Recognition: models, algorithms and networks / Y. Amit. – The MIT Press, 2002. – 325 p.
5. Гаганов, В. Инвариантные алгоритмы сопоставления точечных особенностей на изображениях / В. Гиганов // Сетевой журнал «Графика и мультимедиа». – 2009. – Вып. № 7(1). – С. 57–69.
6. Кустикова, В. Д. Разработка мультимедийных приложений с использованием библиотек OpenCV и IPP : учеб. пособие / В. Д. Кустикова ; ННГУ. – Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. – 34 с.
7. Apolloni, B. Machine Learning and Robot Perception / B. Apolloni. – Springer, 2005. – 900 p.
8. Луньков, А. Д. Интеллектуальный анализ данных : учеб. пособие / А. Д. Луньков, А. В. Харламов ; СГУ. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2012. – 96 с.

УДК 004.89

*Д. М. Коробкин, Н. А. Гордеев, С. А. Фоменков, М. А. Дыков***МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ПАТЕНТНЫХ ТРЕНДОВ
НА ОСНОВЕ ОПИСАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ*****Волгоградский государственный технический университет**

dkorobkin80@mail.ru

Использование глобального патентного пространства для определения научно-технологических приоритетов развития технических систем (мониторинга патентных трендов) позволяет прогнозировать направление развития технических систем и, соответственно, в качестве источника для актуализации базы данных реализуемых технических функций, физических эффектов выбирать патенты приоритетных технических направлений. Разработанный авторами метод выявления патентных трендов ориентирован на использование в качестве трендовых терминов не отдельных униграмм или n-грамм, как в существующих методах и системах, а структурированных описаний технических функций в формате SAO.

Ключевые слова: SAO, технические функции, патентный тренд, семантический анализ, кластеризация, LDA.

*D. M. Korobkin, N. A. Gordeev, S. A. Fomenkov, M. A. Dykov***METHOD OF PATENT TRENDS DISCOVERY BASED
ON TECHNICAL FUNCTION DESCRIPTIONS****Volgograd State Technical University**

Using of the global patent database for determination the scientific and technological priorities of development of technical systems (discovery of patent trends) allows to predict the way of technical systems evolution and, consequently, choose patents from priority areas as a source for updating the databases of technical functions and physical effects. The authors developed a method of patent trends discovery that using the structured descriptions of technical functions (SAO) as the patent trend terms.

Keywords: SAO, technical functions, patent trend, semantic analysis, clustering, LDA.

Введение

Вследствие современного быстрого изменения глобального рынка и широкого распространения инноваций жизненный цикл разрабатываемого нового технического решения может быть очень коротким. В данной ситуации актуальным является прогнозирование направления развития технических систем на основе мониторинга изменения технологий в глобальном патентном пространстве (анализ патентных трендов). Решением задачи выявления патентных трендов занимаются следующие ученые: К. Frietsch [1], В. Yoon [2], Y. Park, P. Bronwyn, E. Rahayu, A. Kontostathis и др. На основе анализа патентных трендов целесообразно выбирать приоритетные технические направления в качестве источника информации для актуализации баз данных физических эффектов и реализуемых технических функций [3–7].

**1. Разработка метода определения
научно-технологических приоритетов
развития технических систем**

Разработанный авторами метод мониторинга изменения технологий (выявления патентных трендов) ориентирован на отказ от исполь-

зования международной патентной классификации. В качестве основы метода предложено использование описаний технических функций в формате SAO [8] для выявления как межклассовых трендов, так и трендов внутри классов.

SAO (subject – «субъект», action – «действие», object – «объект») – это тройная семантическая структура, с помощью которой могут быть представлены технические функции, извлекаемые из текстовых данных, в том числе из текстов патентов. Объекты и субъекты – это слова или фразы, которые тесно связаны с семантикой текста. Действия – это глаголы, которые представляют собой операцию, посредством которой связаны объекты и субъекты, или отношения между ними. Развитие технологий обработки естественного языка позволяет извлекаемым структурам SAO содержать в себе достаточно полную семантическую информацию о технических функциях, описанных в тексте.

Авторами впервые предлагается метод, использующий в качестве трендовых терминов не отдельные униграммы или n-граммы, как в существующих методах и системах, а структурированные описания технических функций в фор-

мате SAO, которые с точки зрения авторов и являются базисом патента.

Метод мониторинга изменения технологий (выявления патентных трендов) состоит из следующих этапов:

- 1) выявление ключевых SAO для каждого временного отрезка;
- 2) выделение трендовых SAO;
- 3) поиск патентов, содержащих трендовые SAO;
- 4) формирование кластеров на основе найденных патентов, содержащих трендовую информацию.

Одной из основных задач разработанного метода поиска патентных трендов является представление трендов в виде информативных, понятных пользователю терминов, которые отражают суть тенденций. На роль подобных терминов отлично подходят ключевые SAO.

2. Выделение SAO из текстов патентов

Для извлечения технических функций в формате SAO из текстов патентов используются ранее разработанные [8,9] процедуры сегментации сложных предложений текстов патентов, морфологического, семантического анализа с построением деревьев зависимостей, получения глубинно-синтаксических структур на основе теории «Смысл-Текст» для сокращенных стэнфордских зависимостей.

При корректной работе семантического анализатора корневой вершиной глубинно-синтаксической структуры будет глагол, он и извлекается как «Действие» (англ. Action), далее извлекаются его дочерние элементы с актантными связями I и II, а потом для каждого полученного субъекта, объекта и действия извлекаются дочерние элементы с атрибутивной связью. Результат извлечения SAO из предложения «The

super-capacitor electrode further comprises a silane coupling agent» можно посмотреть на рис. 1.

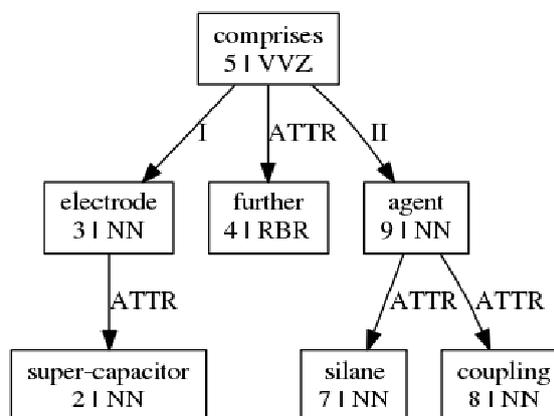


Рис. 1. Пример технической функции

Для увеличения информативности структур «Субъект» – «Действие» – «Объект» производится объединение нескольких SAO в один согласно разработанному алгоритму группировки (сравнения) [10,11].

3. Выделение трендовых SAO

Для поиска патентных трендов разработан метод поиска трендовых SAO. Под трендовым SAO будет пониматься текстовое описание технической функции, для которой увеличивается частота ее упоминания в текстах патентов со временем. Однако, возникает вероятность появления случайных неинформативных SAO, для которых характерно отсутствие упоминания в предыдущий период времени и начало использования в текущий. Чтобы отфильтровать такие SAO будем использовать предположение о том, что за короткий промежуток времени частота употребления SAO не может резко изменяться (уменьшаться).

$$SAOvec_i = \{(SAO_1, TF_1), (SAO_2, TF_2), \dots, (SAO_k, TF_k)\}, \tag{1}$$

$$Tr(SAOvec_{i+1}, SAOvec_i) = \{(SAO_1, Ch(TF_1^{i+1}, TF_1^i)), \dots, (SAO_k, Ch(TF_k^{i+1}, TF_k^i))\},$$

$$Ch(TF_j^{i+1}, TF_j^i) = \frac{TF_j^{i+1} - TF_j^i}{TF_j^i + Kr},$$

$$Ch(TF_j^{i+1}, TF_j^i) \geq L_T,$$

где SAOvec_i – вектор SAO в текстах патентов, выданных за временной квартал i; TF_j – частота встречаемости j-го SAO в текстах патентов; Tr(SAOvec_{i+1}, SAOvec_i) – вектор тенденций (тренд) упоминания всех SAO между двумя со-

седними временными кварталами; Ch(TF_jⁱ⁺¹, TF_jⁱ) – функция, определяющая тенденцию (изменение) упоминания j-го SAO между двумя соседними временными кварталами; Kr – коэффициент уменьшения значимости «редких» SAO; L_T – нижняя граница минимально допустимого изменения тренда за временной квартал.

Коэффициент Kr предназначен для исключения из списка трендовых SAO, которые редко

упоминаются в текстах патентов. При незначительном изменении абсолютной частоты упоминания подобных SAO наблюдается значительный рост их относительного изменения Ch между двумя соседними временными кварталами. Проведенные эксперименты показали, что оптимальное значение $Kr=150$.

Параметр L_T предназначен для регуляции количества найденных трендовых SAO. Значение его обратно пропорционально количеству SAO, которые можно считать трендовыми и прямо пропорционально их средней значимости как трендов.

Множество трендовых патентов за определенный промежуток времени определяется следующим образом:

$$T_{SAO} = \{SAO_1, SAO_2, \dots, SAO_{N_{SAO}}\}, \quad (2)$$

$$SAO_j \in T_{SAO} : \forall i \ Ch(TF_j^{i+1}, TF_j^i) \geq L_T,$$

где T_{SAO} – множество трендовых SAO; N_{SAO} – количество трендовых SAO.

4. Поиск патентов, содержащих трендовые SAO

На следующем этапе осуществляется поиск патентов, содержащих трендовые SAO.

$$PAT_i \in T_{PAT} : \exists SAO_j \ SAO_j \in \{Claim_i, Abst_i, Desc_i\}, \ SAO_j \in T_{SAO}, \quad (5)$$

где $Abst_i$ – краткое описание патента PAT_i ; $Desc_i$ – полное описание патента PAT_i .

5. Формирование кластеров на основе найденных патентов, содержащих трендовую информацию

Для реализации группировки трендовых патентов в кластеры необходимо реализовать следующие этапы анализа:

- построение терм-документной матрицы;
- кластеризация на основе модели LDA (рис. 2) и использование построенной модели для получения векторов распределения по кластерам (неименованным топикам) [12].

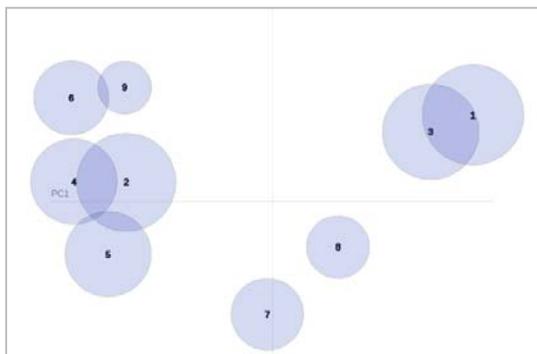


Рис. 2. Распределение векторов по неименованным топикам

$$T_{PAT} = \{PAT_1, PAT_2, \dots, PAT_{N_{PAT}}\}, \quad (3)$$

где T_{PAT} – множество трендовых патентов; N_{PAT} – количество трендовых патентов.

Авторами были реализованы два подхода к поиску трендовых патентов:

– поиск осуществлялся только по формулам изобретений патентов. Основная идея данного подхода заключается в том, что все найденные в формуле изобретения SAO являются более значимыми, чем SAO, содержащиеся в остальном тексте патентов.

$$PAT_i \in T_{PAT} : \exists SAO_j \ SAO_j \in Claim_i, \ SAO_j \in T_{SAO}, \quad (4)$$

где $Claim_i$ – формула изобретения патента PAT_i ;

– поиск осуществлялся по всему тексту патентов. Основная идея данного подхода заключается в том, что тренды могут упоминаться также в патентах, основное описание (формула изобретения) которых может не относиться к тематике тренда. Таким образом, описание тренда может содержаться в любой части текста патента (особенно в полном описании Desc).

Терм-документная матрица представляет собой математическую матрицу, в которой строки являются документами, а столбцы термами. Данная матрица описывает частоту появления каждого термина во всех документах. В нашем случае под терминами понимаются трендовые SAO, под документами – трендовые патенты.

Для построения модели Латентного размещения Дирихле (LDA) следует сформировать матрицу на основе TF (term frequency), которая отображает частоту встречаемости трендового SAO в текстах трендовых патентов. В нашем случае необходимо построить модифицированную версию терм-документной матрицы на основе TF. Для увеличения информативности трендовых SAO производится объединение нескольких SAO в один согласно разработанному алгоритму группировки.

Для начала необходимо получить словарь всех трендовых SAO патентного массива $voc = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$, где t_i – очередной уникальный трендовый SAO патентного массива. Тогда каждая i -я строка терм-документной матрицы будет представлять собой полученный словарь, а каждый столбец будет представлять собой

количество вхождений уникального трендового SAO в i -й патент.

Получить словарь всех слов набора документов и построить терм-документную матрицу позволяет фреймворк распределенных вычислений Spark и его библиотека MLlib для машинного обучения [12].

На основе модели LDA можно получить одновременную кластеризацию трендовых патентов и трендовых SAO на одном и том же множестве кластеров, называемых темами. В результате строится «мягкая» кластеризация, то есть трендовый патент может принадлежать нескольким темам в различной степени.

$$SAO_Cl_i = \{SAO_t\}, \quad (6)$$

$$Pat_Cl_i = \{PAT_k\},$$

где $i = 1, \dots, cl$ – индекс кластера; cl – заданное количество кластеров; SAO_Cl_i – i кластер трендовых SAO; $SAO_t \in T_{SAO}$ – t -е трендовое SAO в кластере SAO_Cl_i ; Pat_Cl_i – i кластер трендовых патентов; $PAT_k \in T_{PAT}$ – k -й трендовый патент в кластере Pat_Cl_i .

Далее ранжируем полученные группы по количеству трендовых патентов и соотносим принадлежащие им патентные SAO.

Выводы

Разработанный метод мониторинга изменения технологий (выявления патентных трендов) ориентирован на использование в качестве трендовых терминов не отдельных униграмм или n -грамм, как в существующих методах и системах, а структурированных описаний технических функций в формате SAO (Subject – «Субъект», Action – «Действие», Object – «Объект»).

Под трендовым SAO понимается текстовое описание технической функции, для которой увеличивается частота ее упоминания в текстах патентов со временем. Для фильтрации случайных неинформативных SAO используется предположение о том, что за короткий промежуток времени частота употребления SAO не может резко изменяться (уменьшаться).

Были реализованы два подхода к поиску трендовых патентов: поиск только по формулам изобретений патентов и поиск по всему тексту патентов (так как тренды могут упоминаться в патентах, формула изобретения которых может не относиться к тематике тренда).

Для группировки трендовых патентов в кластеры реализуются следующие этапы анализа: построение терм-документной матрицы

и кластеризация на основе модели LDA с использованием сформированной модели для получения векторов распределения по неименованным кластерам. Терм-документная матрица отражает частоту появления каждого трендового SAO в трендовых патентах. На основе модели LDA можно получить одновременную кластеризацию трендовых патентов и трендовых SAO на одном и том же множестве кластеров. Далее полученные кластеры ранжируются по количеству трендовых патентов и им соотносятся принадлежащие патентные SAO.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Neuhäusler, P.; Frietsch, R., Rothengatter, O.* Patent Applications - Structures, Trends and Recent Developments 2013 (Studien zum deutschen Innovationssystem No. 4-2014). Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI).
2. A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend. В Yoon, Y Park. The Journal of High Technology Management Research 15 (1), 37-50, 2004.
3. *Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Представление физических знаний в автоматизированном банке физических эффектов // Известия вузов. Машиностроение. 1998. № 1–3. С. 55–61.
4. *Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Информационное наполнение баз данных по физическим эффектам // Информационные технологии. 2004. № 6. С. 60–62.
5. *Фоменков С.А., Давыдов Д.А., Колесников С.Г.* Автоматизированный информационный поиск физических эффектов // Информационные технологии. 2004. № 7. С. 30–34.
6. *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.
7. *Яровенко В.А., Фоменков С.А.,* Формирование интегрированной системы обработки структурированных физических знаний с применением мультиагентного подхода // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 12. № 7. С. 126–128.
8. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Кравец А.Г., Колесников С.Г.* Methods of Statistical and Semantic Patent Analysis. // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017 (Volgograd, Russia, September 12-14, 2017) : Proceedings / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Peter Groumpous ; Volgograd State Technical University [et al.]. – [Germany] : Springer International Publishing AG. 2017. P. 48-61. – (Ser. Communications in Computer and Information Science . Vol. 754).
9. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Колесников С.Г.* A function-based patent analysis for support of technical solutions synthesis. // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, Section 3.6. Modeling and computer technologies (Chelyabinsk, South Ural State University, May 19-20, 2016). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) [Piscataway, USA]. 2017 – DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911581.
10. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Кравец А.Г., Колесников С.Г.* Prior art candidate search on base of statistical and semantic patent analysis // International Conferences

Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2017 and Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 2017 : part of the Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2017 (Lisbon, Portugal, July 21–23, 2017) / ed. by Yingcai Xiao, Ajith P. Abraham ; IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Lisbon, Portugal]. 2017. P. 231–238.

11. Кобликов И.А., Коробкин Д.М., Фоменков С.А.,

Яровенко В.А. Методика извлечения описаний реализуемых в патенте технических функций // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 8 (203). С. 55–59.

12. Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Давыдова С.В., Айвазян А.В. Статистический анализ патентного массива для задач поиска и извлечения структурированной информации // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 1(196). С. 59–65.

УДК 004.82:504

Д. С. Парыгин¹, Н. П. Садовникова¹, А. В. Голубев¹, А. О. Недоступов¹, А. Г. Финогеев²

**ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА КАРТЕ ГОРОДА***

¹ Волгоградский государственный технический университет

² Пензенский государственный университет

dparugin@gmail.com, npsn1@ya.ru, ax.golubev@gmail.com,
teid96@gmail.com, alexeyfinozeev@gmail.com

В статье рассмотрены вопросы визуализации экологической информации на карте города. Описаны подходы к обработке и интерактивному представлению информации об экологии города, в том числе о наличии зеленых насаждений и воздействии промышленных объектов. Рассматривается способ расчета выбросов от одиночных источников для определения зоны влияния промышленных объектов.

Ключевые слова: территория города, геопространственные данные, экологическая карта, экология города, экологический баланс, источники загрязнения, зона влияния, оценка озеленения.

D. S. Parygin¹, N. P. Sadovnikova¹, A. V. Golubev¹, A. O. Nedostupov¹, A. G. Finozeev²

APPROACHES TO ECOLOGICAL INFORMATION VISUALIZATION ON THE CITY MAP

¹ Volgograd State Technical University

² Penza State University

In the article are considered the questions of visualization of ecological information on a city map. Approaches to the processing and interactive presentation of information on the ecology of the city, including the presence of green spaces and the impact of industrial objects are described. A method for calculating emissions from single sources, including a number of program functions for calculating an array of distances and parameters of the surface concentration at a certain point, is considered.

Keywords: city territory, geospatial data, environmental map, environment, ecological balance, pollution sources, influence zone, green plantations evaluation, industrial zone impact.

Введение

Одной из основополагающих характеристик качества городской среды является состояние ее экологии. Эта характеристика включает в себя много составляющих, определяемых воздействующими факторами и распределенностью в пространстве зон их влияния. Планирование развития городов, как и оперативное управление экологической ситуацией в современных условиях, должно оперировать актуальными данными, представленными в наглядной форме [1, 2].

Для оценки экологической ситуации используются различные технологии, позволяющие анализировать уровень опасности воздействий.

Тем не менее, существует проблема интеграции экологической информации и учета самых разных факторов, связанных, в том числе, с пространственным расположением объектов и организацией жизненного пространства [3].

В связи с этим существует необходимость в создании единого информационного ресурса, который обладает оперативной информацией об экологической обстановке в городе и с помощью визуализации делает эту информацию максимально доступной для широкого круга пользователей. Данный сервис может использоваться как инструмент для поддержки принятия решений при выборе вариантов развития

© Парыгин Д. С., Садовникова Н. П., Голубев А. В., Недоступов А. О., Финогеев А. Г., 2018

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-37-50033 «мод_нр», № 16-07-00388 «а», № 16-07-00353 «а», № 18-010-00204.

сложных территориально-распределенных систем городов, отражающий локальные условия развития и дающий представление о комплексных факторах устойчивого развития [4, 5].

1. Анализ подходов к сбору и представлению экологической информации

Вопросы предоставления актуальной информации о состоянии городской среды исследуются во многих работах. Так, например, автор статьи [6] рассматривает методы построения автоматизированных систем мониторинга экологической ситуации, а также описывает основные проблемы, которые необходимо решать при организации мониторинга экологической ситуации.

Существуют аналитические отчеты, которые представляют собой подборки данных по окружающей среде на определенной территории. Наиболее полную информацию об экологической обстановке в России можно получить на основе данных, предоставляемых Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [7].

Экологическую информацию, полученную в результате мониторинга городской среды, необходимо представлять в наиболее подходящем для анализа виде. Одним из наиболее эффективных способов представления такой информации являются экологические карты [8, 9].

Отдельно стоит говорить о решениях, подобных оценке Greenpeace озеленения Москвы в 2016 году на основе анализа снимков со спутника Sentinel-2 [10].

2. Подходы к обработке и интерактивному представлению информации об экологии города

В проводимом исследовании рассматривается возможность оценки экологического баланса территории города на основе анализа данных, находящихся в свободном доступе. Предполагается, что все объекты можно разделить на положительно и отрицательно влияющие на экологическую обстановку, или нейтральные. Положительное воздействие оказывают в первую очередь зеленые насаждения и водные ресурсы. Отрицательное влияние связано с функционированием объектов, которые можно отнести к следующим категориям:

1) промышленность;

2) места складирования отходов (контейнерные площадки, мусорные полигоны, свалки ТБО);

3) транспорт – выхлопы и шумовое загрязнение.

При этом объекты первого и третьего классов могут являться источниками не только атмосферного загрязнения, но и шумового, электромагнитного и пр.

Данные по каждому виду загрязнения могут отображаться на отдельном слое карты. На основе интеграции информации могут быть определены зоны, для которых суммарное влияние различных факторов наиболее существенно.

Для представления результатов исследования на карте используются данные картографического проекта OpenStreetMap (OSM). Данные проекта распространяются на условиях свободной лицензии Open Database License. На данный момент качество данных сопоставимо с коммерческими сервисами аналогами.

2.1. Оценка озелененных территорий

Большинство данных для решения рассматриваемой задачи можно получить из открытых источников, официальных документов и отчетов. Возможности современных картографических сервисов позволяют определять местоположение промышленных зон, дорог, мусорных полигонов и пр. Тем не менее, существует проблема устаревания информации. Например, информация по зеленым насаждениям, представленная в официальной градостроительной документации, существенно отличается от реальной.

В связи с этим, для оценки степени озеленения территории, предлагается использовать методы классификации ее участков на основе методов распознавания актуальных спутниковых снимков с использованием нейронной сети.

В проводившемся исследовании для этих целей применялись библиотеки машинного обучения для языка программирования Python. Классификация территории на наличие/отсутствие зеленых насаждений и определения их типов (газон, деревья, кустарники, др.) проводилась по следующей методике:

1. Получение снимков исследуемой территории.

2. Подготовка изображения к анализу:

а) определение зоны распознавания и привязка к масштабу карты. Снимок отображает квадратную территорию со стороной 850–1020 метров. Один метр соответствует в 2,5–3 пикселям для любых, распространяемых по ссылкам, онлайн-карт;

б) масштаб подбирается по соотношению видимой пользователем области и различимому человеческим глазом составу объектов территории с учетом разницы проекций снимков городов России, расположенных на всех широтах с севера на юг;

с) формирование изображения размером 2550*2550 пикселей.

3. Обучение нейронной сети:

а) подбор размера классифицируемого фрагмента общего изображения;

б) формирование обучающей выборки, включающей группы изображений с интересующими объектами, среди которых одна или несколько групп должны включать участки территорий, имеющих зеленые насаждения разных типов;

с) обучение классификатора.

4. Классификация снимка исследуемой территории (рис. 1):

а) использование нейронной сети, обученной на распознавание нескольких классов (например, «Деревья», «Трава» и «Антропогенные объекты»);

б) создание полупрозрачной цветовой маски для фрагментов снимка, включающих найденные объекты, относящиеся к интересующему классу (например, «Деревья»).

5. Формирование зоны покрытия:

а) создание контура для полученной маски исследуемого класса;

б) привязка контура к координатам на цифровой карте.



Рис. 1. Цветовая маска для класса «Деревья»

2.2. Учет воздействия объектов промышленного комплекса

Промзоны – территории, отведенные по генеральному плану и правилам землепользования и застройки (ПЗЗ) под размещения объектов промышленного производства следует рассматривать как источники загрязнения городской среды даже при условии соблюдения размещенными на них предприятиями экологических требований по предельным концентрациям (ПДК) опасных веществ. В общем случае, хозяйственная деятельность производственных объектов продуцирует выбросы в атмосферу химических элементов, их попадание в сточные воды и утилизацию с отработанными материалами в почву. Кроме того, рабочие процессы могут породить различные излучения, тепловой нагрев атмосферы, шумовое загрязнение.

Для различных видов промышленности из-

вестны нормативы выбросов, ПДК загрязняющих веществ, основные влияющие факторы [11]. При этом такие источники могут пребывать в двух основных состояниях:

1) нормальное функционирование;

2) возникновение чрезвычайных ситуаций.

Во втором случае предполагается вероятность возникновения критических событий, влекущих за собой произвольное количество выбросов, вероятно превышающих допустимые значения. Такие условия требуют проведения целенаправленных изысканий, ориентированных на конкретные особо опасные объекты.

Однако для первого случая может быть рассчитан регулярный потенциал воздействия на окружающую среду. Для этого предлагается использовать ряд классификаторов промышленных предприятий, а также соответствующих им уровней и тип загрязняющих веществ [12]:

1. Критерии отнесения объектов к категориям по степени оказываемого негативного воздействия на окружающую среду.

2. Классификация по отраслевой принадлежности, назначения готовой продукции и времени работы в течение года.

3. Типизация производств на основе оценки степени охвата стадий производства, спе-

циализации и автоматизации.

С точки зрения представления результатов расчетов на цифровой карте, предполагается ввести двойную градацию, дифференцирующую силу воздействия и ареал его распространения. При этом на данном этапе исследований производственные комплексы рассматриваются как точечные источники (рис. 2).

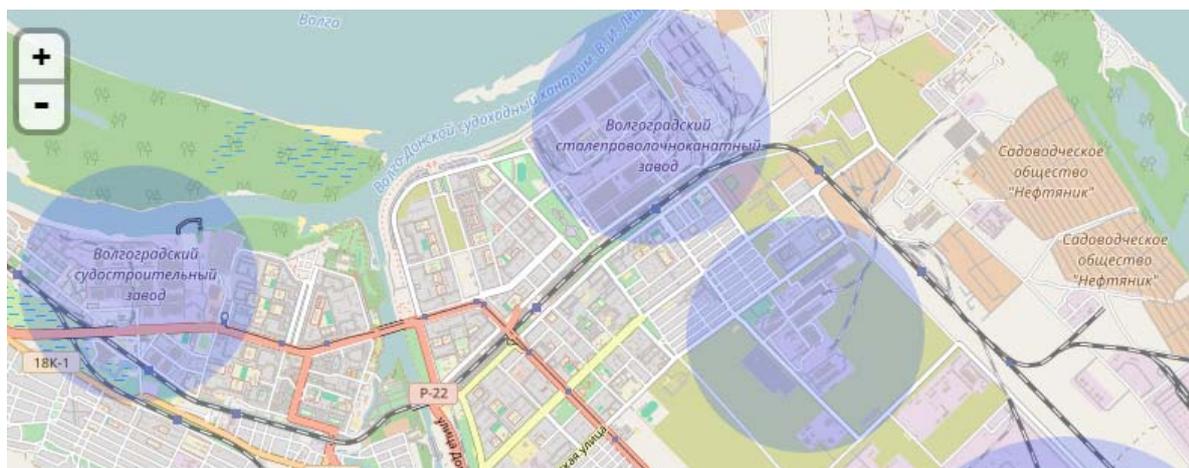


Рис. 2. Ареал распространения потенциального вредного воздействия промышленного предприятия

3. Расчеты выбросов от одиночных источников

Алгоритм расчета рассеивания выбросов от одиночного источника состоит:

- из расчета массива расстояний;
- расчета параметров, необходимых для определения приземной концентрации в точке с координатами (x, y);
- расчета приземных концентраций в точке с координатами (x, y) в исходной системе координат.

Далее представлены примеры реализации данного алгоритма в системе MATLAB.

Для расчета массива расстояний от каждого источника выброса до данной точки с координатами (x, y) производится поворот системы координат: начало помещается в точке с координатами источника, ось X направляется по направлению ветра, ось Y – перпендикулярно направлению ветра против часовой стрелки по отношению к оси X.

Расчет угла для случая, когда точка, концентрацию в которой будем рассчитывать, лежит на оси X:

$$\begin{aligned} & \text{if } y - y_1 = 0 \\ & \beta \leftarrow 0 \quad \text{if } x - x_1 = 0 \\ & \beta \leftarrow \pi \quad \text{if } x - x_1 < 0 \\ & \beta \leftarrow 0 \quad \text{otherwise} \end{aligned} \quad (1)$$

Расстояние от источника выброса до точки, в которой будем рассчитывать концентрацию:

$$rr \leftarrow \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}. \quad (2)$$

Координаты точки (x, y) в системе координат X, Y:

$$\begin{aligned} xxx_0 & \leftarrow \text{if} \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \leq |\beta - \alpha| \leq 3 \cdot \frac{\pi}{2}, 0, rr \cdot \cos(\beta - \alpha) \right] \\ xxx_1 & \leftarrow \text{if} \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \leq |\beta - \alpha| \leq \frac{3 \cdot \pi}{2}, 0, rr \cdot \sin(\beta - \alpha) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициент, с помощью которого будет рассчитываться концентрация перпендикулярно оси X (концентрация будет убывать по мере удаления от точки на факеле выброса):

$$s_2 \leftarrow \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12.8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45.1 \cdot t_y^4)^2}. \quad (4)$$

Расчет приземных концентраций в точке с координатами (x, y) в исходной системе координат реализуется в следующей последовательности:

1. В преобразованной системе координат (рис. 3) определяется отношение абсциссы точки по направлению факела выброса, концентрацию в которой мы определяем, к расстоянию до точки максимума концентраций.

2. В зависимости от переменных и константы определяется поправочный коэффициент.

3. Максимальная концентрация, рассчитанная для фактической скорости ветра по направлению факела, умножается на поправочный коэффициент. Получается значение концентрации в произвольной точке по направлению факела выброса для каждого вещества.

4. Значение концентрации используется для вычисления концентрации в направлении, перпендикулярном факелу – до точки с координатами (x,y) . Получаем значение концентрации в абсолютных единицах, $\text{мг}/\text{м}^3$.

5. После деления на ПДК получаем значение концентраций для каждого вещества в безразмерных единицах.

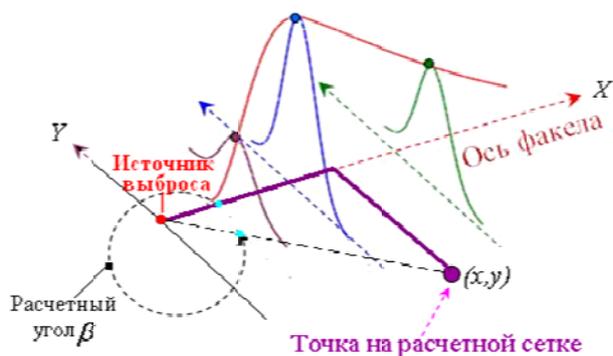


Рис. 3. Преобразование системы координат

Заключение

На основе полученных моделей реализованы слои интерактивной онлайн-карты, которая дает возможность анализировать экологическую обстановку в различных частях города.

Одним из перспективных направлений является рассмотрение совокупного воздействия на территорию различных источников загрязнения. Кроме того, предполагается реализовать возможность автоматической генерации поправок формы контура воздействия с учетом розы ветров для конкретных населенных пунктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парыгин, Д. С. Информационно-аналитическая поддержка задач управления городом : моногр. / Д. С. Парыгин, Н. П. Садовникова, О. А. Шабалина ; ВолгГТУ – Волгоград, 2017. – 116 с.
2. Концепция информационно-аналитической системы управления развитием города / Д. С. Парыгин, В. А. Камаев, Н. П. Садовникова, А. Ю. Миронов // Инновационные информационные технологии : мат-лы Междунар. науч.-практич. конф., Прага, Чехия, 22–26 апр. 2013 г. – М. : МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – Т. 4. – С. 205–213.
3. Парыгин, Д. С. Модель интеркоммуникационной системы обеспечения потребностей жителей города / Д. С. Парыгин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 17. № 14 (117). – С. 90–95.
4. Парыгин, Д. С. Построение траекторий территориального развития на основе методов сценарного прогнозирования [Электронный ресурс] / Д. С. Парыгин, Н. П. Садовникова, Н. П. Жидкова // Интернет-вестник ВолгГАСУ : серия Строительная информатика. – 2012. – № 8 (24). – Режим доступа : [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Parygin-Sadovnikova-2012_8\(24\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Parygin-Sadovnikova-2012_8(24).pdf)
5. Evaluating the sustainability of Volgograd / N. Sadovnikova, D. Parygin, E. Gnedkova, B. Sanzhapov, N. Gidkova // The Sustainable City VIII : Proceedings of the Eight International Conference on Urban Regeneration and Sustainability, Section 3, Putrajaya, Malaysia, 3–5 December 2013. – WIT Press, 2013. – P. 279–290.
6. Ивацук О. А. Технология интеллектуального мониторинга экологической ситуации // Образование, наука и производство. – 2013. – № 1 (2).
7. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). – Режим доступа : <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2016.pdf>
8. Экологическая карта России [Электронный ресурс] / Вокруг Света. – Режим доступа : <http://map.vokrugsveta.ru/maps/>
9. Народная экологическая карта России [Электронный ресурс] / Зеленый патруль. – Режим доступа : <http://www.greenpatrol.ru/ru>
10. Власова, И. Город-сад или город-ад? [Электронный ресурс] / И. Власова, В. Яблоков. – Режим доступа : <http://www.greenpeace.org/russia/ru/news/2016/greenMoscow/>
11. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) «Об охране окружающей среды».
12. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух / НИИ охраны атмосферного воздуха МООСПР РФ. Фирма «Интеграл». – Спб., 2010.

УДК 004.942:336.761

*А. В. Петрухин, К. А. Шевченко***ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПОИСКА
И ВЫБОРА БИРЖЕВЫХ СТРАТЕГИЙ****Волгоградский государственный технический университет**
htr753@list.ru

В данной статье предлагается подход для решения проблемы поиска эффективной стратегии начинающим трейдерам. Описываются трудности, связанные с поиском. Приводится один из наборов классификаций торговых стратегий. В качестве решения проблемы предлагается автоматизация поиска. Данную автоматизацию предлагается реализовать в виде автоматизированной информационно-поисковой системы, в которой могут содержаться широко известные стратегии, а также стратегии пользователей. Для эффективной работы предлагаемого подхода к автоматизации поиска описывается принцип формирования унифицированной модели биржевой торговой стратегии.

Ключевые слова: биржевые торговые стратегии, автоматизированная поисковая система, трейдинг, модель описания.

*A. V. Petrukhin, K. A. Shevchenko***ABOUT ONE APPROACH TO AUTOMATING SEARCH
AND CHOOSING OF STOCK STRATEGIES****Volgograd State Technical University**

This article proposes an approach to solve the problem of finding an effective strategy for novice traders. The paper describes the difficulties involved in finding. The article gives one of the sets of trade strategy classifications. The solution for this problem is to automate the search. This automation is proposed as an automated information and search system that can contain well-known strategies as well as user strategies. For the efficient operation of the proposed approach to automate searching describes the principle of the formation of the unified model stock trading strategy.

Keywords: stock trading strategies, automated search engine, trading, description model.

Введение

Большое число людей в настоящее время торгуют на бирже. Для кого-то из них это профессия, для кого-то это является дополнительным заработком, а для кого-то это просто увлечение. Широкое распространение такого вида деятельности обусловлено, в частности, тем, что вход в эту деятельность обманчиво прост: выбрать себе брокера, открыть у него счет, установить необходимое программное обеспечение, предоставляемое выбранным брокером, и можно начинать торговать на бирже. Однако всем этим людям, прежде всего, требуется найти эффективную стратегию совершения сделок.

На первый взгляд, поиск стратегии не является большой проблемой, так как они широко представлены в различной популярной литературе, учебниках и в сети Интернет. Однако далеко не все они работоспособны, и не каждый человек способен разобраться в них, также они могут выглядеть завлекающими, а на деле не несут никакой полезной информации, о чем упоминается в книге А. С. Кияницы [3].

Начинающий трейдер теряется в этом информационном потоке, начинает перебирать найденные материалы, ему трудно работать со всей

этой совокупностью. Та же стратегия может быть привлекательной за счет факторов, напрямую не относящихся к ее доходности. Она может быть описана увлекательным языком или предлагать большие прибыли или, возможно, она показывала раньше отличные результаты, наконец, она может излагаться от имени авторитетного человека. Привлекательный вид стратегии вынуждает человека выбирать то, что ему может не подходить как по индивидуальным требованиям, так и по психологическим показателям.

Под индивидуальными требованиями мы будем подразумевать:

- 1) объем вложений, необходимых для начала «игры» (под словом «игра» подразумевается ведение своей биржевой деятельности, например, покупка или продажа ценных бумаг);
- 2) величину возможного заработка;
- 3) количество затрачиваемого времени;
- 4) какими инструментами нужно будет пользоваться;
- 5) требуемый уровень знаний трейдера.

Под психологическими показателями мы будем подразумевать:

- 1) способность трейдера четко следовать шагам, прописанным в стратегии;

2) его психическую устойчивость из-за воздействия различных неблагоприятных факторов. Яркий пример упоминается в книге Д. Д. Мэрфи [4].

Трейдеру, прежде всего, необходимо выбрать стратегию, ориентированную на соответствующий ему так называемый профиль инвестора. Под профилем инвестора будем подразумевать систему предпочтений индивидуума в инвестиционных решениях, таких как, каким финансовым инструментом склонен торговать данный трейдер, на какой риск он готов пойти, сколько трейдер готов потратить на биржевую деятельность и на какой срок она будет осуществляться.

Множество интернет-ресурсов предлагают определить свой инвестиционный профиль, а большинство задаваемых вопросов при его определении помогут на начальном пути в ответе на базовые вопросы. Определив свой профиль инвестора и продолжив поиск стратегий с учетом его, можно сузить результат выборки подходящей стратегии, но в большинстве случаев количество торговых стратегий остается слишком большим и человеку по-прежнему будет сложно в них ориентироваться, чтобы выбрать себе подходящую.

Один из возможных наборов классификаций стратегий

Важным фактом является то, что одни и те же стратегии по-разному описаны. Это может быть общая идея, в которой не описаны четкие действия, и трейдеру приходится самому домысливать некоторые действия, а может быть это пример конкретной жесткой стратегии, где только последовательное соблюдение всех шагов приведет трейдера к получению прибыли.

Стратегии классифицируются по-разному, и один из возможных наборов классификаций может выглядеть следующим образом:

1) временной период – данный классификатор разбивает стратегии на долгосрочные, среднесрочные, краткосрочные и сверхкраткосрочные инвестиционные биржевые стратегии;

2) тип торгуемого инструмента – каким инструментом будет зарабатывать трейдер. Распространенными являются акция, фьючерс или опцион. Нередко встречаются стратегии, подразумевающие торговлю с несколькими финансовыми инструментами;

3) контроль в принятии решения – стратегия: это набор правил, которым следует трейдер, но человек сугубо индивидуален. Он мо-

жет неукоснительно следовать инструкции, а может действовать в зависимости от ситуации, поэтому данный классификатор разделяет стратегии на дискреционные и механические;

4) по соответствию профилю потенциально инвестора – как уже ранее описывалось, определив свой профиль инвестора, трейдер может найти для себя подходящую стратегию и, поэтому, данный классификатор будет разбивать стратегии для различных профилей, а именно, агрессивный, консервативный, рациональный и другие;

5) по методу принятия торгового решения – данный классификатор разделяет стратегии на относящиеся к фундаментальному анализу или к техническому анализу. В свою очередь каждый из этих анализов использует собственный набор средств для определения торгового решения, будь то, решение о входе в «позицию» (покупка или продажа какого-нибудь торгуемого инструмента с последующей его продажей или покупкой) или выходе из нее.

Под средствами в данном случае подразумеваются различные показатели, технические индикаторы [4, 5, 8, 11]. В основе фундаментальных стратегий лежит анализ по системе «государство-отрасль-предприятие», а также использование информации о различных политических и экономических новостях в СМИ. Технические стратегии опираются на различные математические зависимости и показания индикаторов.

Немаловажным аспектом в поиске подходящей стратегии является то, где именно трейдер ее обнаружит. Он может найти ее в популярной литературе, где она будет красочно описываться, и непременно подкрепляться какой-либо интересной историей о том, как ее придумали, и сколько было заработано, благодаря ней. Как правило, по таким стратегиям уже нельзя заработать ту сумму, про которую рассказывается, так как подобные стратегии предполагают какую-нибудь определенную ситуацию на рынке или чтобы о ней не знало большое число людей.

Другим вариантом для поиска могут служить учебники по экономике или по ведению биржевой деятельности, в них зачастую описаны общие принципы для ведения торгов, а также, может приводиться список стратегий, из которого трейдер может взять несколько себе на рассмотрение. Как правило, находящиеся там стратегии не принесут большой прибыли

трейдеру, но могут найтись экземпляры, с помощью которых новичок может опробовать свои силы на бирже. Стоит упомянуть, что существует класс источников, иногда, именуемых как «литература ради литературы». Обычно в таких источниках приводится скопированная информация из других уважаемых источников, таких как, например, [4, 6, 11, 12], или хуже того, скопирована основа какой-нибудь известной стратегии, но внесены некоторые изменения, которые никак не проверены. Такие источники довольно опасны для начинающих трейдеров.

Немаловажным источником полезной информации стоит назвать различные сайты или форумы, посвященные ведению биржевой деятельности. Потратив несколько часов на ознакомление с имеющейся информацией на этих сайтах или форумах, можно отыскать для себя неплохую стратегию, которая хорошо описана.

Главным преимуществом такого источника является возможность пообщаться с автором найденной стратегии. Но попадаются сайты, где за выложенные стратегии требуют плату. Трейдер, заплатив сумму, получает их продукт с полной информацией о том, как работать по данной стратегии. Однако могут попасться такие сайты, где продают стратегии, которые можно найти и в озвученных ранее источниках. Все это ведет к тому, что у человека может пропасть желание заниматься торговлей на бирже или он будет вынужден под этим ин-

формационным давлением выбирать себе неподходящую стратегию.

Предлагаемое решение

Предлагаемое решение заключается в том, что необходимо какое-то унифицированное хранение торговых стратегий с единообразным представлением, а также их стандартизованным описанием. Даже предложив такое решение, описаний будет слишком много и человеку будет трудно ориентироваться в них, соответственно должна быть возможность поиска информации по такому списку. Для решения поиска существует целый класс информационных систем, а именно автоматизированные информационно-поисковые системы (АИПС) [1, 2, 7, 10].

АИПС по торговым стратегиям хранит в своей базе список известных стратегий и выдает пользователю наиболее подходящую из них на его запрос. Запрос может быть выполнен на естественном языке или по определенным критериям, заданным самой системой.

Чтобы успешно реализовать все вышеперечисленное была разработана соответствующая модель представления торговых стратегий. В ней используются различные параметры, которые наиболее полно описывают стратегию и были перечислены выше. В частности, для решения данной задачи на данном этапе набор этих параметров формализуется в виде описательной модели такого вида:

$$\text{Model} = \langle Z; \text{IPr}; (N_1, N_2); K; (t_1, t_2); V; S; L[\text{pr}; i]; Q; (E_1, E_2); G; R[M]; W; U \rangle$$

Z – метод принятий торгового решения;
 IPr – профиль инвестора;
 N₁ – номер торговой стратегии в базе данных;
 N₂ – наименование торговой стратегии;
 K – контроль в принятии решения;
 t₁ – временной период;
 t₂ – таймфрейм;
 V – количество торгуемых инструментов;
 S – тип торгуемого инструмента;
 L – специальные условия и ограничения;
 pr – процент, используемый для ограничения в риск-менеджменте;
 i – дополнительная информация по условиям и ограничениям;
 Q – совокупность дескрипторов;
 E₁, E₂ – краткое и расширенное описание текстовой сущности и математической модели;
 G – графическое представление торговой стратегии (при его наличии);
 R – техническая реализация (для алгоритмического трейдинга);

M – язык, на котором осуществляется техническая реализация;

W – перечень литературных источников;

U – дополнительная информация.

Данная модель пригодна для эффективного использования в АИПС по торговым стратегиям.

Для удобства пользователя все его действия будут сведены к простому выбору:

- 1) выбрать стратегию, наиболее полно удовлетворяющую его запросу;
- 2) добавить новую стратегию в базовый список.

Сам поиск максимально точно находит необходимую стратегию, согласно пользовательскому запросу [9]. Стратегии будут помещаться в базу знаний согласно приведенной модели, которую впоследствии можно расширить. Такая система может быть реализована, как приложение для персонального компьютера с доступом к единой базе данных, в которой пользователь может использовать широко известный

перечень стратегий или придумывать свои собственные, с последующей публикацией по желанию. Вторым вариантом может служить мобильное приложение, в котором существует локальная база стратегий, в которой находятся только стратегии, принадлежащие самому пользователю.

Заключение

Использование данного подхода позволит множеству трейдеров гораздо более эффективно проходить процедуру поиска торговых стратегий. В свою очередь это убережет трейдеров от неверных решений в плане поиска подходящих и эффективных стратегий, позволит повысить качество «игры», увеличит возможность получения прибыли и в целом создаст для конкретного трейдера более благоприятную обстановку для биржевой активности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Криницкий, Н. А. Автоматизированные информационные системы / Н. А. Криницкий, Г. А. Миронов, Г. Д. Фролов. – М.: Наука, 1982. – 381 с.
2. Гайдамакин, Н. А. Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. – М.: Гелиос АРВ, 2002, – 367с.
3. Кияница, А. С. Фундаментальный анализ финансовых рынков. – СПб.: Питер. – 2005. – 288 с.

4. Мэрфи, Д. Д. Технический анализ фьючерсных рынков: теория и практика : пер. с англ. – М.: Альпина Паблшер, 2004. – 479 с.

5. Петрухин, А. В. Архитектура биржевого робота для работы в среде торгового терминала QUIK / А. В. Петрухин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). – С. 138–141.

6. Кан, М. Н. Технический анализ. Просто и ясно. – СПб.: Питер, 2005. – 320 с.

7. Представление физических знаний для автоматизированных систем обработки информации : моногр. / С. А. Фоменков, А. В. Петрухин, В. А. Камаев, Д. А. Давыдов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 1998. – 128 с.

8. Петрухин, А. В. Компьютерная визуализация биржевых данных о динамике фондового рынка / А. В. Петрухин, А. С. Стешенко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 6(163). С. 124–129.

9. Петрухин, А. В. Мультидисциплинарный подход к реализации инструментальных средств информационного поиска и поддержки принятия решений / А. В. Петрухин, А. С. Колесников, А. А. Фролов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 6 (163). С. 186–190.

10. Петрухин, А. В. Структуризация рисков при формировании комплексов инструментальных программных средств автоматизации на основе спиральной модели Бозема / А. В. Петрухин, А. А. Фролов, А. С. Колесников // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 6(163). С. 190–196.

11. Швагер, Д. Технический анализ. Полный курс : пер. с англ. – М.: Альпина Паблшер, 2011. – 804 с.

12. Даглас, М. Дисциплинированный трейдер. Бизнес-психология успеха. – М.: Евро, 2004. – 288 с.

УДК 004.89

Д. В. Шабанов, Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников

МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОПИСАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ИЗ ПАТЕНТНЫХ ТЕКСТОВ*

Волгоградский государственный технический университет

dkorobkin80@mail.ru

Данная работа посвящена извлечению описаний технических функций из естественно-языковых документов патентного массива. Под понятием технической функции подразумевается семантическая структура, состоящая из триплета «Субъект – Действие – Объект», а также атрибутивных связей, относящихся к его составным частям. Разработаны алгоритмы извлечения и сравнения технических функций.

Ключевые слова: семантический анализ, патент, техническая функция, сравнение семантических деревьев технических функций, теория «Смысл-Текст».

D. V. Shabanov, D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov, S. G. Kolesnikov

METHOD OF TECHNICAL FUNCTION EXTRACTION FROM PATENT TEXTS

Volgograd State Technical University

This study is devoted to the extraction of descriptions of technical functions from the natural language documents of the patent database. The technical function is presented as a semantic structure consisting of a triplet «Subject-Action-Object». There were developed the algorithms of construction of dependency trees, SAO extraction and SAO comparison algorithms.

Keywords: semantic analysis, patent, technical function, comparison of semantic trees, Meaning Text Theory.

© Шабанов Д. В., Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Колесников С. Г., 2018

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-07-00534 А, № 18-07-01086 А).

Итог морфологического и семантического анализа

После токенизации	После морфологического анализа	После семантического анализа
The	The DT the	1 the the DT DT _ 3 det
super-capacitor	super-capacitor NN super-capacitor	2 super-capacitor super-capacitor NN NN _ 3 nn
electrode	electrode NN electrode	3 electrode electrode NN NN _ 5 nsubj
further	further RBR further	4 further further RBR RBR _ 5 advmod
comprises	comprises VVZ comprise	5 comprises comprise VVZ VVZ _ 0 null
a	a DT a	6 a a DT DT _ 9 det
silane	silane NN silane	7 silane silane NN NN _ 9 nn
coupling	coupling NN coupling	8 coupling coupling NN NN _ 9 nn
agent	agent NN agent	9 agent agent NN NN _ 5 pobj
for	for IN for	10 for for IN IN _ 9 prep
binding	binding VVG bind	11 binding bind VVG VVG _ 10 ccomp
the	the DT the	12 the the DT DT _ 15 det
organic	organic JJ organic	13 organic organic JJ JJ _ 15 amod
adhesive	adhesive NN adhesive	14 adhesive adhesive NN NN _ 15 nn
agent	agent NN agent	15 agent agent NN NN _ 11 pobj
and	and CC and	16 and and CC CC _ 15 cc
the	the DT the	17 the the DT DT _ 21 det
uncorroded	uncorroded JJ uncorroded	18 uncorroded uncorroded JJ JJ _ 21 amod
smooth	smooth JJ smooth	19 smooth smooth JJ JJ _ 21 amod
metal	metal NN metal	20 metal metal NN NN _ 21 nn
foil	foil NN foil	21 foil foil NN NN _ 15 conj

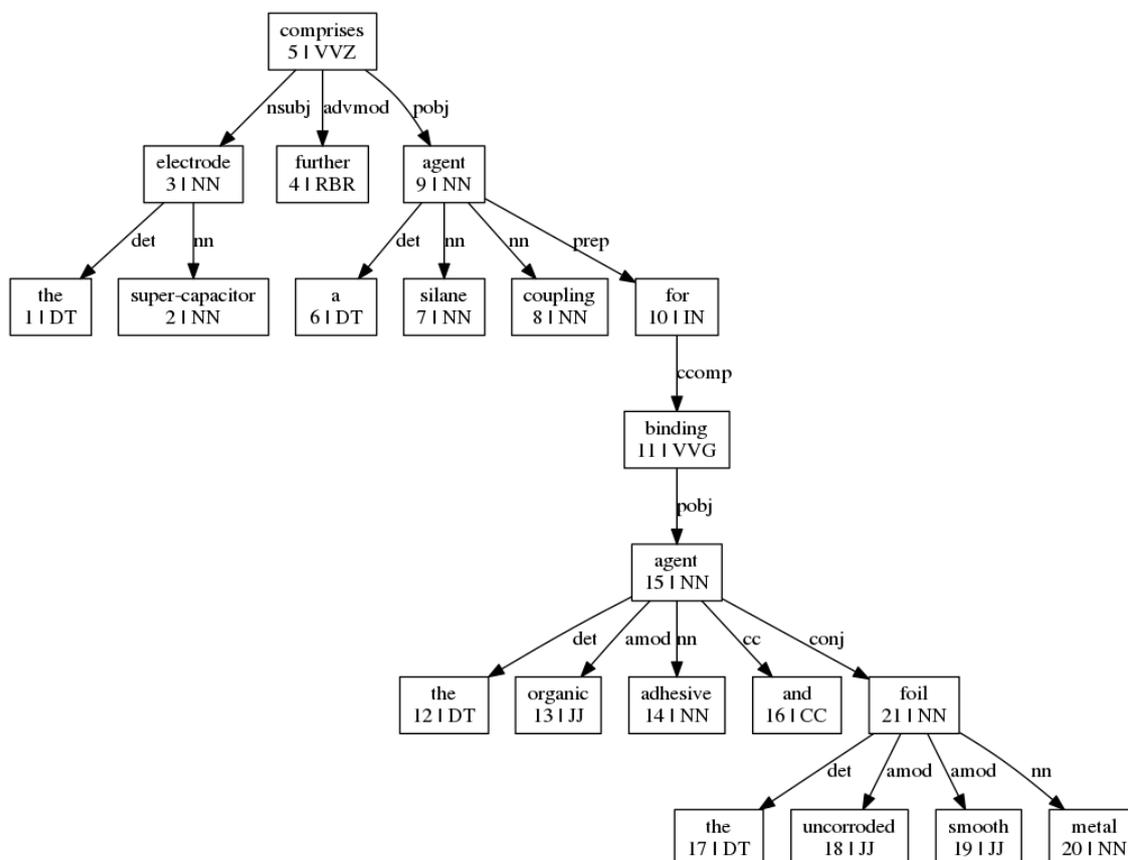


Рис. 1. Графическое представление дерева зависимостей

слов основаны на следующих частях речи: глагол VBG (герундий или причастие настоящего времени), VBZ (глагол третьего лица единственного

слов основаны на следующих частях речи: глагол VB (герундий или причастие прошедшего времени),

числа настоящего времени)); существительное (NN); прилагательное (JJ); предлог (IN); артикль (DT); завершение предложения (SENT).

Далее следует этап синтаксического и семантического анализа [9, 10]. Синтаксический анализ – это процесс сопоставления линейной последовательности лексем естественного языка с его формальной грамматикой. Результатом является синтаксическое дерево, вершины которого представляют собой лексемы, а ребра – синтаксические связи между этими лексемами. Цель семантического анализа – установление смысловых отношений между словами. На этом этапе осуществляется переход от поверхностных синтаксических связей к смысловой интерпретации текста, дерево дополняется данными о семантике объектов и результатом является построение дерева зависимостей.

В качестве семантического анализатора используется библиотека MaltParser. Входным и выходным форматом данных для нее является формат CoNLL. Для каждого предложения строится дерево зависимостей (рис. 1), которое в текстовом виде представлено в табл. 1.

Представление стэнфордских зависимостей (англ. Stanford Dependencies) разработано для обеспечения простого описания грамматических отношений. В данном примере дерево зависимостей содержит 11 (всего может быть 50) грамматических отношений: «advmod» – прилагательное дополнение; «amod» – модификатор прилагательного; «cc» – координация; «ccomp» – клаузуальное дополнение; «conj» – соединение; «det» – определитель; «nnp» – модификатор составного существительного; «nsubj» – номинальный субъект; «obj» – объект; «prep» – модификатор предлога и вершину дерева «null».

3. Алгоритм извлечения технических функций

На предыдущем этапе были построены деревья зависимостей, по одному на каждое предложение. Далее из деревьев необходимо удалить вершины, имеющие семантически мало значимые роли, такие как: «aux» – вспомогательный глагол; «auxpass» – вспомогательный глагол в страдательном залоге; «cc» – координация; «det» – определитель; «predet» – преопределитель; «prep» – модификатор предлога; «prt» – фразовая глагольная частица; «punct» – знак пунктуации и т. д.

Вершина с семантической ролью «conj» (конъюнкция) перенимает семантическую роль своей родительской вершины, после этого родительской вершиной для нее становится родительская вершина ее первоначальной родительской вершины. Таким образом получаем сокращенные стэнфордские зависимости (Collapsed Stanford Dependencies), пример которых можно увидеть в табл. 2.

Применим подход, опирающийся на теорию «Смысл-Текст» [11] (англ. Meaning-Text Theory, МТТ). Сокращенные деревья со стэнфордскими зависимостями преобразуются в набор глубинно-синтаксических структур (англ. Deep Syntactic Structures, DSyntS), объединяя стэнфордские зависимости в группы:

– актантное отношение I: «agent» – агент, «csubj» – клаузуальный субъект, «csubjpass» – клаузуальный пассивный субъект, «nsubj» – номинальный субъект, «nsubjpass» – номинальный пассивный субъект, «subj» – субъект, «xsubj» – контролирующий субъект и т. п.

– актантное отношение II: «dobj» – прямой объект, «iobj» – непрямой объект, «obj» – объект, «obj» – объект предлога и т. п.

– атрибутивное отношение (attr – от англ. attributive): «amod» – модификатор прилагательного, «cop» – связка, «neg» – модификатор отрицания, «npn» – модификатор составного существительного, «poss» – модификатор владения, «pos» – притяжательный модификатор и т. п.

– сочинительное отношение (coord – от англ. coordinating): «ccomp» – клаузуальное дополнение, «xcomp» – открытый клаузуальный компонент и т. п.

Пример построения глубинно-синтаксических структур из сокращенных стэнфордских зависимостей приведен в табл. 2.

Далее из полученных глубинно-синтаксических структур необходимо извлечь технические функции, представляющие сокращенную глубинно-синтаксическую структуру, в которой корневой вершиной является «Действие» (Action), то есть глагол, а его дочерними элементами – «Субъект» (Subject, I актантное отношение) и «Объект» (Object, II актантное отношение) этого действия. Субъектов и объектов может быть несколько, помимо этого для каждого субъекта, объекта и действия извлекаются его дочерние атрибутивные связи.

Пример сокращения стэндфордских зависимостей

Стэндфордские зависимости	Сокращенные стэндфордские зависимости	Глубинно-синтаксическая структура
det(electrode-3, the-1) nn(electrode-3, super-capacitor-2) nsubj(comprises-5, electrode-3) advmod(comprises-5, further-4) root(root-0, comprises-5) det(agent-9, a-6) nn(agent-9, silane-7) nn(agent-9, coupling-8) pobj(comprises-5, agent-9) prep(agent-9, for-10) ccomp(for-10, binding-11) det(agent-15, the-12) amod(agent-15, organic-13) nn(agent-15, adhesive-14) pobj(binding-11, agent-15) cc(agent-15, and-16) det(foil-21, the-17) amod(foil-21, uncorroded-18) amod(foil-21, smooth-19) nn(foil-21, metal-20) conj(agent-15, foil-21)	nn(electrode-3,super-capacitor-2) nsubj(comprises-5,electrode-3) advmod(comprises-5,further-4) root(root-0,comprises-5) nn(agent-9,silane-7) nn(agent-9,coupling-8) pobj(comprises-5,agent-9) ccomp(agent-9,binding-11) amod(agent-15,organic-13) nn(agent-15,adhesive-14) pobj(binding-11,agent-15) amod(foil-21,uncorroded-18) amod(foil-21,smooth-19) nn(foil-21,metal-20) pobj(binding-11,foil-21)	ATTR(electrode-3, super-capacitor-2) I(comprises-5, electrode-3) ATTR(comprises-5, further-4) root(root-0, comprises-5) ATTR(agent-9, silane-7) ATTR(agent-9, coupling-8) П(comprises-5, agent-9) COORD(agent-9, binding-11) ATTR(agent-15, organic-13) ATTR(agent-15, adhesive-14) П(binding-11, agent-15) ATTR(foil-21, uncorroded-18) ATTR(foil-21, smooth-19) ATTR(foil-21, metal-20) П(binding-11, foil-21)

Для увеличения информативности структур «Субъект» – «Действие» – «Объект» производится объединение нескольких SAO в один со-

гласно разработанному алгоритму группировки (сравнения) (рис. 3).

4. Алгоритм группировки SAO

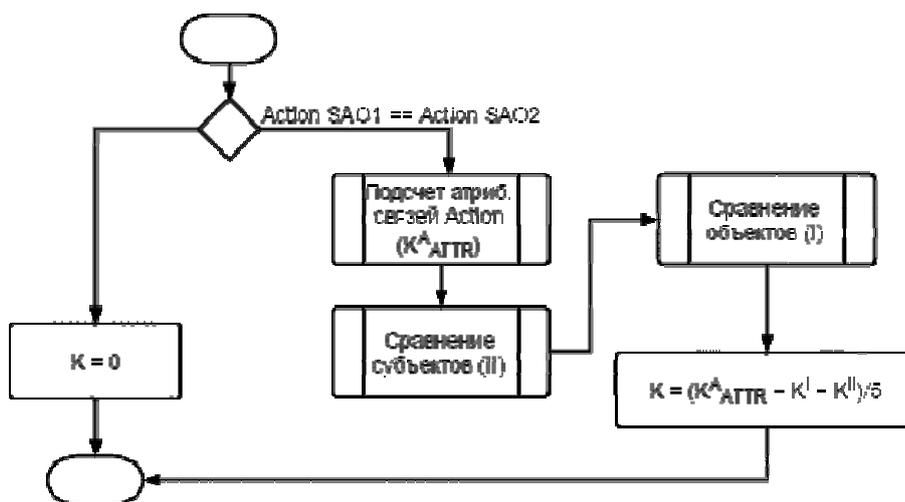


Рис. 3. Алгоритм сравнения технических функций

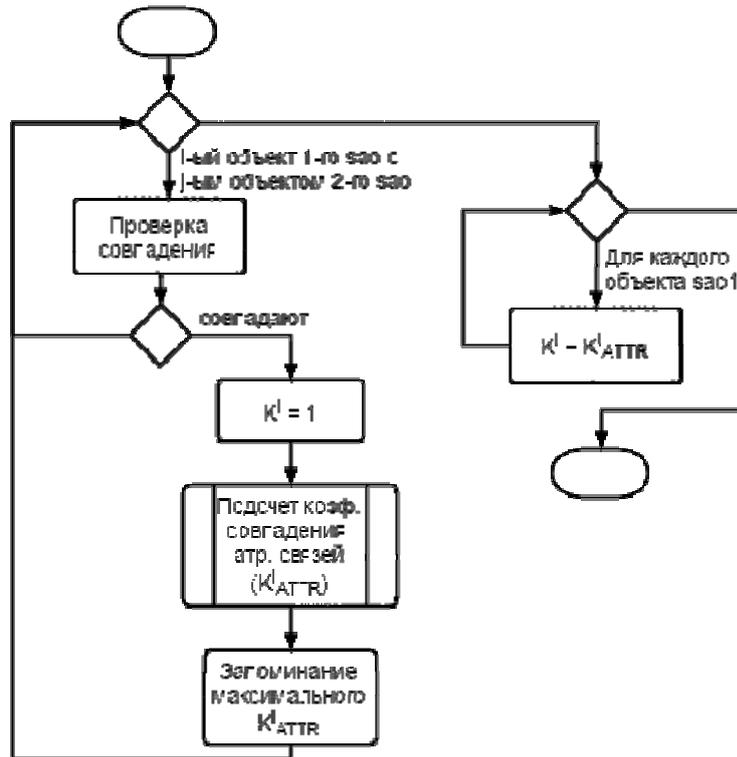


Рис. 4. Алгоритм сравнения «Объектов» в технической функции

Алгоритм сравнения «Субъектов» в технической функции аналогичен алгоритму сравнения «Объектов».

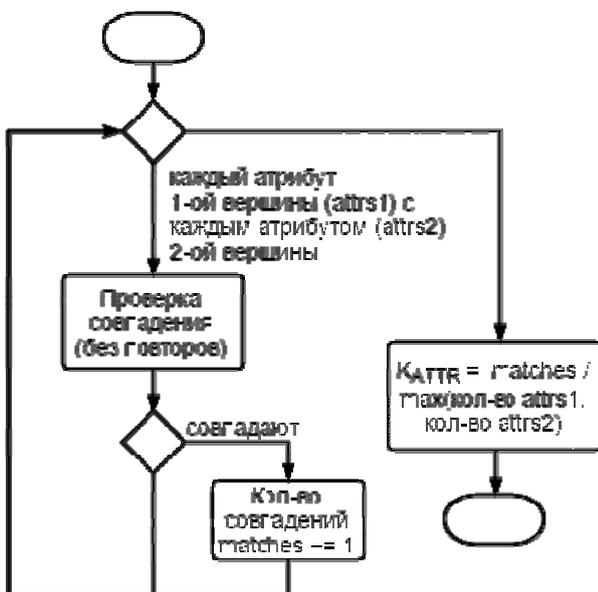


Рис. 5. Алгоритм подсчета совпадения атрибутивных связей

В соответствии с теорией «Смысл-Текст» на уровне глубинно-синтаксических структур отражены семантические зависимости между терминами (словами), представленные в виде

дуг, направленных из предикатных вершин («Действие» SAO) в вершины аргументов («Субъект» и «Объект»). Например, первое SAO из предложения «The second end electrode and the center electrode of the first tubular body are electrically connected to the center electrode and the first end electrode, respectively, of the second tubular body» и второе SAO из предложения «The center electrode is connected to the terminal through an internal wire» имеют вид, представленный на рис. 6. На нулевом уровне представления SAO – корневые (ROOT) вершины («Действия»), на первом уровне – это актантные отношения I, II («Субъект» и «Объект» соответственно), на втором уровне – атрибутивные отношения.

4.1. Первый этап сравнения SAO

На первом этапе идет сравнение по «Действию» (Action, ROOT-вершина). Если вершины первого SAO (ПОЗ) и второго SAO (ПОД) не совпадают, то дальнейшее сравнение деревьев SAO не производится, коэффициент подобия по «Действию» (Action) равен 0. Если «Действия» ПОЗ и ПОД совпадают, то сравниваются атрибутивные (ATTR) структуры, связанные с ROOT-вершиной (Action, Действие).

При сравнении на каждом уровне, если какой-либо терм (слово) не совпал, то он прове-

ряется на значимость. Проверка значимости термина производится на основе заранее подготовленной таблицы, в которой определены коэффициенты IDF (inverse document frequency) – инверсная частота, с которой термины встречается в документах патентной базы. Если IDF тер-

ма выше порогового значения, то слово значимым не является и не учитывается в расчете коэффициента подобия.

В нашем случае вершины «Действие» совпадают, а их атрибутивные структуры – нет (рис. 6).

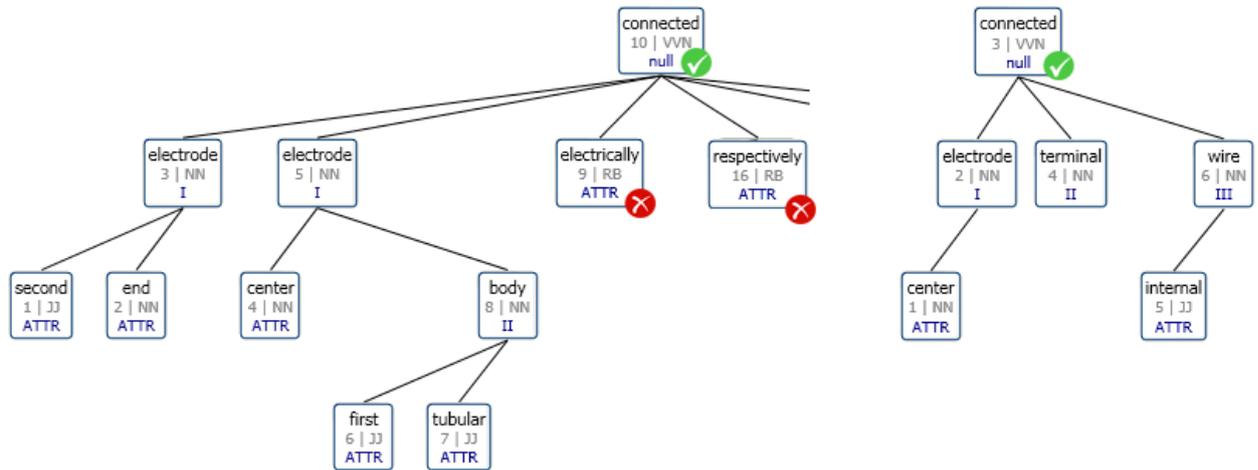


Рис. 6. Первый этап сравнения SAO (ПОЗ – слева; ПОД – справа)

Введем понятие коэффициента подобия атрибутивных (ATTR) структур, связанных с ROOT-вершиной (Action, Действие):

$$K_{ATTR}^A(TA_k, TA_l) = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} S(t_1, t_2)}{\max_{ATTR}(TA_k, TA_l)}, \quad (1)$$

где TA_k, TA_l – семантические поддеревья (связанные с ROOT-вершиной атрибутивные структуры) для k -го и l -го предложения ПОЗ и ПОД соответственно; $\max_{ATTR}(TA_k, TA_l)$ – максимальное число ATTR структур для ПОЗ и ПОД с учетом IDF; $S(t_1, t_2)$ – функция, которая определяет, совпадают ли ATTR-термы t_1 и t_2 для сравниваемых деревьев; N_i – число термов для семантического дерева TA_k ПОЗ.

Рассмотрим пример на рис. 6. В ПОЗ есть две структуры ATTR, в ПОД – 0 ATTR, максимум равен 2. Схожих структур ATTR – 0. Без проверки значимости термов коэффициент подобия по «Действию» равен $0/2 = 0$. При проверке значимости термов (IDF термина «respectively / соответственно» больше предельного значения, поэтому считаем, что в ПОЗ только 1 ATTR-структура), коэффициент подобия «Действия» равен $0/1 = 0$.

4.2. Второй этап сравнения SAO

На втором этапе идет проверка подобия «Субъекта» (Subject) – сравнение актантных

отношений I и связанных с ними атрибутивных структур ATTR. Пример сравнения ПОЗ и ПОД показан на рис. 7 (ПОД на основе текста из патента: «the center electrode and the terminal electrode are electrically connected to each other via the glass seal»).

Если I актантные вершины ПОЗ и ПОД не совпадают, то коэффициент подобия SAO по «Субъекту» равен 0 и идет сравнение по следующей I-вершине. Если I вершины ПОЗ и ПОД совпадают, то сравниваются атрибутивные (ATTR) структуры, связанные с данной I вершиной (Subject, Субъект).

Введем понятие коэффициента подобия атрибутивных (ATTR) структур, связанных с I актантной вершиной (Subject, Субъект):

$$K_{ATTR}^I(TI_k, TI_l) = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} S(t_1, t_2)}{\max_{ATTR}(TI_k, TI_l)}, \quad (2)$$

где TI_k, TI_l – семантические поддеревья (связанные с I вершиной атрибутивные структуры) для k -го и l -го предложения ПОЗ и ПОД соответственно; $\max_{ATTR}(TI_k, TI_l)$ – максимальное число ATTR структур для ПОЗ и ПОД с учетом IDF; $S(t_1, t_2)$ – функция, которая определяет, совпадают ли ATTR-термы t_1 и t_2 для сравниваемых деревьев; N_i – число термов для семантического дерева TI_k ПОЗ.

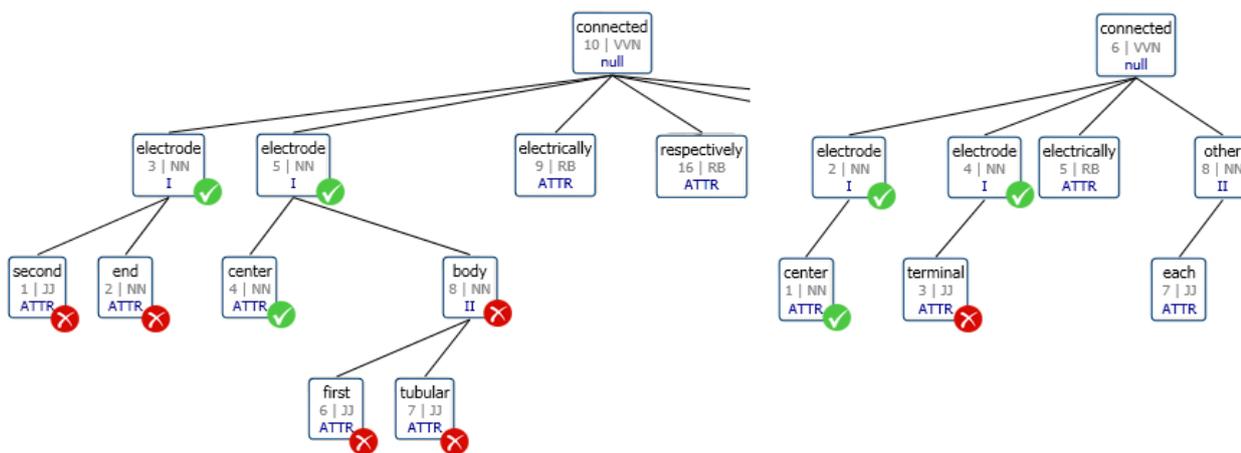


Рис. 7. Первый этап сравнения SAO

Введем коэффициент подобия SAO по «Субъекту»:

$$K^I = \frac{\sum_{i=1}^{N_i=|I_k|} (K_{M_i}^I + K_{ATTR_i}^I)}{\max(I_k, I_l)}, \quad (3)$$

где $K_{M_i}^I$ – коэффициент совпадения i -го I актантного отношения, при совпадении $K_{M_i}^I = 1$, при несовпадении $K_{M_i}^I = 0$; $K_{ATTR_i}^I$ – коэффициент совпадения атрибутивных структур, связанных с i -м I актантным отношением; $\max(I_k, I_l)$ – максимальное количество I актантных отношений в ПОЗ и ПОД.

Рассмотрим пример на рис. 7. В ПОЗ есть две структуры ATTR, связанных с I актантными отношениями, в патенте – 2 ATTR, максимум 2. IDF для всех термов выше, чем предельное значение. Максимальный коэффициент (1,25) достигается для пары «electrode (ATTR) center, body, first, tubular» → «electrode (ATTR) center». Соответственно, вторая пара «electrode (ATTR) second, end» → «electrode (ATTR) terminal» с коэффициентом подобия равным 1. Коэффициент подобия SAO по «Субъекту» равен $(1,25 + 1) / 2 = 1,125$.

4.3. Третий этап сравнения SAO

На этом этапе идет проверка подобия «Объект» (Object) – сравнение II актантных отношений и связанных с ними атрибутивных структур ATTR. Алгоритм сравнения SAO по «Объекту» аналогичен алгоритму сравнения по «Субъекту».

Введем понятие коэффициента подобия атрибутивных (ATTR) структур, связанных с II актантной вершиной (Объект, Object):

$$K_{ATTR}^{II} (TII_k, TII_l) = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} S(t_1, t_2)}{\max_{ATTR} (TII_k, TII_l)}, \quad (4)$$

где TII_k, TII_l – семантические поддеревья (связанные с II вершиной атрибутивные структуры) для k -го и l -го предложения ПОЗ и ПОД соответственно; $\max_{ATTR} (TII_k, TII_l)$ – максимальное число ATTR структур для ПОЗ и ПОД с учетом IDF; $S(t_1, t_2)$ – функция, которая определяет, совпадают ли ATTR-термы $t1$ и $t2$ для сравниваемых деревьев; N_i – число термов для семантического дерева TII_k ПОЗ.

Введем коэффициент подобия SAO по «Объекту»:

$$K^{II} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i=|II_k|} (K_{M_i}^{II} + K_{ATTR_i}^{II})}{\max(II_k, II_l)}, \quad (5)$$

где $K_{M_i}^{II}$ – коэффициент совпадения i -го II актантного отношения, при совпадении $K_{M_i}^{II} = 1$, при несовпадении $K_{M_i}^{II} = 0$; $K_{ATTR_i}^{II}$ – коэффициент совпадения атрибутивных структур, связанных с i -м II актантным отношением; $\max(II_k, II_l)$ – максимальное количество II актантных отношений в ПОЗ и ПОД.

4.4. Вычисление коэффициента подобия SAO

Введем понятие коэффициента подобия двух технических функций (SAO):

$$K_{SAO} = \frac{K_{ATTR}^A + K^I + K^{II}}{5}, \quad (6)$$

где K_{ATTR}^A – коэффициент подобия атрибутивных (ATTR) структур, связанных с ROOT-вершиной (Action, Действие); K^I – коэффициент

подобия SAO по «Субъекту»; K^{II} – коэффициент подобия SAO по «Объекту».

Два SAO можно сгруппировать, если коэффициент подобия двух технических функций больше порогового значения равного 1, что означает, что совпали компоненты «Действие», «Субъект», «Объект» без учета атрибутивных (ATTR) структур.

Выводы

Для извлечения ТФ из текстов патентов используются разработанные процедуры сегментации сложных предложений текстов патентов, морфологического, семантического анализа с построением деревьев зависимостей, получения глубинно-синтаксических структур на основе теории «Смысл-Текст» для сокращенных стэнфордских зависимостей. Из полученных глубинно-синтаксических структур извлекаются технические функции согласно формату SAO, в котором корневой вершиной является «Действие» (action), а его дочерними элементами – «Субъект» (I актантное отношение) и «Объект» (II актантное отношение) данного действия. Для каждого субъекта, объекта и действия извлекаются его дочерние атрибутивные связи. Для увеличения информативности структур «Субъект» – «Действие» – «Объект» производится объединение нескольких SAO согласно разработанному алгоритму группировки (вычисления коэффициента подобия двух технических функций).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Y. Kim, Y. Tian, Y. Jeong, R. Jihee, S.-H. Myaeng*, Automatic discovery of technology trends from patent text. 2009 ACM Symposium on Applied Computing. (ACM, Honolulu, Hawaii, 2009), 1480–1487.
2. *Y. Zhang, A. L. Porter, Z. Hu, Y. Guo, N. C. Newman*, “Term clumping” for technical intelligence: a case study on dye-sensitized solar cells, *Technological Forecasting and Social Change*. 85 (2014) 26–39.
3. *Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Представление физических знаний в автоматизированном банке физических эффектов // *Известия вузов. Машиностроение*. 1998. – № 1–3. – С. 55–61.
4. *Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Информационное наполнение баз данных по физическим эффектам // *Информационные технологии*. 2004. – № 6. – С. 60–62.
5. *Фоменков С.А., Давыдов Д.А., Колесников С.Г.* Автоматизированный информационный поиск физических эффектов // *Информационные технологии*. – 2004. – № 7. – С. 30–34.
6. *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.
7. *Коробкин Д., Тюлькина Е.А., Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Система извлечения технических функций из патентного массива // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. – 2017. – № 2 (2). – С. 24–30.
8. *Фоменкова М.А., Коробкин Д.М., Кравец А.Г., Фоменков С.А.* Методика идентификации SAO структур // *Математические методы в технике и технологиях (ММТТ’2017)* : сб. тр. междунар. науч. конф. В 12 т. Т. 5 / под общ. ред. А.А. Большакова ; Санкт-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого, Саратов. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А. [и др.]. – СПб., 2017. – С. 85–88.
9. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Кобликов И.А., Карачунова Г.А.* Методика семантического патентного поиска // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. – 2017. – № 1 (196). – С. 65–73.
10. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Кравец А.Г., Голованчиков А.Б.* Patent data analysis system for information extraction tasks. // *13th International Conference on Applied Computing (AC) 2016 (Mannheim, Germany. October 28-30, 2016)* / ed. by Hans Weghorn; IADIS International Association for Development of the Information Society. – [Mannheim, Germany]. 2016. P. 215–219.
11. *Mel’čuk I.* Aspects of the Theory of Morphology. Berlin; New York : Mouton de Gruyter, 2006. – 616 p.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 303.732.4

Д. В. Гринченков, А. В. Коломиец, Е. С. Жменя

ПОСТРОЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М. И. Платова ЮРГПУ(НПИ), г. Новочеркасск

anastasia.srstu@gmail.com

В статье рассматривается процесс когнитивного анализа слабоструктурированной системы международной деятельности вуза. В качестве результата исследования представлена когнитивная карта международной деятельности вуза. Для построения данной карты был проведен контент-анализ документов; учитывались критерии качества формализации представлений экспертов о слабоструктурированной системе, а также был проведен регрессионный анализ данных, характеризующих состояние международной деятельности вузов Ростовской области.

Ключевые слова: когнитивная карта, слабоструктурированная система, международная деятельность, задача управления, контент-анализ.

D. V. Grinchenkov, A. V. Kolomiyets, E. S. Zhmenya

CREATION OF THE COGNITIVE MAP OF THE INTERNATIONAL ACTIVITY OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

In the article is considered the process of cognitive analysis of the semi-structured system of the University's international activities. As a result of the research, a cognitive map of the University's international activities is presented. For the cognitive map developing was carried out the content analysis of documents, taken into account the criteria for the quality of formalization of experts' views on a semi-structured system, and was carried out a regression analysis of data which is characterizing the international activities of Universities in the Rostov region.

Keywords: cognitive map, semi-structured system, international activity, control problem, content analysis.

Введение

Для анализа и исследования слабоструктурированных систем (СС) и ситуаций, которые включают в себя множество элементов различной природы, и зависимости между элементами которых носят как количественный, так и качественный характер, довольно часто успешно применяется метод построения когнитивных карт и моделей (см., например, обзоры [1–2]).

Область международной деятельности высшего учебного заведения (МД вуза) (социально-экономической системы) является типичным классом СС, для решения проблем разви-

тия которой целесообразно применение когнитивного моделирования. Международные отношения и международный обмен являются неотъемлемой частью функционирования современных вузов. Направленность на международный характер отношений в настоящее время играет ключевую роль почти во всех вузах, а также в общем контексте политики высшего образования. Однако возникает существенная сложность анализа МД вуза и принятия управленческих решений в этой области в связи с многоаспектностью происходящих в МД процессов и их взаимосвязанностью, из-за сложности

© Гринченков Д. В., Коломиец А. В., Жменя Е. С., 2018

* Результаты получены в рамках реализации проекта 573879-EPP-1-2016-1-FR-EPPKA2-SVHE-JP «Internationalisation of master Programs In Russian and China in electrical engineering». Этот проект финансируется при поддержке Европейской Комиссии. Настоящая публикация отражает мнение только автора (ов), и комиссия не может нести ответственность за любое использование содержащейся в ней информации.

исследования отдельных явлений, отсутствием достаточной количественной информации о динамике процессов. Таким образом, построение когнитивных карт и моделей для анализа МД вуза, является оптимальным решением для подготовки управленческих решений.

Построение когнитивной карты

Когнитивная карта (КК) относится к семейству моделей представления знаний экспертов в виде структуры причинно-следственных влияний факторов, характеризующих объект исследования, его внешнюю среду (например, экономическую, государственную и т. п.) и интересы активных субъектов ситуации (например, региональные власти) [3]. Влияния фактора на фактор устанавливается при помощи лингвистических переменных, указывающих характер и силу влияния (например, покупательский спрос может быть «слабым», «умеренным», «ажитажным» и тому подобное). Построение КК производится с учетом предметной интерпретируемости вводимых в КК связей между факторами. То есть, для построения по КК когнитивной модели вербальные состояния факторов отображаются в числовые из интервала $[0, 1]$ (или $[-1, 1]$), а вербальные представления влияний – в числа из интервала $[-1, 1]$. В современных исследованиях [1] для описания изменения фактора выписывается динамическое уравнение, в структуре которого отражены прямые влияния на данный фактор других факторов, а также факторов «внешней среды» (иногда в когнитивных моделях используются функциональные графы, в которых «сила влияния» одного фактора на другой является известной функцией [4]). Совокупность таких уравнений для всех факторов КК представляет когнитивную модель исследуемой ситуации.

Когнитивная карта МД вуза

В настоящей работе под ККМД вуза будем понимать взвешенный ориентированный граф:

$$C = (M, G), \quad (1)$$

где множество $M = \{1, 2, \dots, m\}$ – вершины графа; представляют собой совокупность факторов, описывающих состояние МД. Значение k -го фактора y_k является действительным числом. Множество дуг $G \subseteq M \times M$ отображают причинно-следственные связи между факторами и их влияние друг на друга. ККобычно описывается квадратной матрицей $A = \|a_{kl}\|_{M \times M}$, элементы которой $a_{kl} \in [-1, 1]$ отображают непо-

средственное влияние l -го фактора на k -й фактор. Знак элемента a_{kl} показывает «направление» влияния, а его абсолютная величина «силу влияния», нулевое значение соответствует отсутствию влияния [4].

Пусть, время дискретно и начальному состоянию исследуемой системы соответствует нулевой момент времени. Изменение факторов во времени задается формулой (в дальнейшем, при дальнейшей формализации факторов, модель может усложняться) [1, 2, 4, 5]:

$$y_k^{\{t+1\}} = y_k^{\{t\}} + \sum_{l \in M} a_{kl} (y_l^{\{t\}} - y_l^{\{t-1\}}),$$

$$k \in M, t = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

где $y_k^{\{0\}}$, $(y_k^{\{0\}} - y_k^{\{-1\}}) = \Delta y_k^{\{0\}}$, $k \in M$ – известные начальные значения факторов и их начальные приращения соответственно. Таким образом, система разностных уравнений (2) однозначно описывает динамику ситуаций при известных начальных значениях состояния и его изменения.

При помощи разработанной когнитивной карты в дальнейшем можно решать следующие задачи управления [4, 5, 6]:

- прогноз саморазвития ситуации, т. е. изучение динамики изменений значений факторов при отсутствии управления;
- прогноз развития ситуации при фиксированном управлении (прямая задача – анализ различных сценариев при вариации управления);
- нахождение управления, которое обеспечивает реализацию требуемого или желательного сценария (обратная задача).

Формализация факторов КК МД вуза

На начальном этапе построения КК, важным является момент выявления важных факторов, влияющих и определяющих исследуемую ситуацию. В работах [3, 6, 7], посвященных применению моделей на основе когнитивных карт для исследования СС отмечается, что для построения карт применяют четыре подхода:

- 1) выявление факторов и связей посредством контент-анализа документов;
- 2) выявление факторов и связей посредством анализа экспертных представлений;
- 3) выявление факторов и связей посредством анализа количественных данных, например, регрессионного анализа временных рядов параметров СС;

4) выявление факторов и связей на основе концептуальных схем (обычно, PEST-анализ и/или SWOT-анализ).

В настоящей работе будут рассматриваться подходы 1-3. Выявление и анализ факторов на основе PEST и SWOT-анализа будет проведено в следующей статье.

Выявление факторов и связей посредством контент-анализа документов.

Применяя методiku конструктивной оценки эффективности МД ВУЗов с привлечением множества критериев мониторинга эффективности образовательных организаций в РФ, макроэкономических показателей и региональной специфики, факторы, характеризующие МД ВУЗа, можно разделить на три уровня [8]:

1. Макроуровень:

- макроэкономические показатели развития страны;
- демографические показатели страны;
- средняя стоимость обучения в регионе;

– средние расходы на проживание в регионе.

2. Мезоуровень: показатели, оценивающие степень интернационализации вуза в национальном рейтинге.

3. Микроуровень: показатели, имеющие отношение к индивидуальным участникам процессов образования и обучения.

Также источником первичных данных (факторов) служат информационные базы данных университетов, отчеты высших образовательных заведений и региональные источники актуальной информации [9, 10]. Для формирования оценки МД в университете будет использован набор первичных данных $m_j \in M(j = 1...30)$, описание которых приведены в табл. 1.

Факторы, определяемые на мезоуровне и микроуровне, позволяют оценивать МД каждого отдельного вуза, а факторы, определяемые на макроуровне, позволяют оценивать воздействие социальной и экономической деятельности страны на МД рассматриваемого вуза.

Таблица 1

Первичные данные для расчета показателей оценки МД университета и структурных подразделений

№	Описание данных
<i>Макроуровень</i>	
m_1	Совокупный чистый доход
m_2	Обменный курс валют
m_3	Уровень ВВП в стране
m_4	Уровень ВВП на душу населения
m_5	Количество трудозанятого населения в образовательной деятельности
m_6	Уровень безработицы в стране
m_7	Численность населения страны по полу
m_8	Численность населения страны по возрасту (от 15 до 24 лет)
m_9	Средняя стоимость обучения в регионе
m_{10}	Средние расходы на проживание в регионе
<i>Мезоуровень</i>	
m_{11}	Численность иностранных студентов из стран СНГ очной формы обучения
m_{12}	Численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья очной формы обучения
m_{13}	Численность иностранных студентов из стран СНГ заочной формы обучения
m_{14}	Численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья заочной формы обучения
m_{15}	Численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья обучающихся по программам магистратуры
m_{16}	Численность иностранных студентов из стран СНГ обучающихся по программам магистратуры
m_{17}	Численность иностранных студентов из стран СНГ обучающихся по направлению международного обмена (МО) РФ (квота)
m_{18}	Численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья обучающихся по направлению МО РФ (квота)

№	Описание данных
m_{19}	Численность иностранных студентов из стран СНГ обучающихся на контрактной основе
m_{20}	Численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья обучающихся на контрактной основе
m_{21}	Численность студентов ведущих иностранных ВУЗов, привлеченных в ВУЗ на срок не менее 1 месяца
m_{22}	Удельный вес численности иностранных граждан из числа научно-педагогических работников (НПР) в общей численности научно-исследовательских работ (НИР)
m_{23}	Численность зарубежных ведущих профессоров, преподавателей и исследователей, работающих в образовательной организации не менее 1 семестра
m_{24}	Численность иностранных аспирантов из стран СНГ
m_{25}	Численность иностранных аспирантов из стран дальнего зарубежья
m_{26}	Количество образовательных программ, разработанных и реализуемых в партнерстве с ведущими иностранными ВУЗами
m_{27}	Количество программ, ведущих к получению двойного диплома, реализуемых в партнерстве с ведущими иностранными вузами
<i>Микроуровень</i>	
m_{28}	Численность студентов, получивших двойной диплом по образовательной программе (ОП), реализуемых в партнерстве с ведущими иностранными ВУЗами
m_{29}	Численность студентов, получивших стипендиальную поддержку на участие в программах академической мобильности
m_{30}	Численность НПР ВУЗа, принявших участие в программах академической мобильности

В данной работе под понятием «основные факторы» будем считать те факторы, которые характеризуют эффективность МД вуза, а под «второстепенные факторы» – факторы, от вариации которых зависят изменения основных факторов. В России основным фактором (эффективным), характеризующим МД вуза, принято считать долю иностранных студентов [9]. Этот индикатор измеряет процентную долю иностранных студентов в общем количестве студентов на ступени высшего образования в принимающей стране. В общее количество студентов включаются все студенты, проходящие обучение в данной стране (в том числе все иностранные студенты), и исключаются все студенты этой страны, проходящие обучение за рубежом.

Выявление факторов и связей посредством анализа экспертных представлений

Во время проведения исследования было опрошено несколько экспертов в сфере международного образования (зам. директора института международного образования ЮРГПУ (НПИ) А. В. Коломиец, начальник сектора института международного образования ЮРГПУ

(НПИ) Г. Е. Токмаков, начальник управления международной деятельности КАИ А. М. Гильметдинова, заместитель начальника управления международной деятельности КАИ А. П. Снегуенко, начальник отдела международных связей ВГТУ Г. В. Бойко). Опрос проводился при помощи разработанного авторами приложения, позволяющему эксперту установить значимость влияния факторов на МД вуза (основной, второстепенный или незначимый фактор), установить степень взаимодействия между факторами (определение матрицы $A = ||a_{kl}||_{M \times M}$), а также обеспечить выполнение критериев достоверности формализации для моделей на основе когнитивных карт и условий их применения для защиты от рисков (критерий когнитивной ясности математической модели, критерий адекватности шаблонов перевода, критерий полноты влияний факторов, критерий соразмерности факторов по общности понятий) [11].

На основе имеющихся экспертных оценках, выявлены основные и второстепенные факторы, а также факторы, которые, по мнению экспертов, не влияют на МД вуза (табл. 2).

Таблица 2

Основные и второстепенные факторы, характеризующие МД вуза

Значимость фактора	Факторы
Основные факторы	m_{11} – численность иностранных студентов из стран СНГ очной формы обучения; m_{12} – численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья очной формы обучения; m_{15} – численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья обучающихся по программам магистратуры; m_{16} – численность иностранных студентов из стран СНГ обучающихся по программам магистратуры; m_{19} – численность иностранных студентов из стран СНГ обучающихся на контрактной основе; m_{20} – численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья обучающихся на контрактной основе; m_{24} – численность иностранных аспирантов из стран СНГ; m_{25} – численность иностранных аспирантов из стран дальнего зарубежья; m_{28} – численность студентов, получивших двойной диплом по ОП, реализуемых в партнерстве с ведущими иностранными вузами
Второстепенные факторы	m_1 – совокупный чистый доход; m_2 – обменный курс валют; m_3 – уровень ВВП в стране; m_4 – уровень ВВП на душу населения; m_9 – средняя стоимость обучения в регионе; m_{10} – средние расходы на проживание в регионе; m_{13} – численность иностранных студентов из стран СНГ заочной формы обучения; m_{14} – численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья заочной формы обучения; m_{17} – численность иностранных студентов из стран СНГ обучающихся по направлению МО РФ (квота); m_{18} – численность иностранных студентов из стран дальнего зарубежья обучающихся по направлению МО РФ (квота); m_{21} – численность студентов ведущих иностранных вузов, привлеченных в вуз на срок не менее 1 месяца; m_{22} – удельный вес численности иностранных граждан из числа НПП в общей численности НИР; m_{23} – численность зарубежных ведущих профессоров, преподавателей и исследователей, работающих в образовательной организации не менее 1 семестра; m_{26} – количество образовательных программ, разработанных и реализуемых в партнерстве с ведущими иностранными вузами; m_{27} – количество программ, ведущих к получению двойного диплома, реализуемых в партнерстве с ведущими иностранными вузами; m_{29} – численность студентов, получивших стипендиальную поддержку на участие в программах академической мобильности; m_{30} – численность НПП вуза, принявших участие в программах академической мобильности.
Факторы, не влияющие на МД вуза	m_5 – количество трудозанятого населения в образовательной деятельности; m_6 – уровень безработицы в стране; m_7 – численность населения страны по полу; m_8 – численность населения страны по возрасту (от 15 до 24 лет).

Таким образом, выделены 9 основных и 17 второстепенных факторов. На основе анализа экспертных оценок построим пер-

вичную КК (табл. 3), отражающую выявленные причинно-следственные связи между факторами.

Первичная КК МД вуза (выделены основные факторы)*

п/п	1	2	3	4	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
16	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
19	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
20	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0

* П р и м е ч а н и е . В большинстве работ визуализация КК производится в виде изображения ориентированного графа. Однако, ввиду большого числа факторов и связей между ними, графическое изображение КК МД ВУЗа является неинформативным.

Выявление факторов и связей посредством регрессионного анализа временных рядов параметров СС

Для подтверждения или опровержения выявленных причинно-следственных связей, а также определения степени взаимодействия между факторами, при помощи регрессионного анализа [12] были проанализированы статистические данные четырех университетов, расположенных в Ростовской области: Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, Донского государственного технического университета,

Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) и Южного федерального университета. Статистические данные брались с 2008 по 2015 гг. [9; 13–16].

Регрессионный анализ данных показал, что приращение значений основных факторов линейно зависят от значений второстепенных. Таким образом, МД вуза можно описать линейной динамической моделью вида (2). Кроме того, было выявлено отрицательное «влияние» для некоторых основных факторов второстепенными (табл. 4).

п/п	1	2	3	4	5	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
14	0.4	-0.3	0.4	0.4	0.7	0.5	0.3	0.6	0.3	0.5	0	0.3	0.3	0.6	0.3	0.6	0.5	0.5	0.5	0.3	0.6	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4
15	0.4	-0.2	0.4	0.4	0.7	0.5	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0	0.6	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4
16	0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.6	0	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
17	0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.3	0.6	0.3	0.4	0.6	0.3	0.3	0	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
18	0.4	-0.4	0.4	0.4	0.7	0.5	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.6	0.4	0.3	0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4
19	0.5	-0.4	0.4	0.4	0.7	0.5	0.3	0.6	0.3	0.4	0.6	0.3	0.3	0.4	0.3	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5
20	0.2	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.2
21	0.2	-0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0	0.7	0.5	0.5	0.6	0.6	0.3	0.4	0.4	0.2
22	0.2	-0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5	0.7	0	0.5	0.5	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.2
23	0.4	-0.1	0.3	0.4	0.5	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.3	0.6	0.5	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4
24	0.4	-0.2	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.6	0.3	0.3	0.6	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
25	0.3	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	0.3	0.3	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.4	0.4	0	0.8	0.8	0.6	0.5	0.3
26	0.2	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.5	0.5	0.3	0.3	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0.2
27	0.1	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	0.3	0.3	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.8	0.8	0	0.7	0.5	0.1
28	0.2	-0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7	0	0.3	0.2
29	0.2	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3	0	0.2
30	0	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0

Выводы

В результате проведенного исследования была построена когнитивная модель МД вуза вида (1), (2). Для построения данной модели учитывались критерии качества формализации представлений экспертов о СС при помощи приложения, разработанного авторами данной статьи. Также был проведен регрессионный анализ данных, характеризующих состояние МД вузов Ростовской области. Общая цель таких исследований состоит в том, чтобы использовать потенциальные возможности моделирования и решения задач управления для СС на основе когнитивных карт с защитой от риска недостоверных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Когнитивный подход в управлении / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко, В.И. Максимов // Проблемы управления. Вып. 3. – 2007. – С. 2–8.
2. Кузнецов, О.П. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт / О.П. Кузнецов, А.А. Кулинич, А.В. Марковский // Человеческий фактор в управлении / под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. – М.: КомКнига – 2006. – С. 313–344.
3. Авдеева, З.К. Эвристический метод концептуальной структуризации знаний при формализации слабоструктурированных ситуаций на основе когнитивных карт / З.К. Авдеева, С.В. Коврига // УБС. Вып. 31. – 2010. – С. 6–34.
4. Новиков, Д.А. «Когнитивные игры»: линейная импульсная модель / Д.А. Новиков // Проблемы управления. Вып. 3. – 2008. – С. 14–22.
5. Корноушенко, Е.К. Целенаправленное управление состоянием когнитивной линейной модели с ограничен- ным множеством состояний / Е.К. Корноушенко // УБС. Вып. 51. – 2010. – С. 6–25.
6. Авдеева, З.К. Диагностирование проблемных ситуаций в развитии сложных систем на основе когнитивных карт / З.К. Авдеева, С.В. Коврига // УБС. Вып. 42. – 2013. – С. 5–28.
7. Коврига, С.В. Методические и аналитические основы когнитивного подхода к SWOT-анализу / С.В. Коврига // Проблемы управления. Вып. 5. – 2005. – С. 58–63.
8. Гринченков, Д.В. Проблема оценки качества международной деятельности вуза и создание системы поддержки принятия решений / Д.В. Гринченков, А.В. Коломиец // Вестник ВГУ. V Международные контакты. – 2006. – С. 99–103.
9. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования. URL: <http://http://indicators.miccedu.ru/monitoring/> (дата обращения: 03.11.2017).
10. Методические рекомендации по проведению независимой системы оценки качества работы образовательных организаций от 14 октября 2013 года. URL: <http://минобрнауки.рф/документы/3710> (дата обращения: 03.11.2017).
11. Абрамова, Н.А. Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт / Н. А. Абрамова, С. В. Коврига // Проблемы управления. Вып. 6. – 2008. – С. 23–33.
12. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. Школа, 1979. – 400 с.
13. Федеральная служба гос. статистики. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 03.11.2017).
14. Центральный банк РФ. URL: <http://www.cbr.ru/> (дата обращения: 03.11.2017).
15. Каракчиева, И.В. Стоимость обучения в вузах России: динамика, основные тенденции / И.В. Каракчиева, Т.А. Южакова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9 (часть 1). – С. 114–117.
16. Министерство образования и науки РФ. Прием иностранных граждан в рамках квоты. URL: <http://минобрнауки.рф/проекты/прием-иностраных-граждан> (дата обращения: 03.11.2017).

ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.056.5

Д. Р. Дронов, А. В. Никишова

ВСТРАИВАНИЕ ДАННЫХ В PNG-ИЗОБРАЖЕНИЯ

Волгоградский государственный университет

nikishova.arina@volsu.ru

В статье определены характеристики изображений в формате PNG, подходящие для выполнения встраивания данных. Определено наилучшее размещение пикселей, используемых для встраивания, и наиболее подходящее количество пикселей, используемых для прогноза яркости синего цвета. По результатам экспериментальных исследований выявлены типы изображений, которые показывают наилучшие и наихудшие результаты при работе метода Куттера – Джордана – Боссена. Предложено усовершенствование метода путем применения помехоустойчивого кодирования.

Ключевые слова: информационная безопасность, стеганография, контейнер-изображение, алгоритм встраивания, стеганоконтейнер, PNG, метод Куттера – Джордана – Боссена.

D. R. Dronov, A. V. Nikishova

EMBEDDING DATA INTO PNG-IMAGES

Volgograd State University

In the article the characteristics of images in PNG format that are appropriate for the performance of embedding data, are determined. The best placement of the pixels used to embed the hidden message is determined. The most suitable number of pixels needed to predict the brightness of blue is determined. Based on the results of experimental studies, the types of images that show the best and the worst results for Kutter – Jordan – Bossen method have been identified. It is proposed to improve this method by using noise-immune coding.

Keywords: information security, steganography, container-image, algorithm of embedding, cover image, PNG, Kutter – Jordan – Bossen method.

Введение

В настоящее время для защиты содержимого данных широко используются различные методы криптографии, в то время, как стеганография незаслуженно забыта и используется в исключительных ситуациях, не считая ЦВЗ. Однако, несмотря на все минусы, у стеганографии есть существенное преимущество перед криптографией – она не скрывает содержимого данных, а скрывает сам факт наличия таких данных [1].

При помощи стеганографии возможно сокрытие данных в контейнерах различного вида: текст, изображение, звук, видео. Из всех перечисленных контейнеров наибольшей гибкостью обладают изображения и именно для них существует наибольшее число методов стеганографического встраивания.

Среди методов стеганографии применимых к изображениям наиболее распространен метод замены наименьшего значащего бита (LSB), однако стеганография в изображениях имеет множество других методов сокрытия данных. Один из них – метод Куттера – Джордана – Боссена. Данный метод основывается на свойствах человеческого зрения: человек в меньшей степени замечает изменение яркости синего цвета, поэтому данный метод производит встраивание данных в канал синего цвета, в отличие от метода LSB. К достоинствам данного метода также можно отнести высокую пропускную способность, устойчивость к сжатию и устойчивость к разрушению младших бит контейнера. Недостатком данного метода является то, что извлечение полученного сообщения носит вероятностный характер [2].

Данный метод применим для форматов изображений, не использующих сжатие или использующих сжатие без потерь и в основном применяется для формата BMP и GIF. Однако данные форматы являются устаревшими и не так широко распространены в настоящее время.

В тоже время существует более современный формат, который использует сжатие без потерь – PNG. При этом данный формат является более распространенным, а в сети Интернет – самым распространенным (рис. 1) [3].

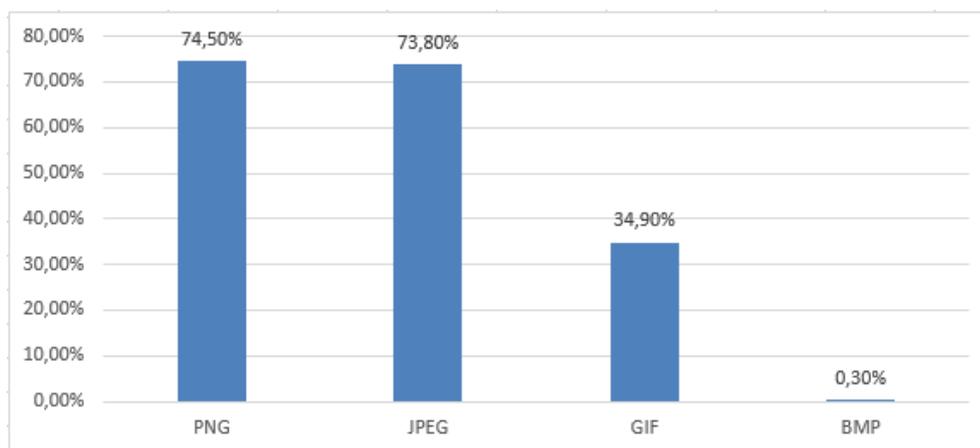


Рис. 1. Использование различных форматов изображений на web-сайтах

Формат PNG

Структура PNG в общем случае представляет собой подпись (сигнатуру формата) и некоторое количество блоков (чанков) (рис. 2).



Рис. 2. Структура формата PNG

Из всех чанков для реализации метода Куттера – Джордана – Боссена наиболее важен первый чанк – IHDR, который определяет основные параметры изображений. Помимо прочего данный чанк отвечает за тип цвета, который у PNG может быть следующим:

- монохромное изображение;
- цветное изображение (RGB);
- цветное изображение с использованием палитры;
- монохромное изображение с альфа-каналом;
- цветное изображение с альфа-каналом [4].

Для реализации метода Куттера – Джордана – Боссена изображение должно быть цветным (RGB), либо цветным с использованием

альфа-канала, иными словами, согласно спецификации 9-й байт чанка IHDR должен содержать значения 2 или 6.

Математическая модель реализации метода Куттера – Джордана – Боссена

Для реализации метода Куттера – Джордана – Боссена для формата PNG была разработана математическая модель, представленная ниже.

Встраивание одного бита исходного сообщения осуществляется в один пиксель изображения, при это изменяется яркость синего цвета, а яркость красного и зеленого цветов остаются без изменений.

Пусть:

R – яркость красного цвета;

G – яркость зеленого цвета;

B – яркость синего цвета;

m_i – i -й бит встраиваемого сообщения ('1' или '0');

x, y – координаты пикселя;

σ – количество пикселей для прогноза яркости.

Тогда $B_{x,y}^*$ – измененная в зависимости от встраиваемого бита яркость синего цвета, вычисляется по формуле (1).

$$B_{x,y}^* = \begin{cases} B_{x,y} + 0.1 * (0.3 * R_{x,y} + 0.59 * G_{x,y} + 0.11 * B_{x,y}), \text{ при } m_i = 1 \\ B_{x,y} - 0.1 * (0.3 * R_{x,y} + 0.59 * G_{x,y} + 0.11 * B_{x,y}), \text{ при } m_i = 0 \end{cases} \quad (1)$$

То есть при встраивании единичного бита происходит увеличение яркости синего цвета конкретного пикселя, а при встраивании нулевого – уменьшение.

При извлечении прогнозируется яркость синего цвета по соседним пикселям (2).

$$\overline{B_{x,y}} = \frac{\sum_{i=1}^{\sigma} (B_{x,y+i} + B_{x,y-i} + B_{x+i,y} + B_{x-i,y})}{4\sigma}, \quad (2)$$

где $\sigma = 1 \div 3$.

При извлечении скрытого сообщения происходит сравнение яркости синего цвета стега-ноконтейнера, с полученной в результате прогноза. При этом, если спрогнозированная яркость больше исходной, то считается, что был скрыт бит '0', в противном случае – бит '1'. Иными словами, для непосредственно извлечения скрытого сообщения используется формула (3).

$$m_i = \begin{cases} 1, \text{при } B_{x,y}^* > \overline{B_{x,y}} \\ 0, \text{при } B_{x,y}^* < \overline{B_{x,y}} \end{cases}. \quad (3)$$

Однако из формулы (2) также видно, что прогноз может осуществляться по 1, 2 или 3 соседним пикселям. Отсюда следует то, что при попадании пикселя с измененной яркостью синего цвета в число пикселей, по которым производится прогноз, может произойти ошибочное прогнозирование. Поэтому необходимо, чтобы пиксели, используемые для встраивания и пиксели, используемые для прогноза, не пересекались.

Выбор размещения пикселей для прогноза яркости

Обозначим пиксель, в который будет производиться встраивание B а пиксель для прогноза яркости B' . Тогда, при использовании 1, 2 и 3 соседних пикселя для прогноза яркости получится следующее (рис. 3).

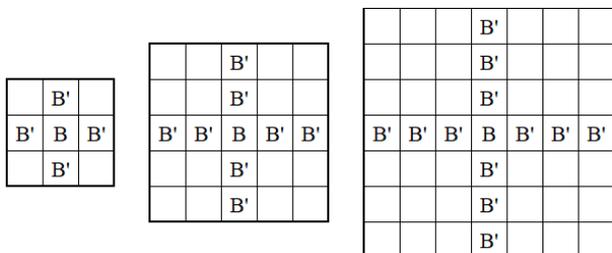


Рис. 3. Расположение пикселей для прогноза яркости, относительно пикселя, используемого для встраивания

Очевидно, что пиксели, помеченные B' для встраивания использоваться не могут, поэтому необходимо определить доступные для встраивания пиксели.

Было определено, что наиболее подходящим размещением доступных для встраивания пикселей будет их диагональное размещение с шагом, зависящим от количества пикселей для прогноза яркости (рис. 4–6).

Как видно из представленных изображений, при увеличении пикселей для прогноза яркости, уменьшается количество потенциально доступных для встраивания пикселей, но вместе с тем возрастает точность прогноза.

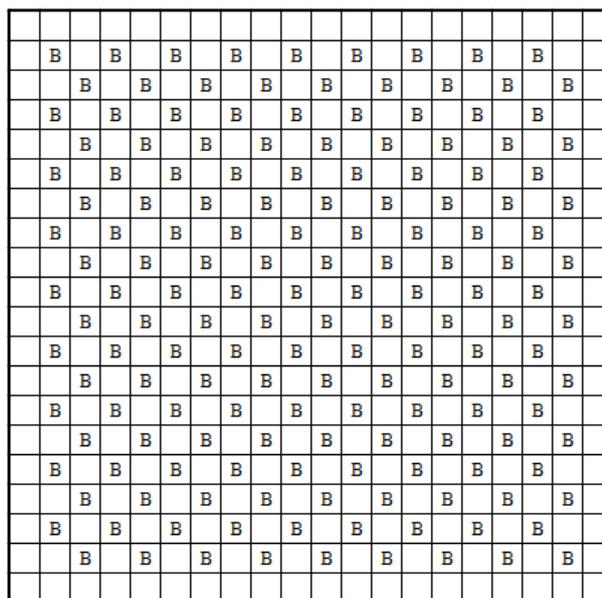


Рис. 4. Расположение доступных для встраивания пикселей при 1 пикселе для прогноза яркости

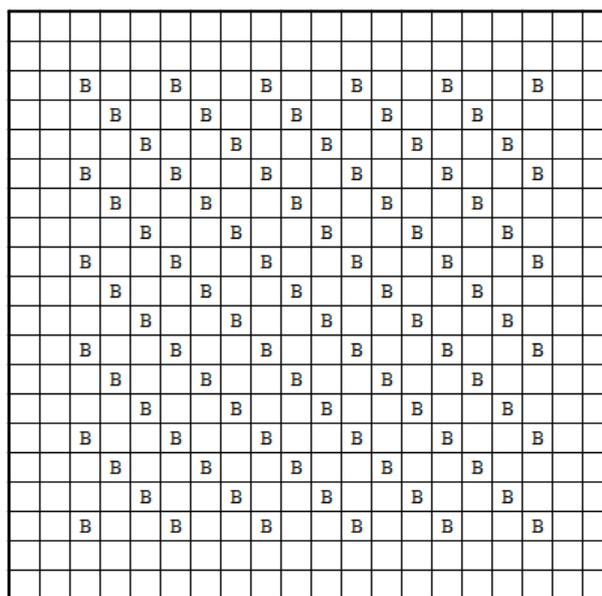


Рис. 5. Расположение доступных для встраивания пикселей при 2 пикселях для прогноза яркости

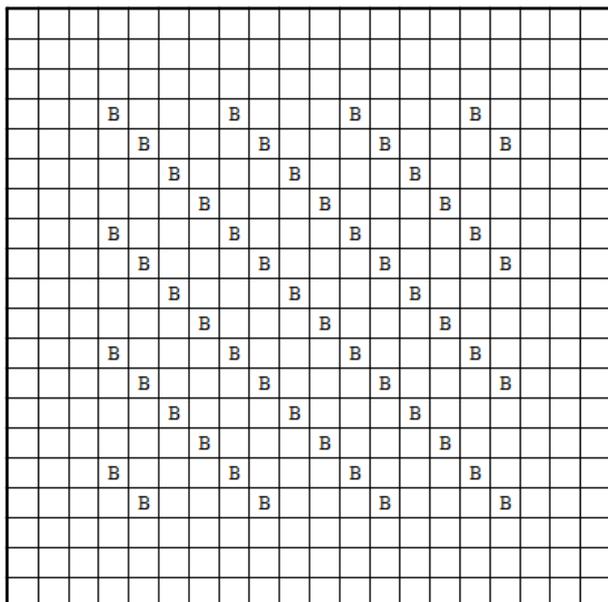


Рис. 6. Расположение доступных для встраивания пикселей при 3 пикселях для прогноза яркости

Таким образом, из всех вариантов наиболее подходящим является вариант с прогнозированием яркости по двум соседним пикселям, так как он обеспечивает достаточную точность прогноза и не наносит ощутимого ущерба объему встраиваемой информации.

Для программной реализации определения координат доступных пикселей была разработана следующая функция.

Пусть:

$P_{i,j}$ – пиксель с координатами (i, j) ;

i, j – координаты пикселя;

B – пиксель, доступный для встраивания;

B' – недопустимый для встраивания пиксель;

n – число пикселей, используемых для прогноза яркости.

Тогда доступные для встраивания пиксели определяются по формуле (4).

$$P_{i,j} = \begin{cases} B', & \text{при } i \pmod n = j \pmod n \\ B, & \text{при } i \pmod n \neq j \pmod n \end{cases} \quad (4)$$

где $n = 1 \div 3$.

Встраивание и извлечение по методу Куттера – Джордана – Боссена

На основе представленной математической модели была разработана программа для реализации метода Куттера – Джордана – Боссена для контейнеров-изображений формата PNG. Данная программа позволяет встраивать и извлекать сообщения в изображения в битовом представлении (в 1 доступный для встраивания пиксель встраивается 1 бит сообщения).

С использованием данной программы было проведено экспериментальное исследование, включающее в себя 10 экспериментов. В каждом эксперименте использовались изображения формата PNG различных размеров и природы происхождения. В изображение производилось встраивание строки «Съешь же еще этих мягких французских булок да выпей чаю» длиной 55 символов (440 бит) при 2 пикселях для прогноза яркости синего цвета.

В ходе одного из экспериментов был получен наихудший результат извлечения, в котором количество битовых ошибок достигло 73 (рис. 7–9).

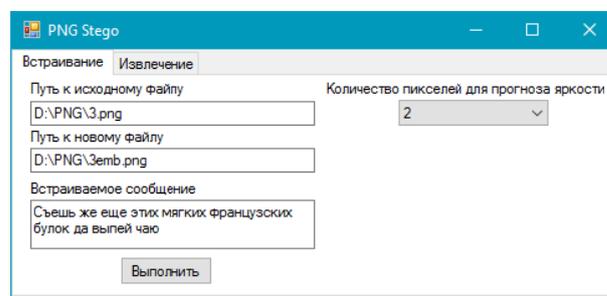


Рис. 7. Встраивание в изображение строки

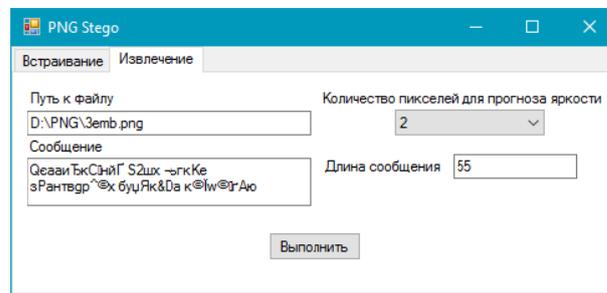


Рис. 8. Результат неудачного извлечения



Рис. 9. Изображение, в которое производилось встраивание (3.png)

Как видно из скриншотов работы программы, извлеченный текст сильно отличается от встраиваемого и по нему достаточно затруднительно восстановление исходного сообщения.

Также в ходе экспериментальных исследований были найдены изображения, для которых извлеченный текст не отличается от встраиваемого (рис. 10–12).

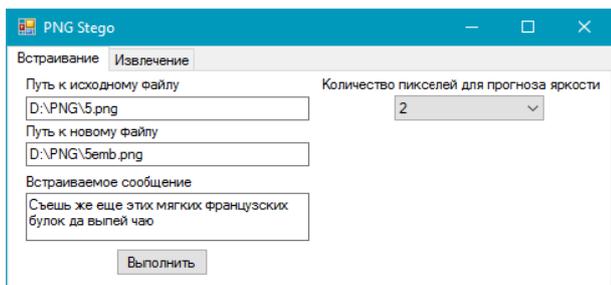


Рис. 10. Встраивание в изображение строки

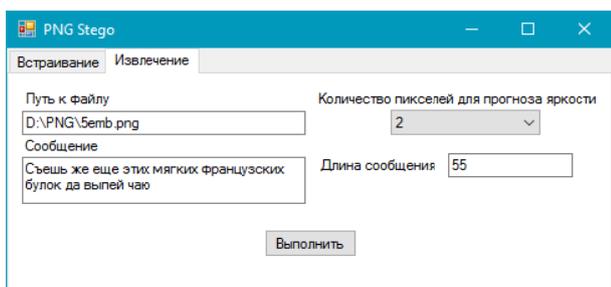


Рис. 11. Результат успешного извлечения



Рис. 12. Изображение, в которое производилось встраивание (5.png)

Как видно из скриншотов работы программы, извлеченный текст абсолютно идентичен встроеному ранее.

С целью обобщения результатов экспериментальных исследований была составлена сравнительная таблица, содержащая результаты 10 экспериментов, в которой представлено сравнение результатов экспериментов.

Результаты экспериментов

№ эксперимента	Количество битовых ошибок	Количество символьных ошибок
1	14	10
2	62	27
3	73	40
4	39	27
5	0	0
6	7	7
7	0	0
8	8	7
9	3	3
10	35	22

Заключение

Как можно заметить из результатов экспериментальных исследований, половина использованных изображений показала достаточную точность извлекаемых данных. В основном, наихудшие результаты показали изображения с резко отличающимися соседними пикселями, изображения с большим количеством пикселей синего цвета. Наилучшие же результаты показали фотографии и изображения с естественным распределением цветов.

Также из результата экспериментальных исследований видно, что количество битовых и символьных ошибок в большинстве случаев приблизительно равно. В данной программе в качестве кодировки текста используется ср-1251, представляющая каждый символ с помощью 8 бит. Отсюда можно сделать вывод, что на каждые 8 бит сообщения приходится примерно 1 ошибочный бит.

Для того, чтобы избежать подобных ошибок, можно использовать помехоустойчивое кодирование. Так как количество ошибок не велико, и в среднем составляет 1 ошибку на 1 байт информации, то наиболее подходящим вариантом будет использование кодов Хэмминга. Данные коды позволяют исправлять 1 ошибку в блоке, что существенно увеличит точность извлечения данного метода.

Предлагается при сокрытии данных в изображении использовать код Хэмминга (12, 8). При извлечении скрытой информации, с помощью данного кода будет исправляться 1 ошибка. Таким образом, избыточность сообщения будет примерно 33 %. Однако при этом практически исчезнут ошибки в извлекаемом тексте.

Таким образом, при правильном подходе к выбору изображения для встраивания, а также использования помехоустойчивого кодирования, можно в основном избавиться от ошибок, возникающих при извлечении. Тем не менее, самым надежным способом проверки того, что сообщение будет извлечено корректно, является пробное извлечение скрытой информации на передающей стороне.

УДК004.056.5, 004.451.9

Т. А. Омельченко, Т. А. Пахомов

АУДИТ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Волгоградский государственный университет
omelchenko.tatiana@volsu.ru, timzyed@gmail.com

Описана проблема обеспечения безопасности операционной системы мобильных устройств связанная с превышением допустимого уровня прав доступа приложений. Предложен способ улучшения эффективности защиты операционной системы мобильного устройства через проведение пассивного внутреннего аудита.

Ключевые слова: аудит безопасности, права доступа, Android, мобильные устройства.

T. A. Omelchenko, T. A. Pakhomov

SECURITY AUDIT OF MOBILE DEVICE'S OPERATING SYSTEM

Volgograd State University

The article describes the problem of the security of the operating system of mobile devices associated with the exceedance of the allowable level of permission applications. A method for improving the effectiveness of protection of the mobile device operating system through passive internal audit is proposed.

Keywords: operating system of mobile devices, information security audit, protection of mobile devices.

Жизнь человека в современных реалиях общества не обходится без повседневного использования мобильных устройств. Под мобильными устройствами понимают ряд устройств, который включает в себя смартфоны, планшеты, электронные книги, телефоны, КПК и нетбуки, главной особенностью которых является размер, а также количество выполняемых ими функций. Операционные системы (ОС) мобильных устройств сочетают в себе функциональность ОС для персональных компьютеров (ПК) с функциями для мобильных устройств: удаленное администрирование, поддержка VPN, браузеры с flash и java-script, синхронизация почты, заметок, обмен файлами. сенсорный экран, сотовая связь, Bluetooth, Wi-Fi, GPS-навигация, камера, видеокамера, распознавание речи, диктофон, музыкальный плеер, NFC и инфракрасное дистанционное управление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генне, О.В. Основные положения стеганографии / Защита информации. Конфидент. – 2000. – № 3.
2. Коначович, Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
3. W3Techs. Usage of image file formats for websites. URL: https://w3techs.com/technologies/overview/image_format/all (дата обращения 15 октября 2017г.)
4. PNG (Portable Network Graphics) Specification, Version 1.2. URL: <http://www.libpng.org/pub/png/spec/1.2/PNG-Chunks.html> (дата обращения 15 мая 2017г.)

В 2011 году рынок мобильных устройств, за счет постоянного поста вычислительной мощности и возможностей самих мобильных устройств, впервые обогнал рынок ПК [1], что привело к появлению новых вопросов и проблем в области обеспечения информационной безопасности.

Согласно отчету аналитической компании NetMarketShare [2] первое место на рынке ОС мобильных устройств занимает операционная система Android (66,71%), на втором месте устройства с установленной ОС iOS (29,55%), на третьем WindowsPhone (1,44%). Остальные 2,33% рынка делят между собой ОС Java ME, Symbian, BlackBerry, Samsung и др.

Приведем сравнительную характеристику популярных ОС мобильных устройств в табл. 1.

По результатам анализа был сделан вывод, что обеспечение безопасности ОС Android является наиболее актуальным.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика мобильных операционных систем
Android, iOS и WindowsPhone**

Мобильная ОС Критерии	Исходный код	Возможность установки приложений из неофициальных источников	Кол-во приложений в официальном магазине (за март 2017)	Доля ОС на мобильном рынке (за февраль 2017)
Android	Частично открыт	Есть	2 800 000	66,71 %
iOS	Закрыт	Нет	2 200 000	29,55 %
WindowsPhone	Закрыт	Только для опытных пользователей	669 000	1,41 %

Из-за постоянного расширения функционала, тестирование и поиск уязвимостей в ОС мобильных устройств происходит не так интенсивно, как для операционных систем на персональных компьютерах. Более того, далеко не все производители выпускают обновления, закрывающие критические уязвимости для своих устройств – дело в маркетинге и в сроках жизни конкретного аппарата.

Тем не менее, каждая обнаруженная уязвимость ОС Android фиксируется Национальным институтом стандартов и технологий. В процессе изучения она получает свой номер в базе

MITRE (CVE-*). После выпуска патча все детали о ней становятся общедоступными. Проблема в том, что многие уязвимости продолжают эксплуатироваться и после выхода патчей – просто потому, что у разработчиков нет возможности оперативно доставлять их на все устройства сразу. Каждая выявленная уязвимость может затрагивать сразу несколько компонентов ОС.

По данным Национального института стандартов и технологий статистика исправления уязвимостей ОС Android в базе MITRE (CVE-*) имеет вид, представленный на рис. 1 [3]:

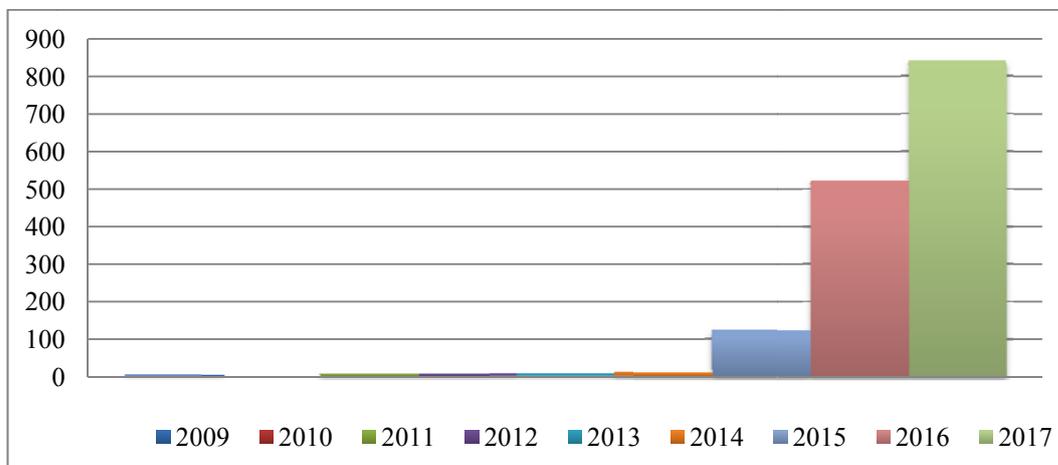


Рис. 1. Количество исправленных уязвимостей в ОС Android за 2009–2017 гг.

Уязвимости в свою очередь группируются по основным 8 типам (рис. 2):

1. Отказ в обслуживании.
2. Обход параметров.
3. Выполнение кода.
4. Повреждение ОП.
5. Получение информации.
6. Получение привилегий.
7. Переполнение.
8. Внедрение SQL-кода.

Наиболее распространенной уязвимостью на 2017 года является «получение привилегий».

После установки вредоносного приложения злоумышленник может повысить свои привилегии в системе, используя эксплойт для уязвимости в ОС смартфона, и получить удаленный доступ к устройству с полными правами доступа, что приведет к полной компрометации устройства: злоумышленник сможет украсть критичные данные пользователя.

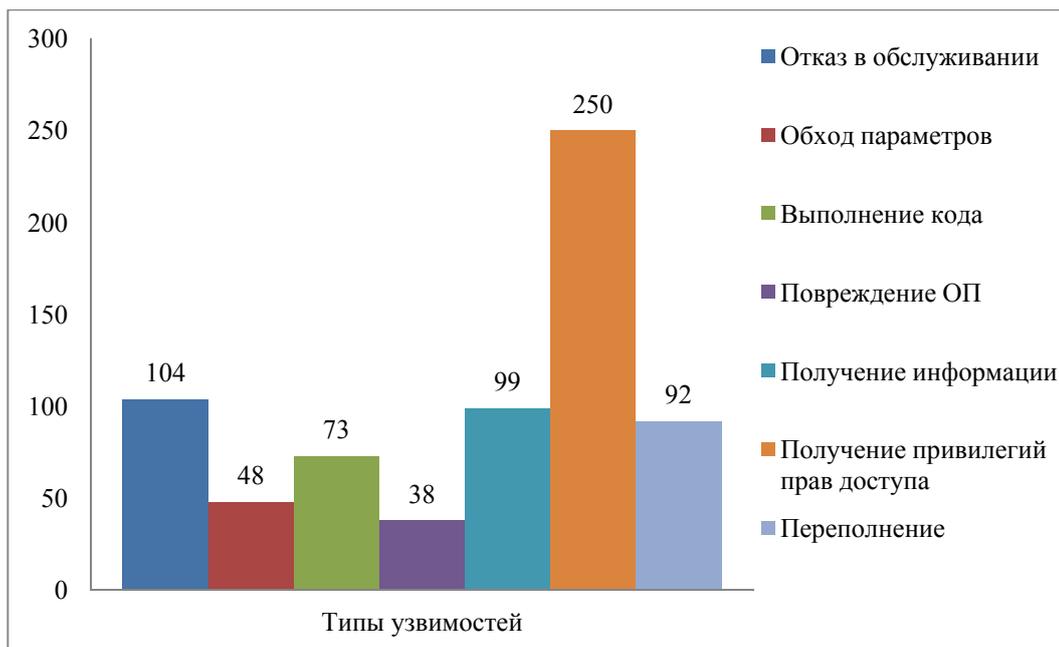


Рис. 2. Уязвимости ОСAndroid

Стоит также отметить, что наличие root-доступа на устройстве Android пользователя значительно снижает уровень защищенности устройства и упрощает атаку для злоумышленника.

Приложения для мобильных платформ под-

вержены как старым общеизвестным угрозам, так и новым, еще не изученным до конца. Растет уровень распространения вредоносных приложений для всех платформ эксплуатирующих разрешения широко распространенных приложений.

Таблица 2

Основные приложения ОС Android и их разрешения

Источник данных	Используемые приложения	Наиболее типичные права доступа:	Объекты ОС, к которым предоставляется доступ
Почта и почтовый ящик	Gmail, Почта Mail.ru, Госуслуги, Яндекс. Почта и т. д.	android.permission.READ_CALENDAR android.permission.WRITE_CALENDAR android.permission.READ_CONTACTS android.permission.WRITE_CONTACTS android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE	Календарь Контакты Память
Интернет-пейджеры	Telegram, Viber, Skype и т. д.	android.permission.CAMERA android.permission.SEND_SMS android.permission.READ_SMS android.permission.READ_CONTACTS android.permission.WRITE_CONTACTS android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE android.permission.ANSWER_PHONE_CALLS android.permission.CALL_PHONE	Камера Сообщения Контакты Местоположение Память Телефон
Документы, заметки	Google Документы, Таблицы, Диск; MicrosoftWord, Excel; Dropbox; AdobeAcrobatReader и т. д.	android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE android.permission.READ_CONTACTS android.permission.WRITE_CONTACTS	Память Контакты
Сетевые средства	VNC, TeamViewer, VPN	android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE	Память

Окончание табл. 2

Источник данных	Используемые приложения	Наиболее типичные права доступа:	Объекты ОС, к которым предоставляется доступ
Мобильный банкинг и приложения интернет-магазинов	ДБО, AliExpress, Ebay, Avito, РЖД	android.permission.SMS android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION android.permission.CAMERA android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE android.permission.ANSWER_PHONE_CALLS android.permission.CALL_PHONE	Сообщения Местоположение Камера Память Телефон

Зная типовые подходы нарушителей к взлому, можно быть несколько более уверенным в защите своего устройства, поскольку на данный момент эти приемы более или менее фиксированы, большинство схем ожидаемы.

К основным методам защиты от угроз превышения прав доступа можно отнести:

1. Изъятие разрешений у приложений.
2. Парольная защита приложений и мультимедиа.

3. Антивирусные средства.
4. Системы поиска уязвимостей.
5. Аудит безопасности системы.

В рамках проводимого исследования из всех способов постоянного контроля уровня защищенности операционной системы мобильных устройств предлагается использовать внутренний пассивный аудит. Порядок проведения аудита ОС мобильных устройств представлен на рис. 3.

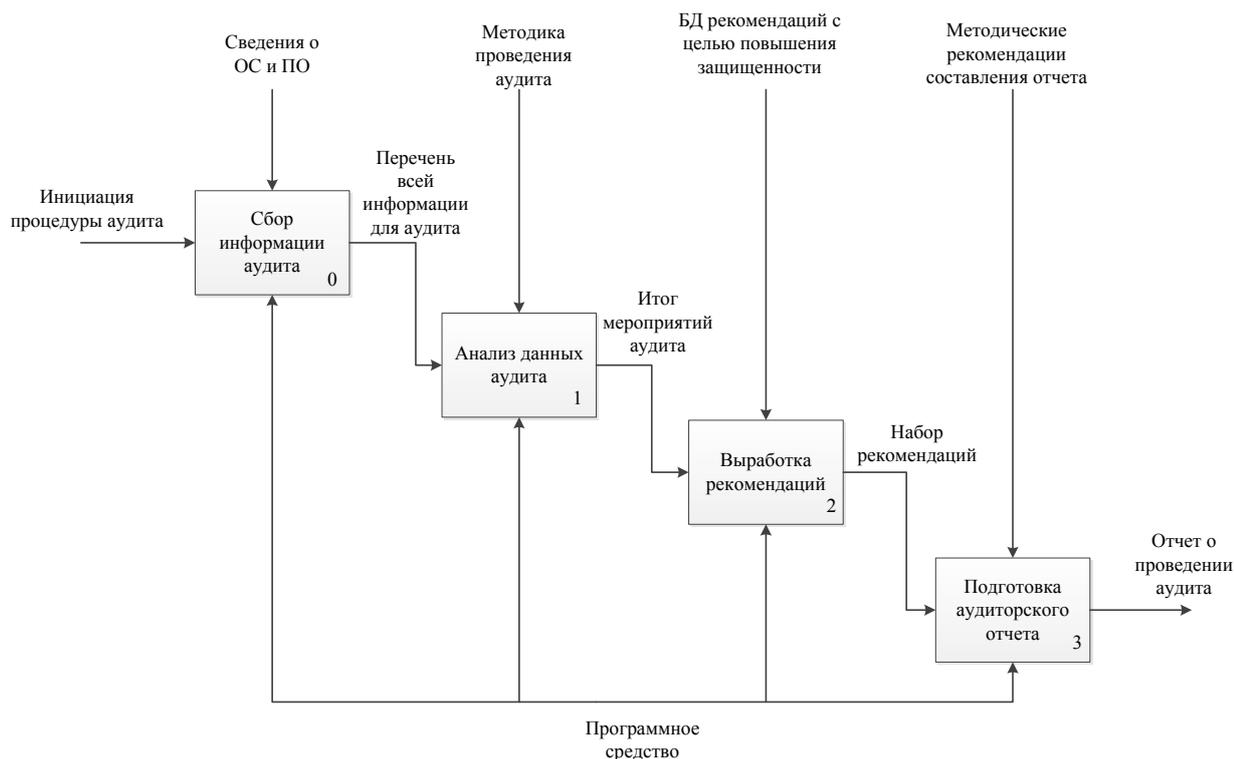


Рис. 3. Порядок проведения аудита ОС мобильного устройства

Сбор информации аудита – получение информации об устройстве, функционировании и текущем состоянии операционной системы и программного обеспечения осуществляется специально организованными методами, путем изучения технической и организационно-распорядительной документации, а также исследова-

ния мобильного устройства с использованием специализированного программного инструментария.

Анализ данных аудита – базируется на анализе рисков. Опирается на методы анализа рисков, определяет для операционной системы мобильного устройства индивидуальный набор

требований безопасности, в наибольшей степени учитывающий особенности архитектуры, среды ее функционирования и существующие в данной среде угрозы безопасности.

Выработка рекомендаций – рекомендации, выдаваемые аудитором по результатам анализа состояния мобильного устройства, определяются используемым подходом, особенностями обследования, состоянием дел с информационной безопасностью и степенью детализации, используемой при проведении аудита. Рекомендации должны быть конкретными и применимыми к данному устройству, экономически обоснованными, аргументированными (подкрепленными результатами анализа) и отсортированными по степени важности.

Подготовка отчетных документов – структура отчета может существенно различаться в зависимости от характера и целей проводимого аудита. Он должен, содержать описание целей проведения аудита, характеристики обследуемой операционной системы мобильного устройства, указание границ проведения аудита и используемых методов, результаты анализа

данных аудита, выводы, обобщающие эти результаты и содержащие оценку уровня защищенности мобильного устройства, и рекомендации по устранению существующих недостатков и совершенствованию системы защиты.

В результате работы был определен порядок проведения аудита ИБ, который позволяет автоматизировать процесс сбора и проверки информации на соответствие требованиям безопасности. На следующем этапе исследования предполагается создание приложения для проведения аудита ОС мобильного устройства на базе ОС android.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смартфоны впервые обошли ПК по поставкам [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://texnomaniya.ru/electronics/smartfoni-vpervie-oboshli-pk-po-postavkam.html> (дата обращения: 21.01.2018).
2. NetMarketShare «Статистика мобильных операционных систем за февраль 2017» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://it-news.club/statistics-of-mobile-operating-systems-for-february-2017/> (дата обращения: 22.01.2018).
3. Google Andoird : CVE security vulnerabilities, versions and detailed reports [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.cvedetails.com/product/19997/Google-Android.html> (дата обращения: 22.01.2018).

УДК 004.7

Чан Куок Тоан, А. А. Сорокин

НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Астраханский государственный технический университет

quoctoan.astu@mail.ru, alsorokin.astu@mail.ru

В работе описывается повышение эффективности передачи трафика в сетях передачи данных, которое достигается за счет улучшения обслуживания информационных пакетов в очередях сетевых устройств. В рамках работы предложена методика управления трафиком, основанная на определении вероятности маркирования пакетов в буферах портов сетевых устройств, которые используются как управляющее воздействие на узел-отправитель информации. В результате воздействия узел-отправитель изменяет интенсивность передаваемого трафика. Параметры, которые влияют на вероятности маркирования пакетов, обрабатываются при помощи системы нечеткого вывода в программном контроллере. Для корректной работы контроллера при изменении трафиковой нагрузки предложен метод адаптации, основанный на использовании нечетких нейронных сетей, который позволяет формировать управляющие воздействия для корректировки функций принадлежности, используемых в обработке информации о параметрах очереди в буфере сетевого устройства. Эффективность использования предложенных теоретических положений показана средствами имитационного моделирования в программе NS2. По результатам экспериментов, наблюдается сокращение потери пакетов в буферах сетевых устройств, увеличивается коэффициент использования каналов передачи данных в сети.

Ключевые слова: управление трафиком, очередь информационных пакетов, нечеткая логика, нечеткая нейронная сеть, имитационное моделирование, networksimulator (ns2).

Tran QuocToan, A. A. Sorokin

FUZZY SYSTEM FOR MANAGEMENT THE INTENSITY TRANSMISSION OF TRAFFIC IN INFOCOMMUNICATION NETWORKS

Astrakhan State Technical University

The paper describes the increase in the efficiency of traffic transmission in data transmission networks, which is achieved by improving the maintenance of information packets in the queues of telecommunication devices. In this paper we are proposed method of traffic control based on the determination of the probability of marking or packet loss in the buffer of the port of network devices, which are used as a control action on the node sending information. As a result of the action, the sending node changes the intensity of the transmitted traffic. Parameters that affect the probabilities of marking or loss of packets are processed using a fuzzy inference system in a special software controller. For correct operation of the controller, when changing the traffic load, an adaptation method based on the use of fuzzy neural networks is proposed, which allows creating control actions to adjust the membership functions used in processing the information about the queue parameters in the buffer of the network device. The effectiveness of the use of the proposed theoretical positions is shown by means of simulation modeling program NS2. Based on the results of the experiments, there is a reduction in packet loss in the buffers of network devices; the utilization factor of data transmission channels in the network is increasing.

Keywords: traffic management, queue management packets, fuzzy logic, neural network, simulation, ns2.

Обзор работ [1–3] показывает, что в настоящее время увеличивается производительность сетевого оборудования. Однако темпы увеличения передачи трафика возрастают еще быстрее [4, 5]. Поэтому для сокращения потерь информационных пакетов и сохранения качества оказываемых телекоммуникационных услуг разрабатываются методы управления трафиком. Широкое распространение получили методы, основанные на мониторинге, прогнозировании и управлении длиной очередей пакетов информации в буферах портов сетевых устройств (СУ) [5–9]. В настоящее время одним из перспективных направлений управления длиной очереди являются методы, основанные на теории нечетких множеств, нечеткой логики и системах нечеткого вывода (СНВ) [10–12].

Ограничениями проанализированных методов управления длиной очереди информационных пакетов, которые основаны на методах теории нечетких множеств, является необходимость привлечения специалистов для формирования или корректировки функций принадлежности (ФП) входных переменных и баз знаний (БЗ), а также использование для отображения термов ФП треугольной и трапецеидальной формы [10, 12]. Привлечение специалистов к формированию или корректировке ФП приводит к трудностям адаптации системы управления во время изменения интенсивности и вида поступающей нагрузки. Как показывает практический опыт и обзор работы [13], часто использование ФП треугольной и трапецеидальной формы снижает достоверность отображения изменения степени принадлежности переменной к заданному терму в зависимости от ее значения.

Цель работы: повышение эффективности работы сети передачи данных за счет разработки системы управления интенсивностью передачи трафика, основанной на мониторинге длины очереди информационных пакетов в сетевых узлах.

Как показал обзор работ [11, 12] наилучшие результаты удержания величины очереди информационных пакетов в буферах СУ за счет формирования управляющих воздействий на узлы источники достигаются во время использования контроллеров, которые используют системы нечеткого вывода для обработки информации об интенсивности поступающей нагрузки. Применение СНВ для обобщения результатов взаимодействия компонент оправдан в связи с тем, что уровень значимости входных переменных на выходную переменную, может иметь нелинейный характер в виду особенностей эксплуатации узла СПД. Кроме того, в процессе эксплуатации системы закономерности зависимости уровней значимости входных переменных, так же могут изменяться. Поэтому в рамках проводимых исследований с учетом работ [14–16] систему управления интенсивностью поступающей нагрузки целесообразно было предусмотреть модуль адаптации. Который с учетом изменения характера поступающей нагрузки будет формировать сигналы для корректировки режимов работы самой системы управления. В результате система управления получает свойства адаптивности. Общая структура подобной системы управления, в основе которой заложен котроллер, использующий систему нечеткого вывода, с подсистемой адаптации показана на рис. 1.

дому из термов соответствует гауссова ФП. Набор термов для описания независимых переменных из соотношения (1) имеет вид:

$$T_{Pr} = \{NH, NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB, PH\}, \quad (3)$$

где *NH* (англ. Negative Huge) – очень большое отрицательное значение; *NB* (англ. Negative Big) – большое отрицательное значение; *NM* (англ. Negative Medium) – среднее отрицатель-

ное значение; *NS* (англ. Negative Small) – малое отрицательное значение; *ZE* (англ. Zero) – близкое к нулю; *PS* (англ. Positive Small) – малое положительное значение; *PM* (англ. Positive Medium) – среднее положительное значение; *PB* (англ. Positive Big) – большое положительное значение; *PH* (англ. Positive Huge) – очень большое положительное. Внешний вид функций принадлежности входных переменных $Pr_{t_{n-1}}$ и Pr_{t_n} показан на рис. 2.

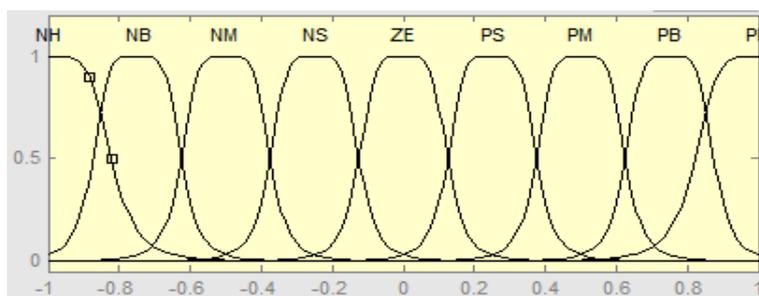


Рис. 2. Функции принадлежности входных переменных $Pr_{t_{n-1}}$ и Pr_{t_n}

Выходной переменной в нечетком контроллере является вероятность маркировки пакета P_q , ее значения описывается девятью уровнями в виде совокупности значений:

$$P_q = \{z, t, vs, ms, s, b, mb, vb, h\} = 0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5, 0.635, 0.75, 0.875, 1\}, \quad (4)$$

где *Z* (англ. Zero) – нулевой уровень; *T* (англ. Tiny) – крошечный; *VS* (англ. Very Small) – очень маленький; *MS* (англ. Medium Small) – средний маленький; *S* (англ. Small) – маленький; *B* (англ. Big) – большой; *MB* (англ.

Medium Big) – средний большой, *VB* (англ. Very Big) – очень большой, *H* (англ. Huge) – огромный. Поскольку для каждой входной переменной используется девять термов, то общее количество правил в разрабатываемом нечетком контроллере составляет 81. Массив правил (база знаний, БЗ) представлен в приведенной ниже таблице. Массив правил формируется экспертной группой на основании анализа опыта эксплуатации СПД, либо на основании результатов имитационного моделирования работы СПД в различных режимах.

База знаний разрабатываемого нечеткого контроллера

$P_q^{AFC .REM}$		$Pr_{t_{n-1}}$								
		<i>NH</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PH</i>
Pr_{t_n}	<i>NH</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>MB</i>	<i>VB</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>
	<i>NB</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>MB</i>	<i>VB</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>
	<i>NM</i>	<i>T</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>MB</i>	<i>VB</i>	<i>H</i>	<i>H</i>
	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>T</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>MB</i>	<i>VB</i>	<i>H</i>
	<i>ZE</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>T</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>MB</i>	<i>VB</i>
	<i>PS</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>T</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>MB</i>
	<i>PM</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>T</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>B</i>
	<i>PB</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>T</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>
	<i>PH</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>T</i>	<i>VS</i>	<i>MS</i>

На основании рассчитываемого уровня перегрузки с последующей обработкой полученных значений при помощи ФП и БЗ по алго-

ритму нечеткого вывода Сугено. В рамках проводимых исследований использовался стандартный алгоритм Сугено, формальное описа-

ние которого можно найти в работах [13–14]. Совокупность соотношений (3, 4), ФП входных переменных на рис. 2, БЗ, приведенная в таблице и алгоритм Сугено реализуют оператор для обработки входных переменных в соотношении (1).

Практика эксплуатации систем нечеткого вывода (СНВ) показала, что в процессе их работы в виду изменения внешних воздействий требуется корректировка ФП. Применительно к гауссовой колоколообразной ФП, используемой на рис. 2 корректировке могут подвергаться коэффициенты крутизны – w , концентрации – s , значение максимума функции – r . Формально гауссова колоколообразная ФП на области определения значений x описывается при помощи соотношения вида [13]:

$$\mu(x) = 1 / (1 + |(x - r) / s|^{2 \cdot w}). \quad (5)$$

Приращения значений величин w , s и r , соответственно $\pm \Delta w$, $\pm \Delta s$, $\pm \Delta r$, могут использоваться в роли кортежа управляющих воздействий m_S на каждую ФП термов входных переменных. Множество воздействий на совокупность ФП термов входной переменной можно описать в виде:

$$M_S^{in} = \{m_{S_j}\} : (j \in [1, \dots, 9]) \wedge (j \in N) = 1, \quad (6)$$

$$m_{S_j} = \langle \pm \Delta w_j, \pm \Delta s_j, \pm \Delta r_j \rangle$$

где N – множество целых чисел; j – номер термина входной переменной.

Применительно к системе Сугено управляющие значения для корректировки выходной переменной используется кортеж вида:

$$M_S^{out} = \{y_j^{out}\}, \quad (7)$$

где j – количество значений выходной переменной, которое определяется системой адаптации в процессе обучения.

Совокупность управляющих воздействий представляется в виде объединения множеств M_S^{in} и M_S^{out} :

$$M_S = M_S^{in} \cup M_S^{out}. \quad (8)$$

Формирование элементов множества M_S производится в результате работы системы адаптации, которая реагирует на случаи возникновения ошибок в работе нечеткого контроллера. Под ошибкой контроллера понимается прецедент, когда при заданных значениях $Pr_{t_{n-1}}$ и Pr_{t_n} формируется управляющее воздействие (УВ) P_q , в результате которого наблюда-

ется превышение значения допустимой величины очереди в буфере. Подобный прецедент называется отрицательным и обозначается как P_q^- . Если УВ не привело к негативным последствиям, то прецедент идентифицируется как положительный и обозначается P_q^+ . Идентификация положительного или отрицательного прецедента производится при помощи соотношения вида:

$$d_{prec} = \begin{cases} P_q^+, & q_{pr.dt} - q_{t_n} \leq \Delta q_{max} \\ P_q^-, & q_{pr.dt} - q_{t_n} > \Delta q_{max} \end{cases}, \quad (9)$$

где Δq_{max} – допустимая разница между величинами $q_{pr.dt}$ и q_{t_n} . Если происходит идентификация P_q^- то к значению P_q , полученному в результате обработки заданной пары $Pr_{t_{n-1}}$ и Pr_{t_n}

добавляется фиксированное приращение ΔP_q^- и получается модифицированное значение выходной переменной контроллера. Применительно к схеме на рис. 1 это величина Π_q :

$$\Pi_q = F(Pr_{t_{n-1}}, Pr_{t_n}) + \Delta P_q^- : d_{prec} = P_q^-, q_{pr.dt} - q_{t_n} > \Delta q_{max}. \quad (10)$$

После этого формируется обучающая выборка, в состав которой входят кортежи положительных и отрицательных прецедентов:

$$P_q^+ = \langle Pr_{t_{n-1}}, Pr_{t_n}, P_q, \rangle$$

$$P_q^- = \langle Pr_{t_{n-1}}, Pr_{t_n}, \Pi_q, \rangle \quad (11)$$

Пусть величина ξ – общий объем обучающей выборки собранный за время t работы системы, тогда значение ξ^+ – количество положительных прецедентов, а ξ^- – количество отрицательных прецедентов в выборке. Решение о корректировке $d_{corr} = 1$ контроллера за счет запуска нечеткой нейронной сети (ННС) производится, если за определенный интервал времени Δt , доля ξ^- в общем объеме обучающей выборки превышает значение v :

$$d_{corr} = \begin{cases} 1, & v < \xi^- / \xi : \xi = \xi^+ + \xi^- \\ 0, & v \geq \xi^- / \xi : \xi = \xi^+ + \xi^- \end{cases}. \quad (12)$$

Значения ξ и v определяются эмпирически, как правило, с использованием средств имитационного моделирования в процессе передачи трафика. В рамках проводимых исследований считается, что $\xi = 100$, а $v = 0,1$.

В процессе обучения ННС уточняется значение ФП входных переменных и уточняется область значений выходной переменной. После обучения нейронной сети, значения ФП вход-

ных переменных Pr_{t_n} и $Pr_{t_{n-1}}$, показанной на рис. 2 были преобразованы к видам, показанным, соответственно на рис. 3, а и 3, б.

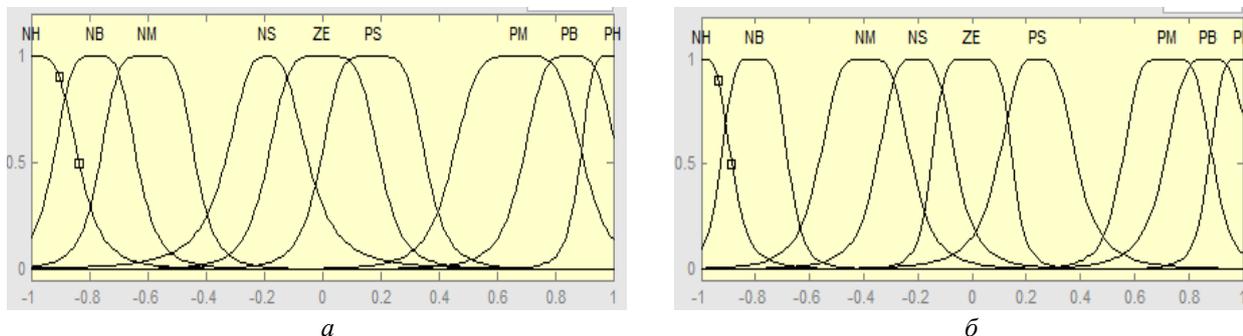


Рис. 3. ФП Pr_{t_n} (а) и $Pr_{t_{n-1}}$ (б) после обучающего процесса

Также формируется множество скорректированных значений выходной переменной M_S^{out} . Учитывая особенности обучения ННС, общее количество элементов множества M_S^{out} составляет 81 элемент (равно общему количеству правил в базе знаний, приведенной в таблице). Результат зависимости значений выходной переменной (вероятности маркировки пакета) от

P_q вероятности перегрузки Pr_{t_n} и $Pr_{t_{n-1}}$ до и после работы системы адаптации приведены на рис. 4, а и 4, б. Как видно из сравнительного анализа рисунков, после работы системы адаптации значения выходной переменной имеют более плавный характер, что позволяет применять команды на снижение интенсивности передачи трафика реже.

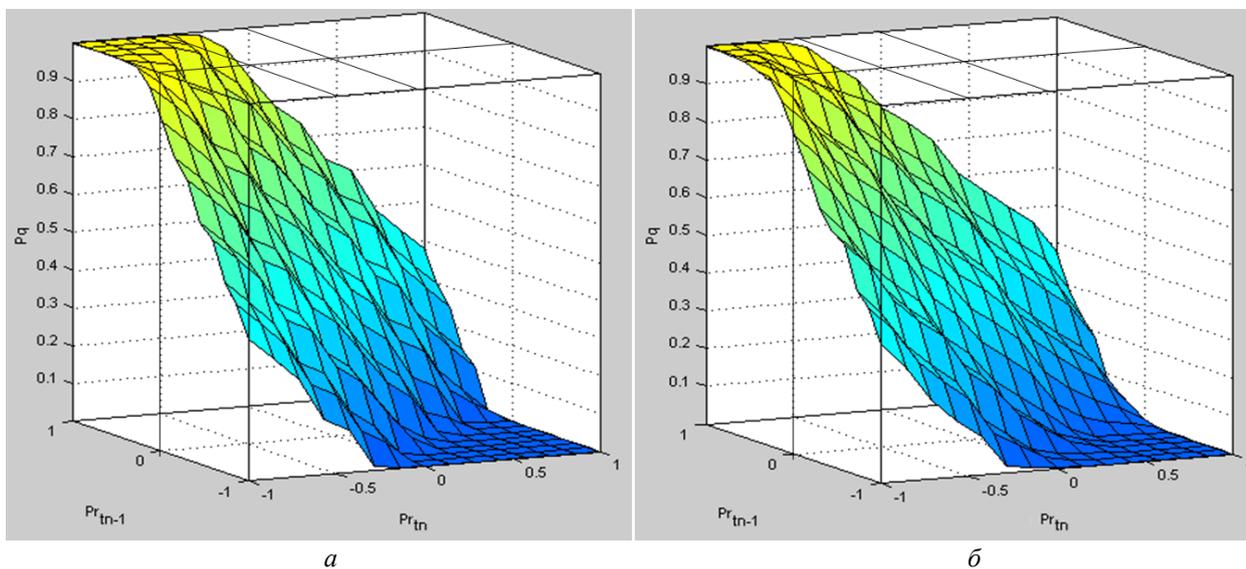


Рис. 4. Внешний вид значений выходной переменной P_q от Pr_{t_n} и $Pr_{t_{n-1}}$ до (а) и после (б) работы системы адаптации

С учетом проведенных исследований разработанный метод управления трафиком целесообразно было назвать AFREM (Adaptive Fuzzy Random Exponential Marking).

Завершающим этапом исследования стала проверка эффективности предложенной систе-

мы управления интенсивностью передачи трафика. Исследование проводилось в программе Network Simulator (NS-2) [3,17]. Общие исходные данные для экспериментов были следующие: размер пакета – 1000 байт, размер буфера очереди – 500 пакет, тип протокола TCP –

TCP/New Reno, периоды проведения измерений $\Delta t_n = 0.006$ с, время моделирования – 100 с.

Для сравнения использован «классический» метод управления интенсивностью передачи трафика на основе мониторинга очереди – REM

(Random Exponential Marking) [8] и FuzREM (Fuzzy REM) – модернизированный метод REM, в котором вероятность маркировки пакета определяется с использованием нечеткого вывода [10, 12]. Схема сети показана на рис. 5.

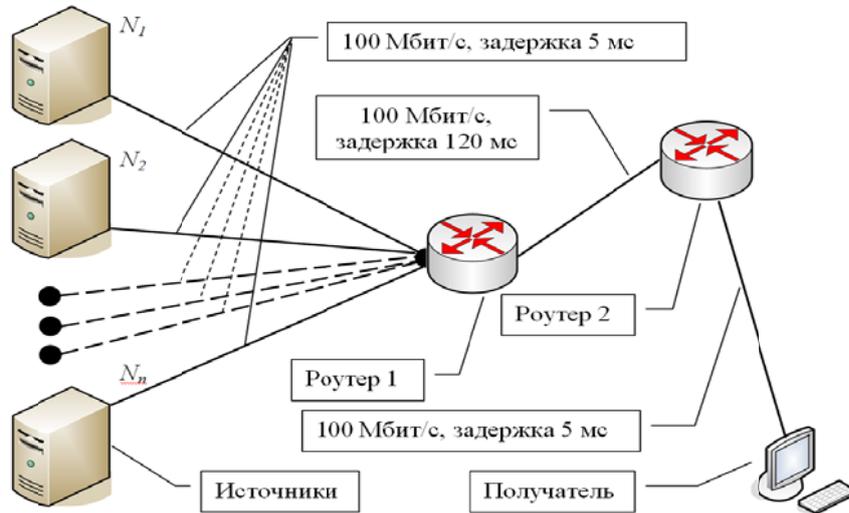


Рис. 5. Схема исследуемой сети

Первая серия экспериментов: изменение рекомендованной длины очереди в диапазоне $q_{pr.dt} = \{100, 150, 200, 250, 300, 350, 400\}$ пакетов при количестве входящих $N = 60$ потоков в се-

тевой узел. Критерии оценки эффективности – вероятность потери пакетов, % и уровень использования линии передачи, %; результаты моделирования показаны на рис. 6, а и 6, б.

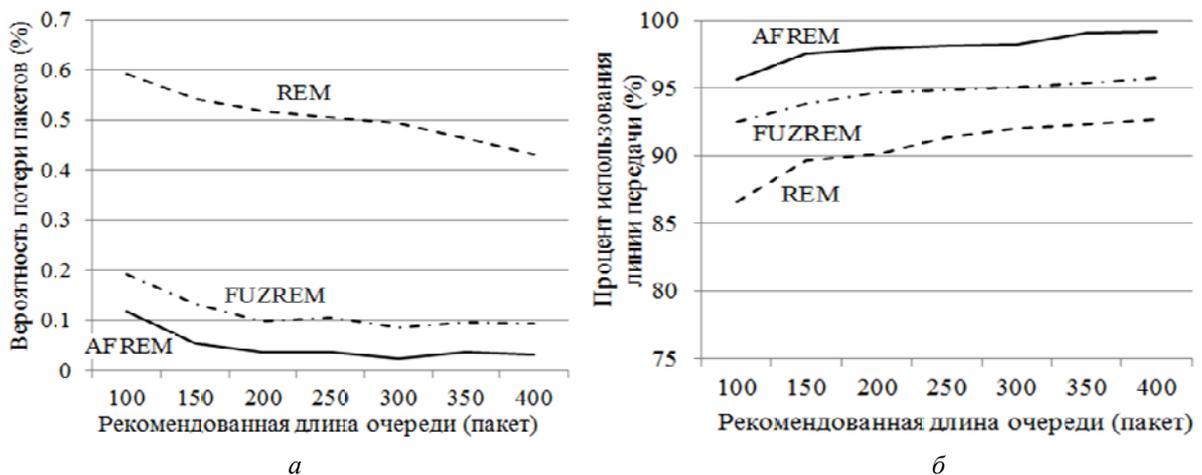


Рис. 6. Результат моделирования при $N = 60$ потоков

Вторая серия экспериментов – изменение количества поступающих потоков в диапазоне $N = \{10, 50, 100, 150, 200, 250, 300\}$ при $q_{pr.dt} = 200$ пакетов. Критериями оценки эффективности вероятность потери пакетов % и уровень использования линии передачи %, результаты моделирования показаны на рис. 7, а и 7, б.

Обобщая анализ результатов моделирования, приведенных на рис. 6–7, можно сделать вывод о том, что в описанных условиях эксперимента предложенный метод управления трафиком превзошел методы предложенные ранее, такие как REM и FUZREM.

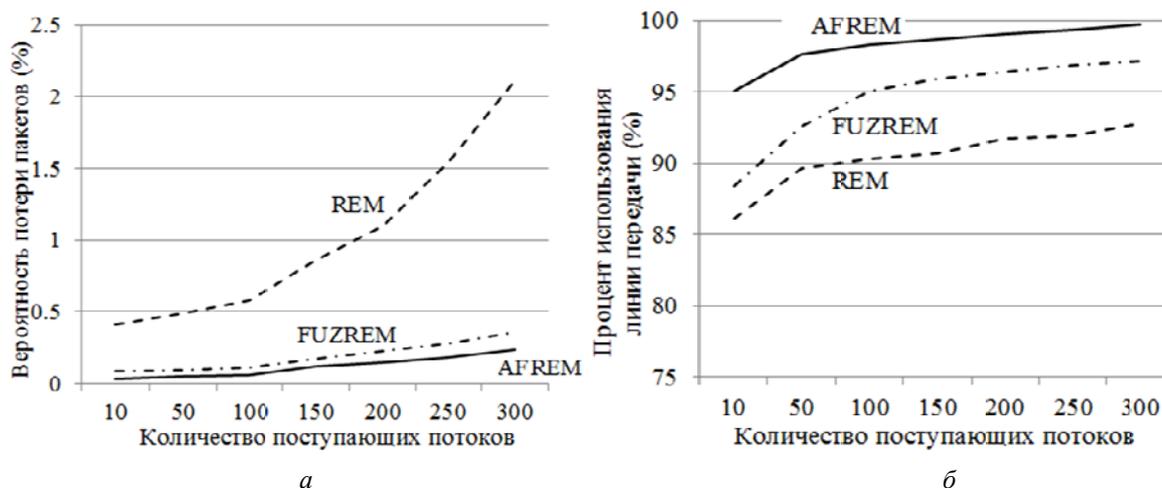


Рис. 7. Результат моделирования при $q_{pr.dt} = 200$ пакетов

В работе предложена методика управления трафиком в сети передачи данных. Методика основана на определении вероятности маркирования пакетов в буферах портов сетевых устройств с учетом параметров очереди, которые обрабатываются при помощи системы нечеткого вывода. Для корректной работы предложенной методики управления предложена система адаптации, основанная на применении нечетких нейронных сетей для формирования управляющих воздействий для корректировки функций принадлежности входных переменных и области значения выходной переменной системы нечеткого вывода, используемой применяемых для определения вероятности маркирования информационного пакета. В результате анализа результатов моделирования сделаны выводы о сокращении потери пакетов в буферах сетевых устройств и увеличение использования каналов передачи данных в исследуемой сети передачи данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Barabanova, E., Barabanov, I., Maltseva, N., Kvyatkovskaya, I. Data Processing Algorithm for Parallel Computing // 11th Joint Conference, JCKBSE 2014, Volgograd, Russia, September 17–20, 2014, pp. 61–69, 2014.
2. Afanasyev, A., Tilley, N., Reiher, P., Kleinrock, L. Host-to-Host Congestion Control for TCP // IEEE Communications Surveys & Tutorials, Accepted For Publication, 2010, pp. 1–39.
3. Дмитриев, В.Н., Сорокин, А.А., Резников, П.С., Чан, К.Т. Разработка программного модуля для исследования систем связи с динамической топологией сети в среде имитационного моделирования network simulator // Инфокоммуникационные технологии. 2015. Т. 13. № 1. С. 33–39.
4. Цитович, И. И., Чернушевич, А. В. О влиянии гистерезиса управления трафиком на эффективность функционирования мультисервисной сети // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2010. – № 2. – С. 314–315.

5. Деарт, В.Ю., Масленников, А.Г. Исследование влияния параметров канала передачи данных на процедуры управления очередью // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. 2012. № 7. С. 77–81.
6. Гайдамака, Ю.В., Масленников, А.Г. Об одной системе массового обслуживания с активным управлением очередью // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». 2013. № 4. С. 56–64.
7. Floyd, S., Jacobson, V. Random early detection gateways for congestion avoidance // IEEE/ACM Trans. On Networking, 1993, Vol. 1, No. 4, pp. 397–413.
8. Athuraliya, S., Li V.H., Low, S.H., Yin, Q. REM: Active Queue Management // IEEE NETWORK. – 2000. – Vol. 15. – pp. 48–53.
9. Kun, H., Beibei, W., Yongmei, L. Study of AQM Congestion Control Algorithm Based on Control Theory// Journal of Convergence Information Technology(JCIT), 2013, Vol. 8, No. 8, pp. 600–607.
10. Xu C., Li F. A Congestion Control Algorithm of Fuzzy Control in Routers // 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008, pp. 1–4.
11. Tabash I.K., Mamun M.A., Negi A. A Fuzzy Logic Based Network Congestion Control Using Active Queue Management Techniques //J.Sci. Res. 2 (2), 2010, pp. 273–284.
12. Xian Y., Wang L. Wen Y. An Adaptive Target Queue Length FREM Algorithm // in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications Technology and Applications (ICCTA '09), 2009, pp. 845–850.
13. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB // Издательство. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. С. 288.
14. Shleeg, A.A., Ellabib, I.M. Comparison of Mamdani and Sugeno Fuzzy Interference Systems for the Breast Cancer Risk // International Journal of Computer, Control, Quantum and Information Engineering, 2013, Vol:7, No.10, pp. 695–699.
15. Qiao Y., Xiaojuan H. A new PID controller for AQM based on neural network // in Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS), 2010, Vol. 1, pp. 804–808.
16. Kiaei, A.A. New S-norm and T-norm Operators for Active Learning Method // <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1010/1010.4561.pdf>.
17. The Network Simulator-ns-2 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>

РОБОТОТЕХНИКА

УДК 681.51, 004.31

В. А. Егунов, А. Л. Качалов

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА МОБИЛЬНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА

Волгоградский государственный технический университет

vegunov@mail.ru, dmn.info@mail.ru

Рассматривается вопрос проектирования мобильного шагающего робота-гексапода. Описывается процесс разработки 3D-модели робота. Приводится описание алгоритмов формирования различных походок робота.

Ключевые слова: мобильный робот, шагающий робот, робот-гексапод, 3D-модель, 3D-принтер, 3D-прототипирование, походка робота, движение робота.

V. A. Egunov, A. L. Kachalov

DEVELOPMENT OF SOFTWARE - HARDWARE COMPLEX FOR MOBILE WALKING ROBOT

Volgograd State Technical University

Discusses the designing of a mobile walking robot-hexapod. Describes the development of the robot 3D model. Discusses the description of algorithms of formation of various gaits of the robot.

Keywords: mobile robot, walking robot, robot-hexapod, 3D-model, 3D-printer, 3D-prototyping, the robot gait, the robot motion.

В настоящее время исследования в области робототехники являются крайне актуальными. Существует огромное количество роботов, которые заменяют человека в зонах повышенной опасности, будь то производственный цех или ликвидация техногенной катастрофы, избавляют от монотонного труда, делают нашу бытовую жизнь проще [1]. Появляются все более и более совершенные модели, способные к анализу информации и принятию решений, распознаванию объектов и манипуляции ими.

Активно проводятся испытания по исследованию и изготовлению шагающих роботов. Это связано с тем, что шагающие конструкции по сравнению с классическими колесными и гусеничными аппаратами [2, 3] имеют ряд достоинств, в том числе при перемещении по поверхностям с трудным рельефом, таким как завалы, пресеченная местность, а также внутри зданий, где необходимо передвигаться по узким коридорам, лестницам и шахтам. Разработка мобильных шагающих роботов с шестью конечностями и более в настоящее время привле-

кает внимание большого числа разработчиков робототехнических комплексов, существует большое число публикаций, посвященных конструкциям таких роботов, а также алгоритмам их перемещения [4, 5].

В связи с этим в данной работе приводится описание проекта, связанного с созданием программно-аппаратного комплекса мобильного шагающего робота на основе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 3 Model B.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- исследовать виды мобильных платформ;
- создать 3D-модель прототипа hexapod;
- распечатать 3D-модель на 3D-принтере, собрать hexapod;
- разработать программу управления мобильным роботом.

В наше время скорость проектирования и изготовления изделий и деталей становится все быстрее. Технология 3D-печати позволяет в короткое время буквально вырастить спроектированную на персональном компьютере

3D-модель. Технология заключается в том, что на 3D-принтере послойно печатается физический объект из определенной 3D-модели. Соответственно, для этого необходима сама CAD-

модель. В рамках данного проекта были разработаны все детали, необходимые для изготовления шагающего робота. Часть моделей деталей представлены на рис. 1 и 2.

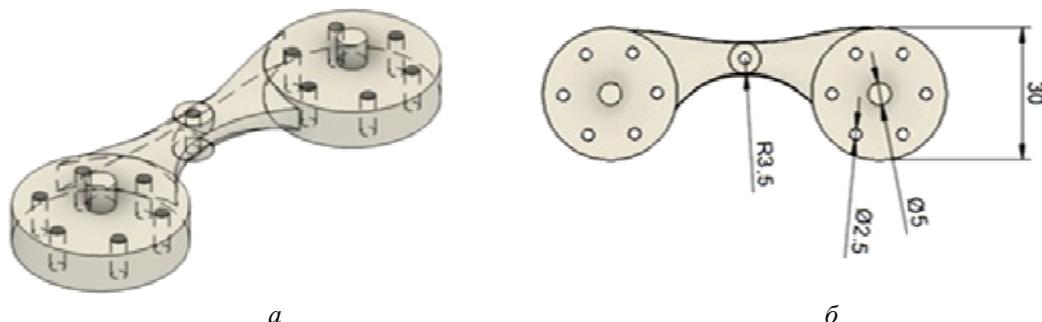


Рис. 1. Чертеж детали, соединяющей корпус робота и часть конечности:
a – аксонометрический вид; *б* – вид сверху

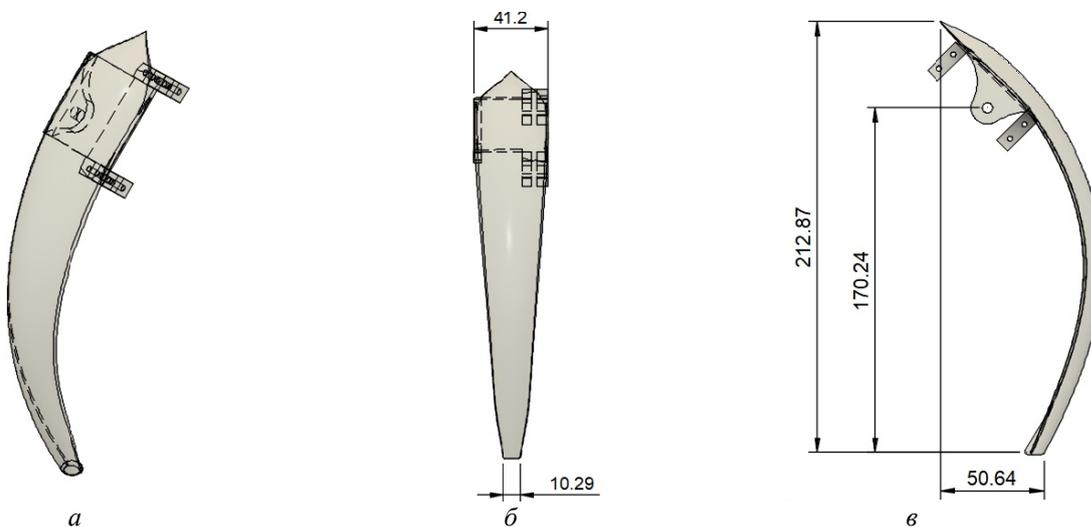


Рис. 2. Чертеж части конечности в трех проекциях:
a – аксонометрический вид; *б* – вид спереди; *в* – вид сбоку

В результате разработанные изделия были распечатаны на 3D-принтере кафедры ЭВМ и

систем ВолгГТУ и использованы для сборки конструкции шагающего робота-гексапода (рис. 3).



Рис. 3. Фотографии реализации робота:
a – одна собранная конечность; *б* – полная сборка робота

При создании алгоритмов передвижения мобильных роботов разработчики основываются на биологическом подходе. Такой подход возник потому, что механические конечности живых существ являются прообразом современных движителей мобильных платформ, следовательно, рукотворные конечности должны повторять локомоционные действия живых существ. С течением времени эти алгоритмы комбинируются, дорабатываются или изменяются.

Классификация существующих алгоритмов:

1) алгоритмы с заранее сконфигурированными параметрами (количество конечностей, последовательность действий);

2) адаптивные алгоритмы:

– алгоритмы, учитывающие изменение числа конечностей и их сочленений;

– алгоритмы, разработанные с учетом неровностей и наклонов поверхности;

– самообучающиеся алгоритмы.

В данном проекте использовались алгоритмы первого типа, в которых учитывалось число конечностей робота, число степеней свободы конечностей, направленность степеней свободы.

Алгоритмы движения для роботов-гексаподов можно разделить на несколько групп: инсектоподобные, животноподобные и комбинированные.

Инсектоподобное перемещение представляет собой волнообразные движения конечностей. Способ изменения положения конечности в горизонтальной плоскости – движение по окружности (плоскость вращения параллельна поверхности). При этом выполняются следующие действия:

1) поднять конечность;

2) переместить конечность в направлении необходимого движения;

3) опустить конечность до упора на поверхность.

4) переместить конечность в направлении, противоположном движению (происходит отталкивание).

Животноподобное перемещение использует в качестве способа изменения положения конечности в горизонтальной плоскости не движение по окружности, а изменение длины проекции конечности на поверхность путем сгибания конечности в сочленении. Таким образом, для реализации животноподобного алгоритма требуется наличие многосегментной конечности (два и более сочленения). При этом выполняются следующие действия:

1) поднять конечность;

2) опорный сегмент конечности приближается к корпусу (в направлении необходимого движения), путем сгибания «коленного» сочленения;

3) конечность опускается;

4) «коленное» сочленение разгибается, опорный сегмент конечности удаляется от корпуса (происходит отталкивание).

Данные перемещения являются основой для построения различных алгоритмов перемещения шагающих роботов. В алгоритме «third+third инсектоподобный» конечности разделяются на две группы, образующие треугольники. При движении одна группа поднимается, другая остается опорной и толкает робота в направлении движения. Возможно прямолинейное движение в направлении, параллельном оси симметрии робота. Движение вперед осуществляется при повороте двух конечностей в одном направлении и одной в противоположном. Разворот робота осуществляется при повороте трех опорных конечностей в одном направлении. Алгоритм «third+third животноподобный» схож с описанным выше, но реализует только прямолинейное движение. Отличия заключаются в способе изменения положения конечностей в направлении прямолинейного движения. Движение происходит параллельно оси симметрии конечности, которая отличается от двух других в группе. В алгоритме «third+third комбинированный» конечности разделяются на две группы, образующие треугольники. В каждой группе две конечности используют инсектоподобный способ, а одна использует животноподобный. Данный алгоритм реализует прямолинейное движение. Направленность движения параллельна оси, на которой расположены конечности, использующие животноподобный алгоритм.

На рис. 5 приведен алгоритм прямолинейного движения робота. Данный алгоритм применяется для прямолинейного движения по ровной поверхности с допустимой высотой неровностей 2–3 сантиметра. Для преодоления препятствий необходима реализация бортового технического зрения, так как конструкция разработанного гексапода потенциально позволяет преодолевать неровности свыше 5 сантиметров.

Данный алгоритм обеспечивает стабильность робота на любом этапе перемещения (шага). Он хорошо подходит для машин, у которых число конечностей равно шести или более.

Следует отметить, что для написания программы управления серводвигателями был использован язык высокого уровня C++. Непосредственное управление серводвигателями осуществляется с использованием платы расширения Multiservo Shield, которая взаимодействует с Raspberry Pi 3 через интерфейс I²C [6]. На Raspberry установлена система Ubuntu 16.04. Взаимодействие по I²C между Raspberry

и Multiservo Shield осуществляется с помощью функций стандартной Linux библиотеки I²C dev-interface.

На рис. 4 представлена схема движения мобильной платформы. Здесь темным цветом обозначены конечности, которые находятся на поверхности ландшафта, светлым – конечности, которые подняты (находятся в воздухе). Данный алгоритм является инсектоподобным.

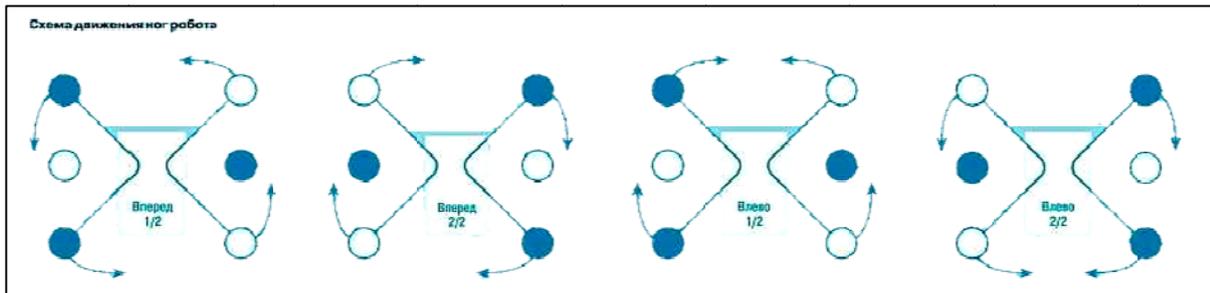
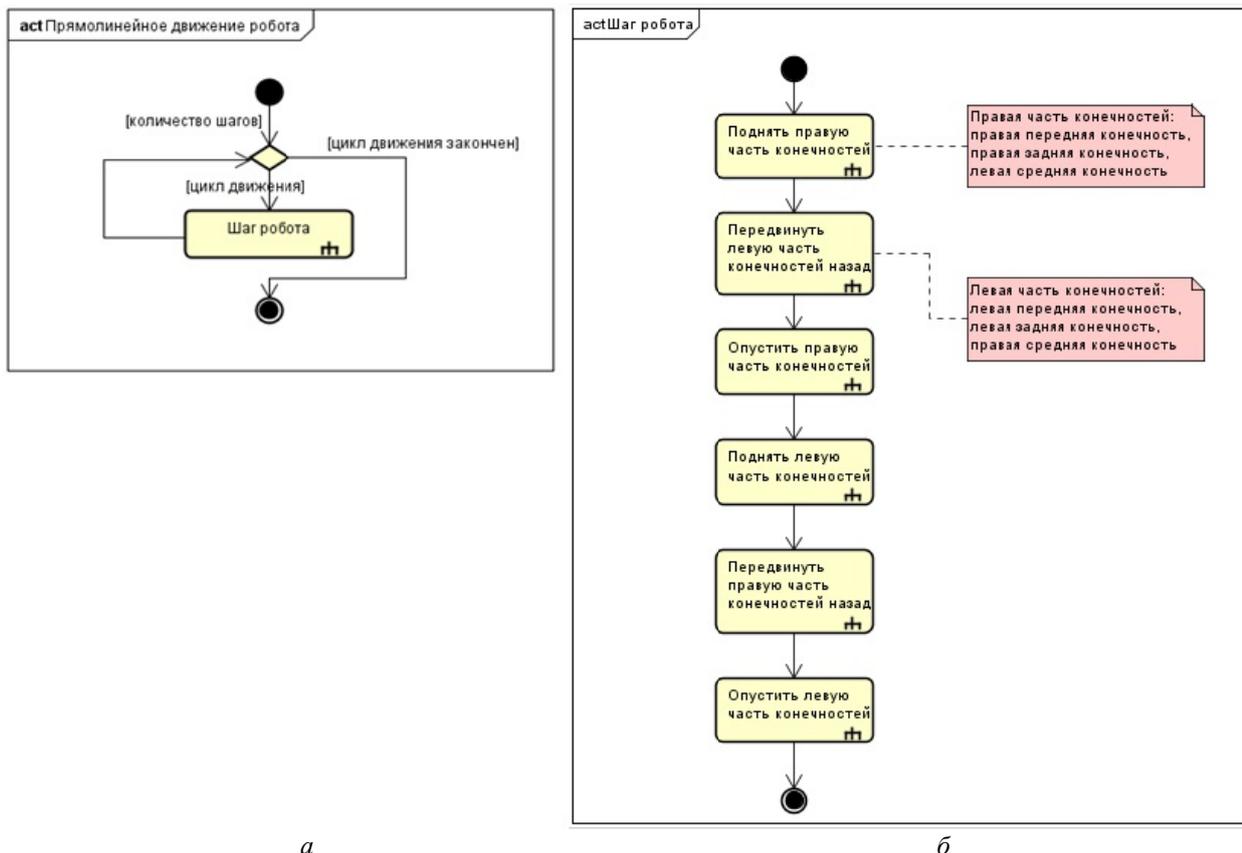


Рис. 4. Схема движения робота



а

б

Рис. 5. Алгоритм движения робота:

а – общий алгоритм; б – детальное описание шага робота вперед

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интеллектуальные роботы : учеб. пособие для вузов / И.А. Каляев [и др.] ; под ред. Е.И. Юревича. – М. : Машиностроение, 2007. – 360 с.

2. Егунов, В.А. Об управлении транспортной системой мобильного робота / В.А. Егунов, А.П. Жуков, М.И. Потапов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в тех-

нических системах». Вып. 12 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 11. – С. 51–52.

3. Егунов, В.А. Трехуровневая архитектура мобильных робототехнических комплексов / В.А. Егунов, М.И. Потапов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 4 (91). – С. 159–161.

4. Zhu, Y., Guo, T., Liu, Q., Li, Q., Yan, R. A study of arbitrary gait pattern generation for turning of a bio-inspired hexapod robot. // Robotics and Autonomous Systems. – 2017. #97, с. 125–135.

5. Development of the insectoid walking robot with inertial navigation system / V.A. Egunov, A.L. Kachalov, M.K. Petrosyan, P.S. Tarasov, E.V. Yankina // Proceedings of the 2018 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2018) (February 1-4, 2018, B-CON Plaza, Beppu, Oita, Japan) / Editor-in-Chief Masanori Sugisaka ; International Steering Committee of International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB), ICAROB society (ALife Robotics Corporations Ltd.), IEEE Fukuoka Section (Japan). – [Japan], 2018. – P. 54 (Mobile Robotics ; OS7-2).

6. Гук, М. Ю. Аппаратные интерфейсы ПК / М. Ю. Гук. – СПб. : Питер, 2002. – 528 с.

УДК 681.51, 004.31

В. А. Егунов, М. К. Петросян

РАЗРАБОТКА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ РОБОТА В ПРОСТРАНСТВЕ

Волгоградский государственный технический университет

vegunov@mail.ru, mih95@inbox.ru

Рассматривается вопрос обработки данных, полученных с инерциальной навигационной системы мобильного робота-гексапода. Описывается механизм передачи полученных данных на персональный компьютер с целью визуализации крена и тангажа платформы мобильного робота.

Ключевые слова: акселерометр, гироскоп, инерциальная навигация, мобильный робот, робот-гексапод, комплементарный фильтр, OpenGL, визуализация, крен, тангаж.

V. A. Egunov, M. K. Petrosyan

DEVELOPMENT OF INERTIAL NAVIGATION SYSTEM OF A WALKING ROBOT WITH THE ABILITY TO VISUALIZE THE POSITION OF THE ROBOT IN SPACE

Volgograd State Technical University

Discusses the processing of data obtained from the inertial navigation system of mobile robot-hexapod. Describes the mechanism of data transfer to a personal computer to visualize the roll and pitch of the mobile robot platform.

Keywords: accelerometer, gyroscope, inertial navigation, mobile robot, robot-hexapod, complementary filter, OpenGL, rendering, roll, pitch.

Важной прикладной задачей является определение положения платформы мобильного робота в пространстве, в частности, определение углов наклона платформы относительно ее продольной и поперечной оси, т. е. крена и тангажа. В данной работе описывается решение данной задачи с использованием инерциальных датчиков – акселерометра, измеряющего кажущееся линейное ускорение, т. е. разницу между истинным линейным ускорением объекта и гравитационным ускорением, и гироскопа, измеряющего угловую скорость вращения объекта, подключенных к микрокомпьютеру Raspberry Pi 3 Model B на примере мобильного шагающего робота-гексапода. Другие подходы к построению систем управления мобильными роботами описаны, например, в [1, 2]. Отдельно

стоит упомянуть о системах управления мобильными роботами, в которых оценка положения осуществляется на основе одометрии [3], т. е. использовании данных о движении приводов робота для оценки его перемещения.

Актуальность работы обусловлена широким применением робототехники в различных сферах деятельности человека. Применение высокопроходимых мобильных роботов может значительно снизить необходимость участия человека в тяжелой и опасной работе. Задача определения положения мобильного робота в пространстве является актуальной как для автономных роботов, так и для управляемых моделей, особенно в условиях отсутствия визуального контакта оператора с управляемым роботом.

Взаимодействие с инерциальным датчиком (GY-85), подключенным к микрокомпьютеру Raspberry Pi, происходит через интерфейс I2C. Перед считыванием данных модуль настраивается на необходимый режим работы путем записи инициализирующих значений в регистры модуля. После этого происходит периодическое считывание данных с акселерометра ADXL345 и гироскопа ITG-3205. Обработка полученных данных состоит из нескольких этапов:

- считываются данные с двух датчиков;
- вычисляются углы поворота объекта путем интегрирования данных, полученных с гироскопа;
- к результирующим данным применяется комплементарный фильтр, который объединяет значения с двух устройств, в результате вычисляются отклонения по двум осям (крен и тангаж).

Итоговые отклонения передаются по беспроводной сети Wi-Fi с Raspberry Pi на персональный компьютер (ПК), где можно отслеживать отклонения объекта на построенном 3D-объекте (куб с разноцветными гранями), который реализован с использованием библиотеки OpenGL на языке C++.

Для решения проблемы определения углов наклона объекта, можно использовать как гироскоп, так и акселерометр. В случае с первым устройством угол наклона определяется с помощью дискретного интегрирования скорости его вращения, которая определяется гироскопом. Однако у данного сенсора есть ощутимые недостатки – дрейф нуля, а также постепенное накопление ошибки вычисления угла. В случае акселерометра, его применение оправдано для определения углов наклона неподвижных объектов. Если же на объект действует какая-нибудь сила, использование одного акселерометра не может решить задачу определения ориентации объекта в пространстве. То есть можно сделать вывод, что использование только гироскопа или акселерометра для решения поставленной задачи недостаточно.

В данном проекте использовалось объединение показаний обоих датчиков с использованием комплементарного фильтра [4, 5] (1).

$$\alpha = (1 - K) * (\alpha + \text{gyro} * dt) + K * (\text{acc}). \quad (1)$$

Здесь α – вычисляемый угол; gyro – показания гироскопа; acc – показания акселерометра; K – константа фильтра.

Значение коэффициента K выбирается в зависимости от таких факторов, как скорость накопления ошибок вычисления, которая опреде-

ляется опытным путем, и величина дрейфа нуля гироскопа, являющаяся справочной величиной для конкретного устройства. Если выбрать слишком большое K, это может привести к высокой чувствительности фильтра к внешним воздействиям. Напротив, недостаточное значение данного коэффициента не сможет исправить ошибку, связанную с дрейфом нуля гироскопа. Величина коэффициент K в данном проекте выбиралась опытным путем, в процессе испытаний использовались значения из диапазона от 0.05 до 0.01.

В выражении (1) член $K * (\text{acc}_x)$ фактически эквивалентен применению фильтра нижних частот к показаниям акселерометра, измеряющего линейные ускорения объекта. Цель использования данного фильтра состоит в том, чтобы пропускать достоверные изменения показаний акселерометра, отфильтровывая их высокочастотные колебания. Если, например, значение показаний акселерометра скачкообразно изменятся, это не приведет к мгновенному скачкообразному изменению рассчитанного угла, значение угла будет меняться постепенно, причем временные параметры данного процесса будут зависеть от значения коэффициента K, а также от частоты дискретизации (dt).

В выражении (1) член $(1 - K) * (\alpha + \text{gyro} * dt)$ фактически эквивалентен применению фильтра верхних частот к показаниям гироскопа, которые после интегрирования используются для вычисления необходимых углов объекта. Таким образом, при правильно подобранном значении K будет подавляться дрейф гироскопа, определяющего угловую скорость объекта. Необходимо отметить, что вычисления (1) производятся по двум осям, что позволяет определить положение платформы мобильного робота, в частности, значения крена и тангажа.

Структурная схема системы представлена на рис. 1. Инерциальный датчик взаимодействует с микрокомпьютером Raspberry Pi 3 Model B через интерфейс I2C, в свою очередь микрокомпьютер передает данные на персональный компьютер по WiFi.

Программа для микрокомпьютера была разработана на языке программирования C++. Вначале была осуществлена настройка датчиков, которая включает в себя включение датчиков, установка уровней чувствительности и т. д. Настройка датчиков, считывание значений осуществляется через специальные программно-доступные регистры датчиков, информацию о которых можно найти в документации на них.

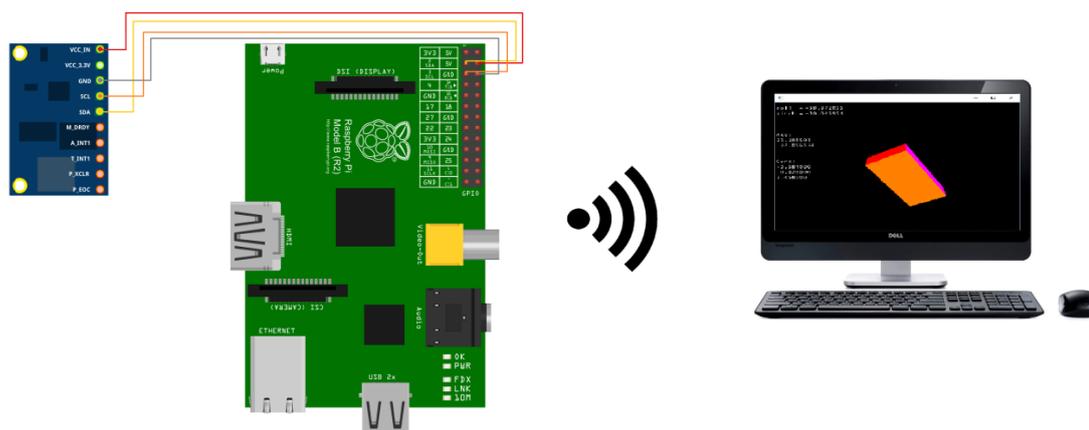


Рис. 1. Структурная схема системы

На персональном компьютере была разработана программа, предназначенная для визуализации положения объекта в пространстве с использованием библиотеки OpenGL. OpenGL является одним из самых популярных прикладных программных интерфейсов для разработки приложений в области двумерной и трехмерной графики. В данной программе эта библиотека используется для визуализации платформы робота, чтобы наглядно продемонстрировать работу датчиков инерциальной навигации. Имитированная платформа представляет собой параллелепипед с гранями разного цвета, который реагирует на отклонения датчика (по осям x и y). Сами значения крена и тангажа отображаются на экране вместе с данными вычисленными с акселерометра по осям x и y , а также значения углов гироскопа по трем осям.

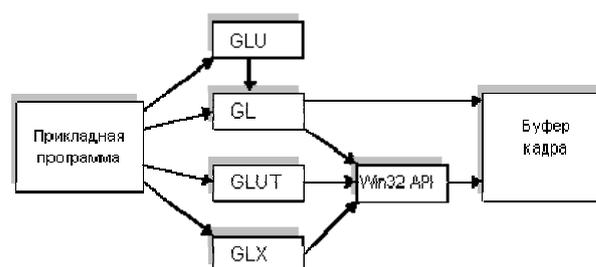


Рис. 2. Структура библиотеки OpenGL

Для отображения объекта используется отрисовка фигуры по граням, при этом цвет задается с помощью функции $glColor3f(r, g, b)$. Вращение имитированной платформы реализуется при помощи функции $glRotatef(Angle, Xtrue, Ytrue, Ztrue)$ (рис. 3).

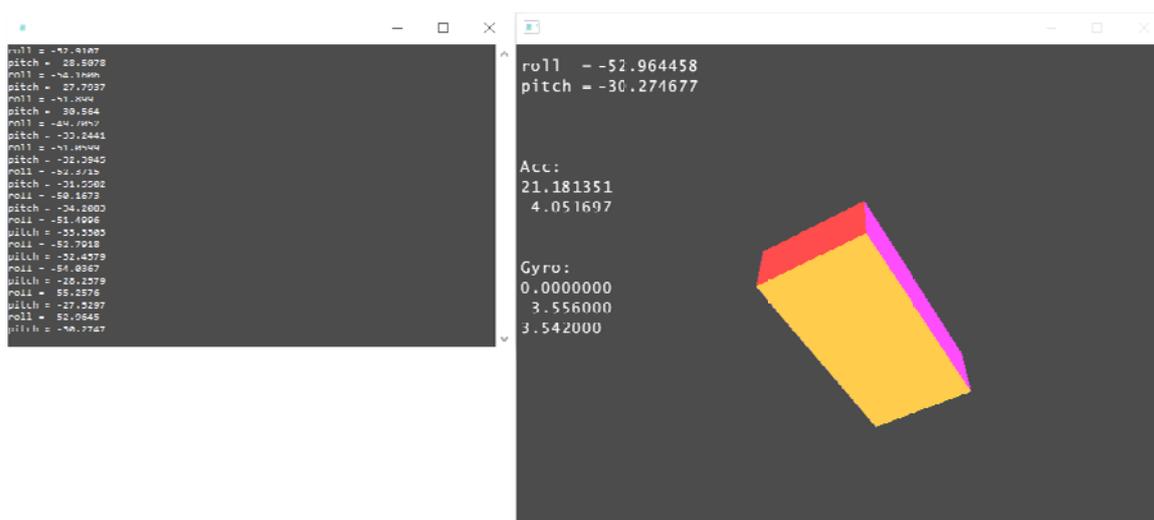


Рис. 3. Результат работы программы на ПК

Помимо отрисованной фигуры также отображается окно консоли, в которой для нагляд-

ности отображаются значения крена и тангажа, которые в свою очередь записываются в csv-

файл. По результатам записанных в файл данных строятся графики, на которых по оси абсцисс приводится время в секундах, по оси орди-

нат – углы крена и тангажа (рис. 4). Программа написана на языке Python с использованием библиотеки для визуализации данных Matplotlib.

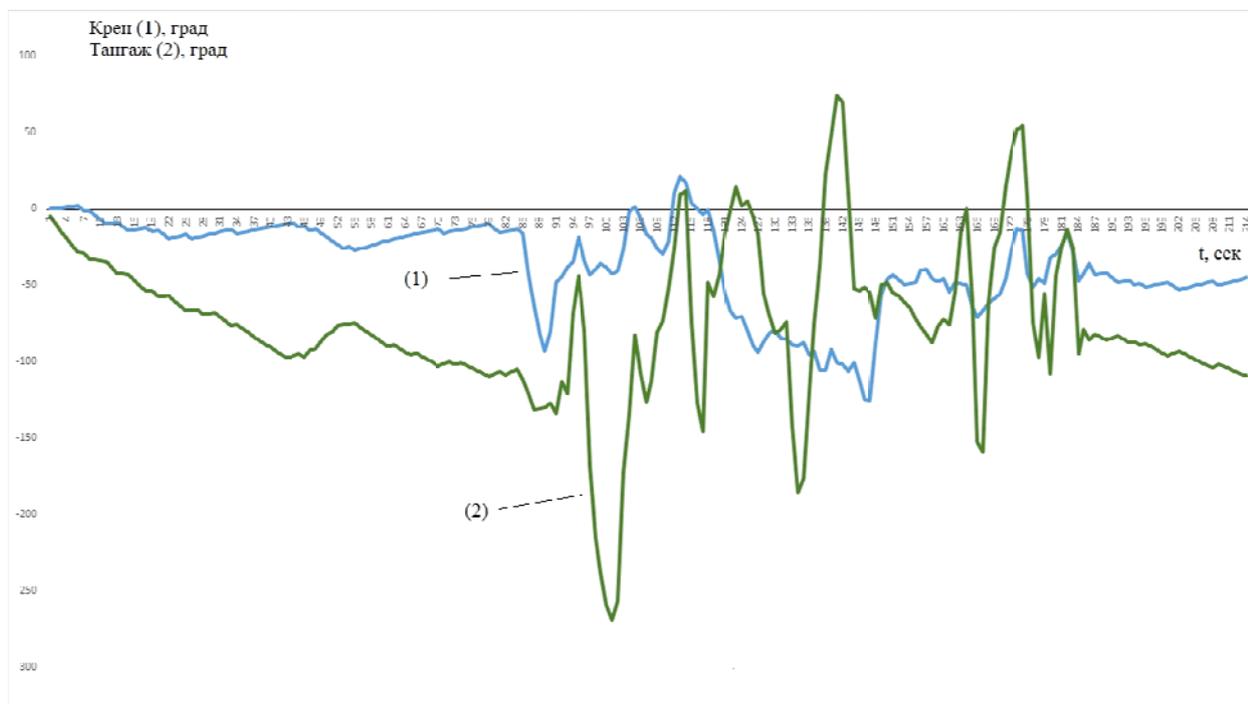


Рис. 4. Значения крена и тангажа, вычисленные с использованием комплементарного фильтра

В данном проекте в качестве средства сетевого взаимодействия между ПК и Raspberry Pi 3 выбраны сокет. Причем на стороне сервера программа функционирует на ОС Raspbian, а на клиенте используется ОС Windows. С использованием разработанной системы можно наглядно отслеживать положение наблюдаемого объекта в пространстве на экране ПК.

Проведенные тесты показали хорошую чувствительность системы с одной стороны, и отсутствие дрейфа при отображении объекта, имитирующего платформу мобильного робота, с другой стороны, а также малое время отклика системы, что является немаловажным при проектировании систем управления на базе встраиваемых систем [6]. В качестве дальнейшего улучшения характеристик разработанной системы предполагается использование математического аппарата кватернионов при обработке данных инерциального датчика. Ожидается, что применение данного математического аппарата приведет к повышению точности измерений, повышению плавности движений объекта на экране персонального компьютера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егунов, В.А. Трехуровневая архитектура мобильных робототехнических комплексов / В.А. Егунов, М.И. Потапов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 4 (91). – С. 159–161.
2. Егунов, В.А. Об использовании линейных преобразований в управлении мобильным роботом / В.А. Егунов, С.В. Артюх // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 17. № 14 (117). С. 82–84.
3. Егунов, В.А. Разработка мобильного робота с навигационной системой на базе одометрии / В.А. Егунов, А.А. Лебедь // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий (ИНФО-2013) : мат-лы X Междунар. науч.-практ. конф., г. Сочи, 1–10 окт. 2013 г. / МИЭМ НИУ ВШЭ [и др.]. – М., 2013. – С. 417–418.
4. Mark Euston, Paul Coote, Robert Mahony, Jonghyuk Kim, and Tarek Hamel. A complementary filter for attitude estimation of a fixed-wing uav with a low-cost imu. In 6th International Conference on Field and Service Robotics, July 2007.
5. Хозяинов, В.А., Пономарев, В.К. Алгоритм обработки сигналов измерителей в миниатюрной гировертикали на основе комплементарных фильтров / В сборнике : Научная сессия ГУАП: сб. докл. : в 3 ч. 2017. С. 247–251.
6. Егунов, В.А. Моделирование системы управления на базе микроконтроллера / В.А. Егунов, А.Р. Джакияев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). С. 24–27.

УДК 004.42

*Д. С. Подоплелов, Я. В. Федоров, Н. С. Васяева***СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ В ЛАБИРИНТЕ****Поволжский государственный технологический университет**

dimastriy@gmail.com, zteblade777@gmail.com, VasyaevaNS@volgtech.net

Приведены результаты разработки автономной многоконтроллерной распределенной системы ориентации подвижных платформ в лабиринте. Цель работы состоит в исследовании и апробации способов взаимодействия контроллеров для многоконтроллерных мобильных роботизированных систем. Система построена на основе контроллеров Arduino Uno и Arduino Mega, для задания поведения которых разработаны конечные автоматы и схема их взаимодействия. Также в работе описаны форматы передаваемых между контроллерами сообщений по интерфейсу Bluetooth. Разработаны и апробированы алгоритмы перемещения автономных колесных платформ и вычисления кратчайшего пути в лабиринте. Испытания натурных моделей проводились на лабиринтах различных конфигураций.

Ключевые слова: роботизированная система, система управления, протокол взаимодействия контроллеров, управление подвижными платформами, автономная система ориентирования.

*D. S. Podoplelov, Y. V. Fedorov, N. S. Vasyaeva***ORIENTATION SYSTEM OF MOBILE PLATFORMS IN A LABYRINTH****Volga State University of Technology**

This article contains the results of developing the orientation system of mobile platforms in a labyrinth. The developed system based on the hardware platforms Arduino Uno and Arduino Mega. For data transmission, Bluetooth modules are used. Orientation of the platforms in the maze occurs with the help of infrared and ultrasonic sensors. This system can be used to measure ventilation shafts, pipelines, and be the basis for a positioning system in closed spaces. The uniqueness of the developed system is its autonomy. The relevance of this system is the coordination of working several robots. At the moment developed two mobile platforms, protocol for exchanging data between controllers, moving algorithms and definition of the shortest path. Experiments were conducted on the track with a different numbers of crossroads and dead ends then the sensor positions and constants values were corrected.

Keywords: robotic system, autonomous system, mobile platforms, labyrinth, orientation system.

Введение

В настоящее время в области встраиваемых и роботизированных систем существуют задачи, в которых требуется организация распределенной системы управления, состоящей из нескольких различных контроллеров. К таким задачам можно отнести задачу прохождения лабиринта группой автономных роботов, причем только первый робот-исследователь строит кратчайший маршрут, а остальные повторяют его, выполняя при этом другие задачи, например, мониторинг окружающей среды. Для систем, функционирующих в реальных условиях, может возникнуть необходимость смены ролей между мобильными роботами или даже подключения к группе робота другого типа.

Для многоконтроллерных роботизированных систем одной из основных задач является задача распределения реализуемых функций управления между контроллерами и организация взаимодействия между ними. Это актуально как для локальных систем, где одни контроллеры, расположенные рядом, обрабатывают, например, показания датчиков, а другие

управляют исполнительными устройствами, так и для распределенных систем, когда контроллеры меняют свое местоположение в пространстве. В любом случае немаловажным является минимизация времени взаимодействия контроллеров и объема передаваемых сообщений между ними, что в итоге влияет на производительность всей системы. Определенное влияние на протокол взаимодействия безусловно оказывает и среда, в которой функционирует роботизированная система (водная, воздушная).

Задача прохождения лабиринта группой роботов может быть полезной для исследования алгоритмов взаимодействия мобильных платформ, причем группа роботов по своему составу может быть, как однородной, так и гетерогенной.

В данной работе приводятся результаты решения задачи прохождения лабиринта двумя автономными колесными платформами. На начальном этапе исследования приняты следующие допущения к конструкции лабиринта. Платформы испытываются в лабиринте без циклов (т. е. имеющих единственный путь между двумя точками) с единственным выходом. В ла-

биринте возможны различные виды перекрестков, на которые наложено ограничение: любые повороты должны образовывать прямой угол.

Каждая платформа выполняет свою задачу. Ведущая – исследует лабиринт и строит минимальный маршрут от точки старта до точки финиша. Ведомая платформа повторяет переданный ей маршрут, причем на ее борту находятся только датчики, необходимые для осуществления прямолинейного движения в коридоре. Поскольку конструкция ведомой платформы значительно разгружена, то ее можно оснастить оборудованием для мониторинга окружающей среда, механизмами захвата (и т. п.), что достаточно актуально для поисково-спасательной робототехники.

Протокол взаимодействия автономных колесных платформ

Разработанная система состоит из двух колесных платформ – ведущей (рис. 1) и ведомой (рис. 2). Главная задача системы – прохождение лабиринта ведомой платформой по кратчайшему маршруту. Первой исследует лабиринт ведущая платформа – она находит выход, составляет кратчайший маршрут и отправляет его ведущей платформе. Ведущая принимает маршрут и движется согласно ему от входа лабиринта к выходу.

По включению питания обе платформы связываются друг с другом и подтверждают готовность. После этого ведущая платформа начинает движение по лабиринту. Как только ведущая

платформа обнаружит финиш, она прекращает движение и передает вычисленный кратчайший маршрут ведомой платформе. Когда ведомая платформа получит маршрут и команду начала движения от ведущей платформы, она начинает движение по маршруту, доезжает до ведомой платформы и останавливается.

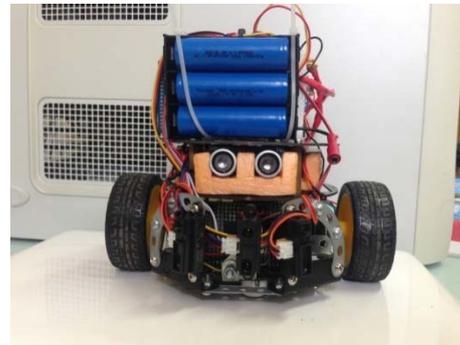


Рис. 1. Конструкция ведущей платформы

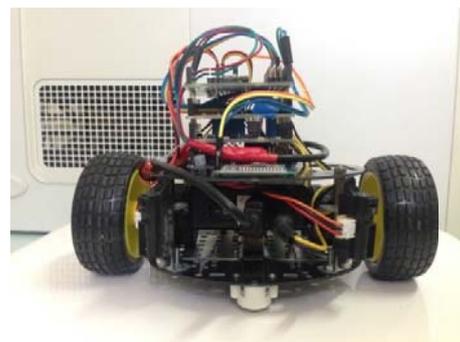


Рис. 2. Конструкция ведомой платформы

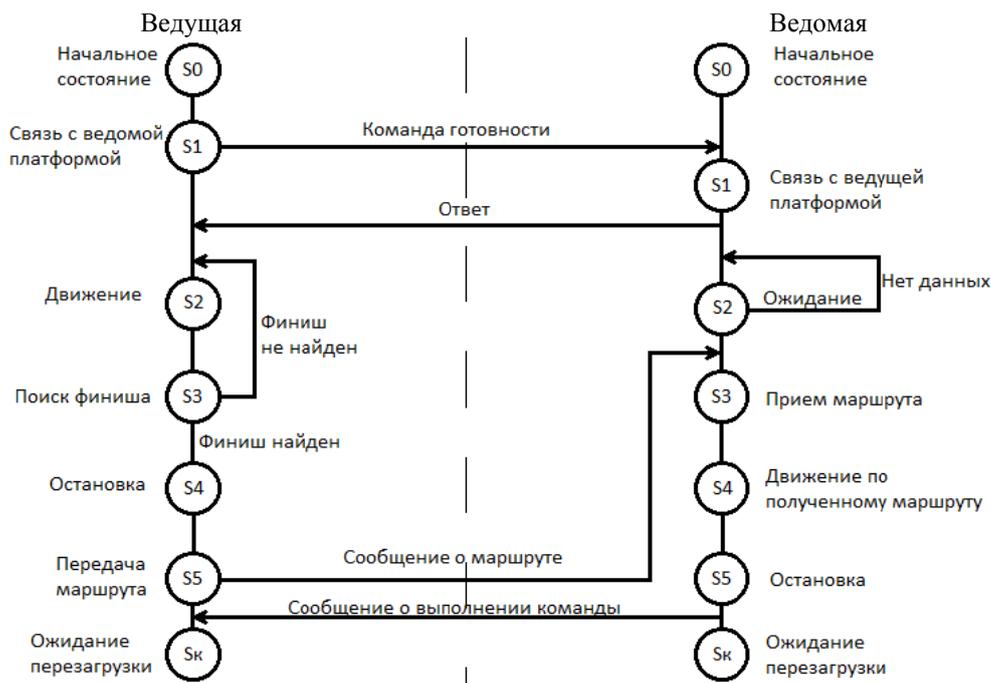


Рис. 3. Схема взаимодействия автоматов

В ходе проектирования системы была разработана схема взаимодействия двух конечных детерминированных автоматов ведомой и ведущей платформ (рис. 3). При взаимодействии платформ используются три типа сообщений: команда готовности, сообщение о маршруте и сообщение о выполнении команды. Ответ ведомой платформы имеет формат команды готовности.

Для передачи данных был разработан формат команд (рис. 4) и формат передаваемых данных (рис. 6). Так как необходимо передавать три команды, то для этого достаточно двух бит. Остальные 6 бит оставлены для информации о длине поля данных сообщения.

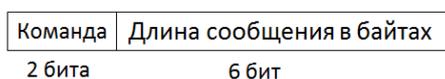


Рис. 4. Формат команд

Команда готовности и сообщение о выполнении команды не подразумевают дальнейшую передачу данных, поэтому у этих команд в шести младших битах записаны нули, а сообщение о маршруте содержит длину сообщения в байтах, которое будет передаваться далее с содержанием информации о маршруте.



Рис. 5. Виды команд

После того, как ведомая платформа принимает сообщение о маршруте, она ожидает указанное количество байт с информацией о необходимых действиях, задающих траекторию движению. Всего может быть три варианта поведения ведомой платформы на перекрестках: поворот налево, движение прямо и поворот направо. Эта информация также умещается в два бита, поэтому каждый байт может содержать четыре действия.

Повороту налево соответствует комбинация «01», движение прямо – «10», повороту напра-

во соответствует комбинация «11». Если количество команд не кратно четырем, то неиспользованные биты последнего байта сообщения заполняются нулями.

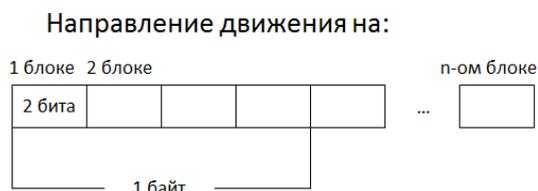


Рис. 6. Формат передачи данных

Для создания подвижных платформ была выбрана аппаратная платформа Arduino. Контроллер ArduinoMega является основным контроллером для управления ведущей платформой. Через TroykaShield к нему подключены датчики расстояния: два инфракрасных для движения вдоль стен и три ультразвуковых для определения перекрестков. Опрос ультразвуковых происходит медленнее, но они могут работать на малых расстояниях (от 4 см), опрос инфракрасных датчиков происходит быстрее, поэтому они используются во время движения платформы.

Финиш определяется датчиком света по красной метке. Он также подключен к контроллеру ArduinoMega. Для передачи данных ведомой платформе используется WirelessShield, в который установлен модуль Bluetooth HC-05. Чтобы платформа двигалась по прямой на точно заданное расстояние было решено использовать шаговые двигатели. Двигатели управляются отдельным контроллером для стабильного непрерывного движения. Управление каждого двигателя происходит через отдельную плату MotorShield. Для питания шаговых двигателей используются три литий-ионные аккумуляторные батареи (АКБ). Контроллеры питаются от этих же АКБ, подключенных через понижающий стабилизатор напряжения. В процессе функционирования системы необходимо контролировать напряжение, выдаваемое батареями, и при необходимости отключать систему. Для реализации этих функций был разработан специальный контроллер. На каждой батарее измеряется напряжение через АЦП контроллера и делители напряжения. Этот же контроллер управляет движением двигателей.

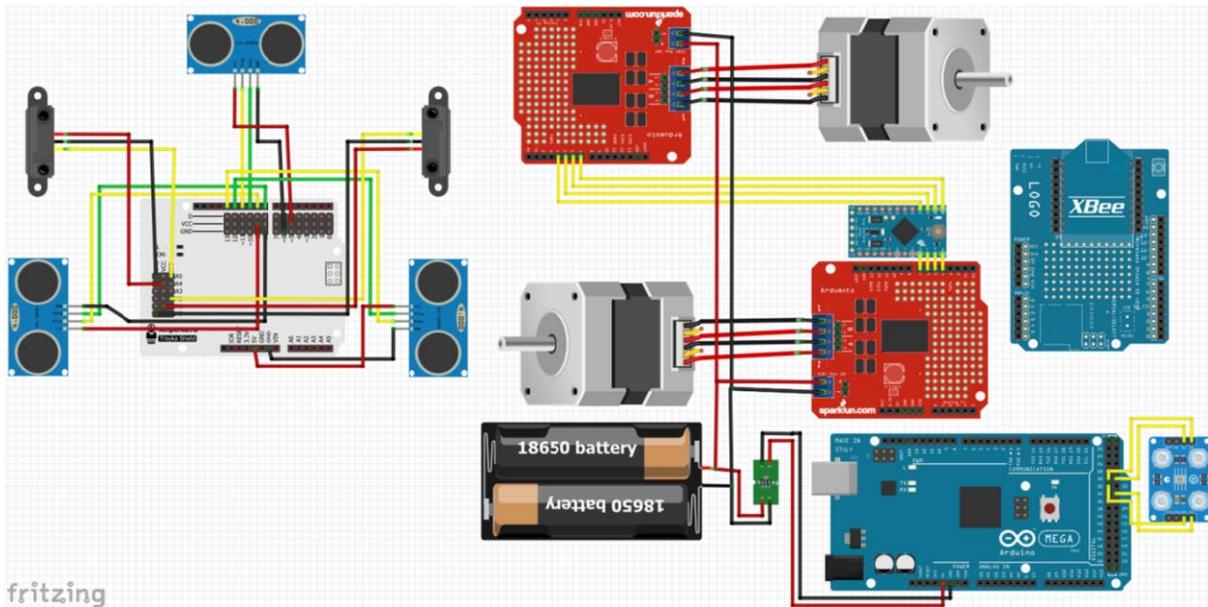


Рис. 7. Схема подключения ведущей платформы

Конструкция ведомой платформы схожа с конструкцией ведущей. В ней используются только инфракрасные датчики, т. к. определять перекрестки нет необходимости. Для передачи данных ведущей платформе к контроллеру Arduino Uno подключен модуль Bluetooth HC-06. Для питания используется АКБ со

встроенным контроллером питания и выходами 12 и 5В. Максимального выходного тока этого аккумулятора не хватает для ведущей платформы, а для ведомой вполне достаточно, т. к. в этой платформе используются менее мощные шаговые двигатели. Для управления двигателями используется контроллер Arduino Mini.

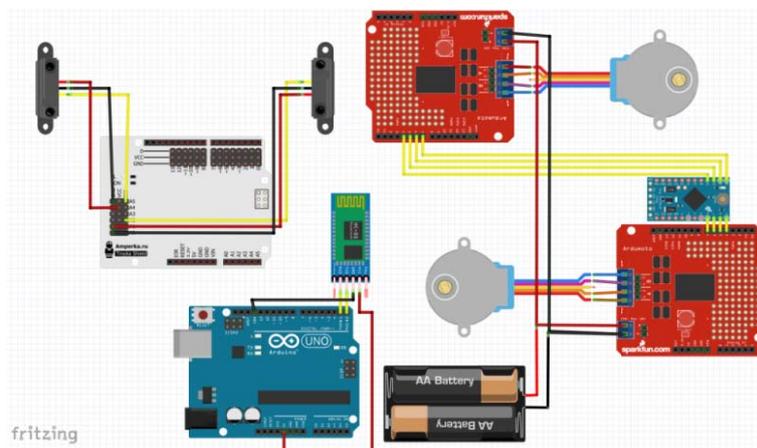


Рис. 8. Схема подключения ведомой платформы

Выводы

В результате проведенных работ отлажены алгоритмы исследования лабиринта любой конструкции двумя колесными полностью автономными платформами. Для взаимодействия платформ используется интерфейс Bluetooth. Разработана схема взаимодействия двух конечных автоматов Мили для связи между платформами и форматы сообщений. Достовер-

ность полученных результатов проверена на натуральных автономных моделях колесных платформ в лабиринте с описанными выше ограничениями. Целью работы являлось исследование и отработка алгоритмов взаимодействия контроллеров, поэтому поверхность, по которой передвигались платформы, была выбрана условно идеальной, то есть проскальзывание колес отсутствует.

На следующем этапе исследований планируется использовать лабиринты других конструкций с различными видами поверхностей, чтобы учесть влияние реальных условий на работу полученных алгоритмов.

Дальнейших исследований требует вопрос разработки протоколов взаимодействия контроллеров в распределенной многоконтроллерной системе с применением принципа модели коллектива вычислителей. В алгоритмы необходимо заложить адаптивное поведение группы контроллеров, когда перераспределение их ролевых функций происходит динамически без значительной приостановки работы всей роботизированной системы.

Необходимо также исследовать принципы синхронизации обмена сообщениями между контроллерами одной группы. Для этого требу-

ется выполнить экспериментальные исследования связи контроллеров по различным интерфейсам, доступным в условиях мобильности роботов. Следует рассмотреть возможность смены интерфейса в процессе работы по причине недостаточного уровня связи или наличия значительных помех.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блум Джереми, Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства : пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 336 с.
2. Бачинин, А. Основы программирования микроконтроллеров / А. Бачинин, В. Панкратов, В. Накоряков. – М.: Амперка, 2013. – 207 с.
3. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями : монография / Д. А. Белоглазов [и др.] ; под ред. В. Х. Пшихопова. – М.: Физматлит, 2014. – 295 с.

Редактор РИО, ответственный за выпуск
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)

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00
E-mail: president@vstu.ru

Темплан 2018 г. Поз. № 9ж. Подписано в печать 29.05.2018 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,49. Уч.-изд. л. 14,35.
Тираж 80 экз. Свободная цена. Заказ №

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. 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.