

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, доцент ВолгГТУ  
*Добрушин Л. Д.*, д-р техн. наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев, Украина)  
*Злотин С. Г.*, д-р хим. наук, проф., Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН (г. Москва, Россия)  
*Иванов А. М.*, д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ, г. Москва, Россия)  
*Иващенко Н. А.*, д-р техн. наук, профессор, засл. деятель науки РФ, МВТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)  
*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 (МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия)  
*Мертен Клеменс*, д-р техн. наук, проф. Universität Stuttgart Institut für Chemische Verfahrenstechnik (г. Штутгарт, Германия)  
*Навроцкий А. В.*, д-р хим. наук, проф. ВолгГТУ  
*Нижегородцев Р. М.*, д-р экон. наук, главный научный сотрудник, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (г. Москва, Россия)  
*Пай В. В.*, д-р физ.-мат. наук, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)  
*Полянчиков Ю. Н.*, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ  
*Пустовойт В. Н.*, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)  
*Ревин А. А.*, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ  
*Русинов В. Л.*, чл.-корр. РАН, Химико-технологический институт Уральского федерального университета (ХТИ УрФУ, г. Екатеринбург, Россия)  
*Рыбин В. В.*, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский политехнический университет (г. Санкт-Петербург, Россия)  
*Трюэль Жан-Луи*, д-р экон. наук, проф., Университет «Париж-12», Сорбонна, Франция, вице-президент Международного клуба экономистов «Круг Кондратьева»  
*Тхай Куанг Винь*, д-р философии, Институт информационных технологий (г. Ханой, Вьетнам)  
*Федянов Е. А.*, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ  
*Фролов В. А.*, д-р техн. наук, проф., «МАТИ – Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского (г. Москва, Россия)  
*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  
*Шеин А. Г.*, д-р физ.-мат. наук, проф. ВолгГТУ  
*Щербаков М. В.*, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ  
*Яковлев И. В.*, д-р техн. наук, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)

Серия

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

# ИЗВЕСТИЯ



ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

*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.  
(ТаГРТУ, г. Таганрог, Россия)

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

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

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

*Фоменков С. А.*, д.т.н., проф.

*Шилин А. Н.*, д.т.н., проф.

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

Международный индекс журнала  
ISSN 1990-5297

Журнал распространяется  
по подписке.

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

**Тел. издательства ВолгГТУ:**

(8442) 24-84-06

Факс (8442) 24-84-06

otr@vstu.ru

Научный журнал

Издается с января 2004 г.

Выходит двенадцать раз в год

## № 8 (203)

## Август 2017

**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», 2017

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# IZVESTIA



VOLGOGRAD STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY

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

## Editorial board:

Chairman

**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.  
**Gorobtsov 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)

**Kureychik 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

**№ 8 (203)**  
**August**  
**2017**

**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

- Алексеев С. С. 7  
Андреев А. Е. 7  
Ахмед В. М. А. 96  
Баштанник Н. А. 88  
Беда Д. В. 13  
Брискин Е. С. 108  
Брумштейн Ю. М. 45  
Быков Д. В. 96  
Вайнгольц И. И. 51  
Васильев П. С. 17  
Гаевой С. В. 96  
Гайфитдинова В. Ю. 45  
Гамалеев Д. С. 82  
Гетманский В. В. 7  
Голованчиков А. Б. 17, 23  
Горемыкин С. А. 40  
Горобцов А. С. 113  
Гуртяков А. С. 13  
Дворянкин А. М. 29  
Догадин Н. Б. 103  
Жукова И. Г. 29  
Карпова С. А. 64  
Карцов С. К. 34  
Кваша Ю. С. 108  
Кисиль М. Е. 17  
Кобликов И. А. 55  
Коробкин Д. М. 51, 55, 60  
Кравец А. Г. 60  
Кульцова М. Б. 29, 64  
Левитин С. А. 60  
Лобейко В. И. 37, 40, 88  
Лузгин С. В. 34  
Луконина Е. Н. 88  
Матюшечкин Д. С. 64  
Михолап Л. А. 37  
Мишта Е. А. 23  
Молодцова С. В. 78  
Насонов А. А. 7  
Овчар Н. А. 82  
Орлова Ю. А. 113  
Парыгин Д. С. 13  
Платонов А. А. 71  
Погребняк И. С. 88  
Потапова Т. А. 13  
Рашевский Н. М. 78  
Розалиев В. Л. 113  
Румянцев В. В. 34  
Русакова Г. Г. 23  
Сальникова Н. А. 60  
Санжапов Б. Х. 78  
Синицын А. А. 78  
Скобелев М. О. 108  
Старусев А. В. 37, 40  
Стешенко А. С. 113  
Усов А. О. 64  
Филимонов М. И. 17  
Фоменков С. А. 51, 55, 96  
Чёрикова К. В. 23  
Шаронов Н. Г. 108  
Шумейко Н. О. 60  
Яровенко В. А. 55

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

|                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Андреев А. Е., Алексеев С. С., Гетманский В. В., Насонов А. А.</i><br>Ускорение расчета динамического напряженно-деформированного состояния методом дискретных элементов на графических сопроцессорах с использованием технологии OpenCL..... | 7  |
| <i>Беда Д. В., Гуртяков А. С., Парыгин Д. С., Потапова Т. А.</i><br>WEB-сервис для планирования туристических маршрутов на основе предпочтений пользователей и геоданных о городских объектах.....                                               | 13 |
| <i>Голованчиков А. Б., Филимонов М. И., Васильев П. С., Кисиль М. Е.</i><br>Моделирование вероятности улавливания дисперсной фазы в тонкопленочном отстойнике с учетом сил инерции.....                                                          | 17 |
| <i>Голованчиков А. Б., Чёрикова К. В., Мишта Е. А., Русакова Г. Г.</i><br>Расчет промышленных экстракторов непрерывного действия для выщелачивания бензином подсолнечного масла из жмыха.....                                                    | 23 |
| <i>Дворянкин А. М., Кульцова М. Б., Жукова И. Г.</i><br>Задача размещения нагруженных отрезков.....                                                                                                                                              | 29 |
| <i>Карцов С. К., Лузгин С. В., Румянцев В. В.</i><br>Виртуальная модель многоосного автомобиля для оптимизации параметров упругих свойств адаптивной подвески.....                                                                               | 34 |
| <i>Михолап Л. А., Старусев А. В., Лобейко В. И.</i><br>Об одном методе оценки требуемого количества экспериментов при испытаниях сложных технических систем.....                                                                                 | 37 |
| <i>Старусев А. В., Лобейко В. И., Горемыкин С. А.</i><br>Оптимизация технологии подготовки и проведения экспериментов с использованием имитационного моделирования.....                                                                          | 40 |

### Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

|                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Брумштейн Ю. М., Гайфитдинова В. Ю.</i><br>Городская среда: системный анализ угроз безопасности для физических и юридических лиц.....                                                                        | 45 |
| <i>Вайнгольц И. И., Фоменков С. А., Коробкин Д. М.</i><br>Некоторые подходы к решению проблемы эффективного поиска физических эффектов.....                                                                     | 51 |
| <i>Кобликов И. А., Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Яровенко В. А.</i><br>Методика извлечения описаний реализуемых в патенте технических функций.....                                                            | 55 |
| <i>Кравец А. Г., Левитин С. А., Шумейко Н. О., Коробкин Д. М., Сальникова Н. А.</i><br>Web-интерфейс интеллектуальной платформы поиска новых технических решений и экспертизы заявок на получение патентов..... | 60 |
| <i>Кульцова М. Б., Усов А. О., Матюшечкин Д. С., Карпова С. А.</i><br>Мобильное приложение «Travel and communication assistant» для людей с когнитивными нарушениями.....                                       | 64 |
| <i>Платонов А. А.</i><br>Автоматический поиск и сбор информации из открытых источников об экологической обстановке.....                                                                                         | 71 |
| <i>Санжапов Б. Х., Молодцова С. В., Рашевский Н. М., Синицын А. А.</i><br>Разработка процесса унификации представления данных результатов экологического мониторинга атмосферного воздуха.....                  | 78 |

### Часть III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Гамалеев Д. С., Овчар Н. А.*

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Информационная система для координации городских сообществ и проектов..... | 82 |
|----------------------------------------------------------------------------|----|

### Часть IV. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

*Баиштанник Н. А., Лобейко В. И., Луконина Е. Н., Погребняк И. С.*

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Метод определения показателей оценки эффективности инфокоммуникационных сетей..... | 88 |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|

*Гаевой С. В., Ахмед В. М. А., Быков Д. В., Фоменков С. А.*

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Аппроксимация потока заданий на примере вычислительного кластера UniLu-Gaia..... | 96 |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|

*Догадин Н. Б.*

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Особенности прогнозирующего расчета границы санитарно-защитной зоны при размещении базовых станций сетей Wi-Fi в закрытых помещениях..... | 103 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

### Часть V. РОБОТОТЕХНИКА

*Брискин Е. С., Шаронов Н. Г., Кваша Ю. С., Скобелев М. О.*

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| О выборе геометрических параметров заклинивающе-поворотных движителей мобильных роботов..... | 108 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

*Стешенко А. С., Горобцов А. С., Розалиев В. Л., Орлова Ю. А.*

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Метод построения пространственной модели головы человека для помощи взаимодействия робота с человеком..... | 113 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| К сведению авторов..... | 120 |
|-------------------------|-----|

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК004.94, 004.42

*А. Е. Андреев, С. С. Алексеев, В. В. Гетманский, А. А. Насонов*

## УСКОРЕНИЕ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ГРАФИЧЕСКИХ СОПРОЦЕССОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ OPENCL\*

**Волгоградский государственный технический университет**

andan2005@yandex.ru, 2serales96@mail.ru, victor.getmanski@gmail.com, shady\_\_@mail.ru

Рассмотрен подход к ускорению расчета динамического напряженно-деформированного состояния (НДС), выполняемого по методу дискретных элементов, на графических сопроцессорах с использованием стандарта OpenCL. Версия расчета, реализованная на OpenCL, внедрена в разрабатываемый авторами решатель динамического НДС; проведены вычислительные эксперименты для тестовой задачи расчета пластины и получены оценки ускорения вычислений.

*Ключевые слова:* моделирование упругих тел, напряженно-деформированное состояние, динамика систем тел, метод дискретных элементов, вычислительное ядро, OpenCL, GPU, FPGA.

*A. E. Andreev, S. S. Alekseev, V. V. Getmanskiy, A. A. Nasonov*

## ACCELERATION OF DYNAMIC STRESS-STRAIN STATE CALCULATION BY THE METHOD OF DISCRETE ELEMENTS ON THE GRAPHIC COPROCESSORS USING OPENCL TECHNOLOGY

**Volgograd State Technical University**

An approach to accelerate the calculation of the dynamic stress-strain state (DSSS) performed by the method of discrete elements on the graphics coprocessors using OpenCL is considered. Version of calculation implemented in OpenCL is introduced in the DSSS solver, having been developed by authors, computational experiments for a test problem of plate calculation were carried out and the estimations of the calculations speed-up obtained.

*Keywords:* modeling of elastic bodies, stress-strain state, the systems of bodies dynamics, method of discrete elements, computational kernel, OpenCL, GPU, FPGA.

### Введение

Один из подходов моделирования динамики технических систем рассматривает такие системы как совокупности большого числа тел со связями (многотельные системы или MBS – multi-body systems). В ВолгГТУ в течении многих лет разрабатывается система инженерного анализа ФРУНД (Формирование и Решение Уравнений Нелинейной Динамики), использующая многотельный подход [1]. Наряду с расчетом динамики машин эта система использует междисциплинарное моделирование, в частности, расчет напряжений и тепловой расчет, сопряженные с моделированием ди-

намики [2]. Расчет напряжений в динамике в данной системе выполняется по методу дискретных элементов (МДЭ), а не с использованием традиционного конечно-элементного подхода, что приводит и к большим затратам времени на моделирование. Это обстоятельство, а также то, что расчет НДС является наиболее сложным вариантом расчетов в данной системе, объясняет, почему на примере именно этого решателя авторами рассматривается внедрение в систему моделирования различных технологий параллельных вычислений и адаптация расчетных алгоритмов для параллельных расчетов.

© Андреев А. Е., Алексеев С. С., Гетманский В. В., Насонов А. А., 2017

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-47-340385, 16-07-00534, 15-01-04577, 15-07-06254) Администрации Волгоградской области (проект № 16-47-340385).

В работах [2, 3] авторами показаны ограничения в масштабируемости решателей MBS системы ФРУНД при использовании декомпозиции расчетных областей и сочетании многопоточных расчетов с распределенными вычислениями. Одним из подходов к решению задачи сокращения времени моделирования в таких условиях является применение ускорителей вычислений, таких, как графические или ПЛИС (FPGA) сопроцессоры. Для создания переносимых решений, которые можно применять на разных вычислительных архитектурах (GPU, CPU, FPGA, MIC), можно воспользоваться стандартом неоднородных вычислений OpenCL [4].

#### Краткое описание математической модели

Модель расчетов многотельной динамики, в частности, расчетов напряжений и деформаций в многотельной модели многократно описана в литературе, например, в [2, 3], поэтому опишем модель коротко.

В используемой модели каждое упругое тело представляется твердыми дискретными элементами, расчетная область представлена регулярной ортогональной сеткой в трехмерном пространстве. Каждый дискретный элемент имеет форму куба, шесть степеней свободы и от одной до шести связей с соседними элементами. В контексте динамической модели одновременно рассматривается движение всей системы и относительные движения (смещения) элементов друг относительно друга в процессе деформации.

Движение каждого элемента при используемых допущениях описывается обыкновенным дифференциальным уравнением (ОДУ) следующего вида:

$$M\ddot{\mathbf{y}} = \mathbf{q}(\dot{\mathbf{y}}, \mathbf{y}, t) - \mathbf{M}\mathbf{a}(t) + \mathbf{s}(\dot{\mathbf{y}}, \mathbf{y}), \quad (1)$$

где  $\mathbf{y}$  – координаты дискретных элементов;  $\mathbf{M}$  – матрица инерции;  $\mathbf{a}$  – вектор ускорений твердого тела, входящего в полную динамическую модель;  $\mathbf{s}(\dot{\mathbf{y}}, \mathbf{y})$  – силы стабилизации. Функция  $\mathbf{q}(\dot{\mathbf{y}}, \mathbf{y}, t)$  описывает силы, действующие между дискретными элементами. Случайные возмущения, передаваемые от динамической модели, могут вызывать смещение дискретных элементов, поэтому для их привязки к опорному телу введены силы стабилизации.

Основными элементами численного решения системы ОДУ (1) являются численное интегрирование (например, явным методом Рун-

ге-Кутты 4 порядка), преобразование координат дискретных элементов и перерасчет правых частей уравнений, который в среднем на больших моделях занимает до 67–70 % времени решения для однопоточного варианта расчета.

#### Перенос прототипа решателя на графический ускоритель с использованием OpenCL

На начальном этапе для оценки перспективности выполнения таких расчетов на графических ускорителях был выполнен перенос на GPU с использованием OpenCL прототипа решателя, в котором воспроизводились основные этапы расчета, но были опущены некоторые важные промежуточные вычисления, необходимые в реальном решателе [5]. Было получено относительно небольшое ускорение общего расчета (около 1,2 раз, но только для расчета правых частей – до 6 раз, а без учета времени пересылок между хостом и сопроцессором – до 16 раз, что имеет некоторый смысл в гибридных процессорах, которые включают как ядра CPU, так и GPU и для которых пересылка между хостом и ускорителем не является проблемой). В той же работе [5] были выделены основные причины относительно скромного ускорения:

- интенсивный обмен между хостом и сопроцессором;
- необходимость оптимизации расчета в ядрах OpenCL;
- необходимость ускорения расчета остальных операций (помимо расчета правых частей).

#### Внедрение расчетов на графическом ускорителе в основной решатель НДС

При внедрении расчета на OpenCL в основной решатель отмеченные выше проблемы проблемы были учтены. В первую очередь на OpenCL были перенесены алгоритмы интегрирования ОДУ и те вспомогательные операции, перенос которых на ускоритель целесообразен. Это составление матриц поворотов, проверка сумм скоростей элементов для выявления ошибок.

Не были перенесены для расчета на ускоритель лишь операции, затрагивающие сохранение результатов расчета в файл и подсчет статистики и времени. Сохранение в файл реализуется на хосте по очевидной причине невозможности прямого доступа в файловую систему из ускорителя. Подсчет общей статистики по напряжениям связан с записью в файл, кроме того занимает относительно мало времени, так что перенос его на ускоритель нецелесо-

сообразен. Подсчет времени выполнения вычислений на устройстве при тестовых запусках требует значительных изменений архитектуры приложения, кроме того выполнить замер времени выполнения алгоритмов возможно и через профилировку.

Особое внимание при переносе всех частей алгоритма на OpenCL было уделено количеству и частоте пересылок данных с хоста на ускоритель и обратно. Для этого был подробно проанализирован основной алгоритм и все данные, используемые решателем, были разделены на три группы :

1. Константы. Задаются при инициализации. Содержат данные о массе элементов, размерах и прочих параметрах, не изменяющихся при расчете.

2. Межитерационные данные. Меняются во время расчета и обязательно должны храниться между итерациями. Задаются при инициализации.

3. Временные данные. Каждую итерацию сбрасывают свои значения. При инициализации задаются нулевыми значениями.

Среди межитерационных данных также было введено условное деление для определения того, насколько часто данные должны отправляться из устройства в хост и наоборот. Эти данные выбирались исходя из того, какие алгоритмы не были перенесены на ускоритель. Как было отмечено, на хосте реализованы алгоритмы подсчета статистики, времени и сохранения данных в файл.

Сохранение в файл происходит по завершению полного цикла интегрирования. Сохраняются данные о смещениях, поворотах и напряжениях. Для подсчета статистики необходимы лишь значения напряжений. Подсчет статистики происходит в те же моменты, когда и сохранение в файл. Исходя из вышесказанного, необходимо реализовать пересылку смещений, поворотов и напряжений от ускорителя к хосту во время каждого полного интегрирования.

По сравнению с реализацией, описанной в [5], был переработан алгоритм для вычислительных ядер ускорителя. Дело в том, что GPU из-за своей архитектуры неэффективно обрабатывают условия, которые приводят к ветвлениям с дальними переходами внутри одной рабочей группы. По возможности мы избавились от всех подобных условий, заменив ветвления анализом заранее рассчитанных битовых полей,

эта задача решалась при реализации граничных условий.

Граничные условия по нулевой производной подразумевают, что степени свободы указанных элементов будут зафиксированы, т. е. значения всегда равны нулю. Реализация этого граничного условия вынесена на хост с предварительным расчетом вспомогательного массива множителей.

Фактически условия в ядре были заменены умножением на заранее рассчитанный массив, а граничные условия по умолчанию присутствуют у всех элементов. Реализовано это следующим образом. На ускорителе выделяется массив целых чисел BoundaryFree. В массиве для каждого элемента модели выделяется 6 целых чисел, на каждую степень свободы элемента. По умолчанию все значения принимаются равными 1. Затем анализируется список граничных условий, и если текущий элемент находится в списке, то для всех указанных степеней свободы соответствующему ему числу присваивается 0. Массив пересылается на ускоритель. Затем в алгоритме подсчета правых частей при сохранении компоненты силы, действующей на текущую степень свободы, и напряжения по этой степени свободы текущее значение умножается на элемент из указанного массива с сохранением результата. Таким образом, исходя из (1), при условии, что начальная матрица инерции равна нулю (а это выполняется всегда, так как матрица инерции приравнивается к нулю при инициализации алгоритма), все последующие значения матриц инерции будут нулевыми. Силу стабилизации можно не учитывать, так как она тоже зависит от предыдущего значения матрицы инерции и тоже будет нулевой.

Другой тип граничных условий – граничные условия по второй производной. Массив BoundaryForces содержит два вектора на каждый элемент на поступательные и вращательные степени свободы. По умолчанию они всегда нулевые, а при наличии граничного условия им присваиваются соответствующие значения. На этапе применения в вычислительном ядре эти значения прибавляются покомпонентно к соответствующей производной, также при этом учитывается первый тип граничных условий по нулевой производной.

Общая схема решения показана на рис. 1 и 2 в виде диаграмм компонентов / размещения и диаграммы последовательности UML.

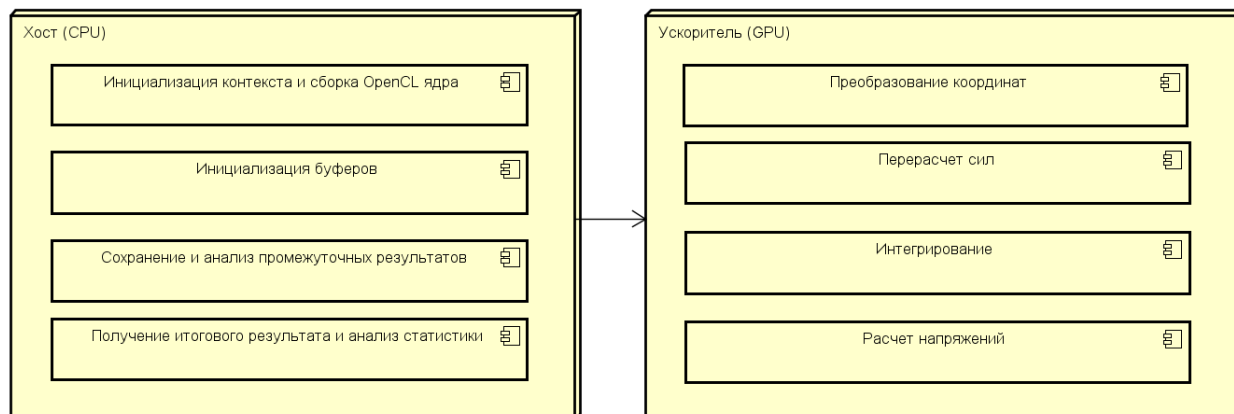
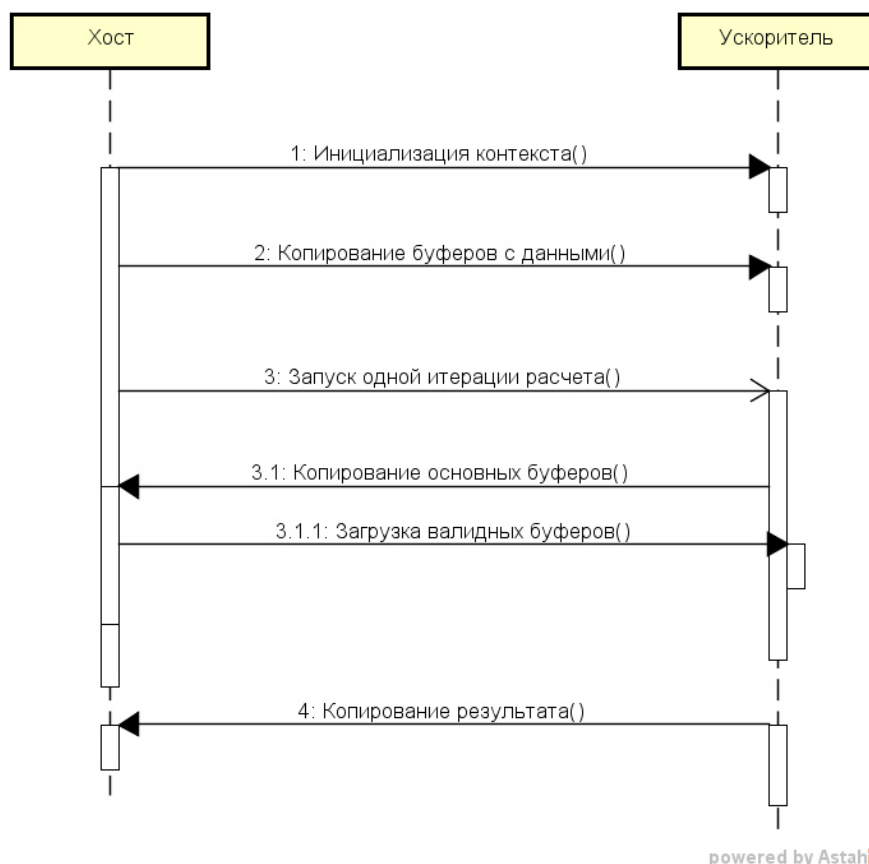


Рис. 1. Общая схема решения (задачи, решаемые хостом и ускорителем)

Текущая версия решателя была протестирована на NvidiaTesla K20, результат сравнивался с серверной платформой с двумя процессорами Xeon E5 2660 с отключенным HyperThreading. На рис. 3 представлен график зависимости времени расчета от размера модели. В таблице те же данные представлены в числовом виде. На GPU расчет производился с текущей версией OpenCL

решателя, на CPU расчет производился с текущей версией решателя с использованием команд AVX. Выборка данных производилась по результатам трех замеров по минимальному времени. GPU установлен в одной системе с двумя процессорами. Результаты расчетов совпадают, что можно видеть из сравнения выходных данных и их визуализации, приведенной на рис. 4.



powered by Astah

Рис. 2. Последовательность обмена данными между хостом и ускорителем

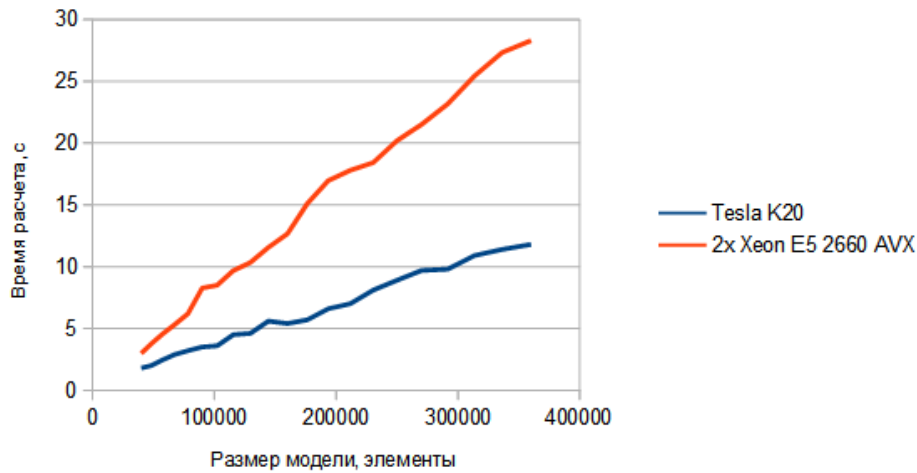


Рис. 3. График зависимости времени расчета модели от ее размера на GPU и CPU

Из приведенных графика и таблицы видно, что достигнуто ускорение вычислений по сравнению с двумя мощными CPU в 2,4–2,5 раза. При дальнейшем увеличении количества дис-

кретных элементов ускорение могло бы увеличиться, но объем обрабатываемых данных ограничен памятью GPU.

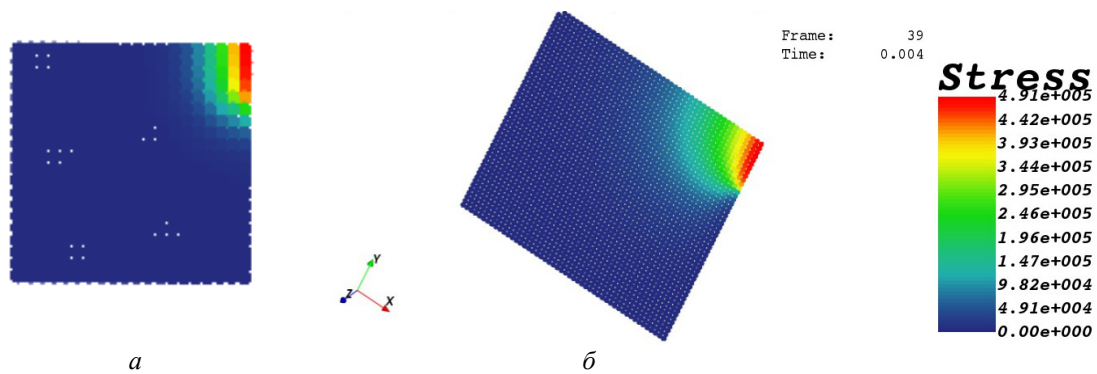


Рис. 4. Сравнение картины напряжений по результатам расчетов на CPU(а) и GPU(б)

Сравнить скорость работы ранее разработанного теплового решателя на CUDA [6] с решателем НДС непосредственно нельзя из-за тестирования их на разных системах. Можно грубо оценить, что решатель НДС на OpenCL работает не более чем в 2 раза медленнее теплового решателя (тепловой решатель согласно [6] ускорил вычисления относительно од-

ного CPU с использованием AVX-инструкций в 8,27 раз, соответственно в 4,14 раз относительно двух CPU), что при условии не окончательной оптимизации и в целом более трудоемкой вычислительной задачи достаточно приемлемо. Это предположение предстоит проверить для выяснения предела ускорения вычислений НДС на GPU.

Время расчета моделей разноразмера на GPU и CPU

| Размер модели, тел | Время расчета, с |                           | Ускорение |
|--------------------|------------------|---------------------------|-----------|
|                    | GPU Tesla K20    | 2x CPU Xeon E5 2660 с AVX |           |
| 48400              | 2                | 3,77                      | 1,885     |
| 67600              | 2,9              | 5,33                      | 1,838     |
| 78400              | 3,2              | 6,2                       | 1,938     |
| 102400             | 3,6              | 8,5                       | 2,361     |
| 129600             | 4,6              | 10,34                     | 2,248     |

Окончание таблицы

| Размер модели, тел | Время расчета, с |                           | Ускорение |
|--------------------|------------------|---------------------------|-----------|
|                    | GPU Tesla K20    | 2x CPU Xeon E5 2660 с AVX |           |
| 160000             | 5,4              | 12,66                     | 2,344     |
| 193600             | 6,6              | 16,97                     | 2,571     |
| 230400             | 8,1              | 18,42                     | 2,274     |
| 270400             | 9,7              | 21,53                     | 2,220     |
| 313600             | 10,9             | 25,44                     | 2,334     |
| 360000             | 11,8             | 28,3                      | 2,398     |
| 1000000            | 82,3             | 33,4                      | 2,46      |

### Выводы

Разработанный параллельный алгоритм расчета динамического НДС с использованием OpenCL показал возможность ускорения вычислений до 2,4 раз по сравнению с версией расчета, выполняемого на двух мощных центральных процессорах Xeon E5. Основные накладные расходы связаны с пересылкой большого количества данных и требуют в дальнейшем уменьшения за счет оптимизации работы с памятью. При реализации ядер GPU или FPGA в одном корпусе с ядрами CPU (как в решениях AMD, либо в готовящихся решениях Intel) эта проблема отойдет на второй план из-за увеличения пропускной способности при передаче на ядро сопроцессора на 1-2 порядка.

Так, если рассматривать шину HyperTransport 3.0, активно используемую у AMD, которая имеет пропускную способность при стандартных условиях 41 ГБ/с и HyperTransport 3.1, имеющую 51 ГБ/с, при сравнении с PCIe 3.0 с менее чем 16 ГБ/с видно, что интерфейсы PCIe сильно проигрывают и при прочих равных APU для расчета такого рода будет эффективнее. Однако, эффективное использование APU текущего поколения потребует переписать вычислительное ядро из-за того, что память CPU устроена иным образом, нежели GPU. Стоит обратить внимание и провести замеры на планируемых к выпуску AMD нового поколения APU с графикой Vega и памятью HBM2, что поможет обеспечить высокую производительность при использовании описанного решателя, так как благодаря быстрой памяти затраты на пересылку данных будут ограничены в основном скоростью работы ОЗУ стандарта DDR4, чья пропускная способность ограничена достаточно высоким уровнем.

Полноценная реализация расчета НДС с помощью МДЭ и интегрированием методом Рунге – Кутты 4 порядка на OpenCL в реальном решателе демонстрирует неплохой результат. В перспективе возможна доработка ядра и дальнейшее ускорение расчета.

Таким образом, реализация вычислений на графических ускорителях достаточно эффективна для реализации МДЭ, а также и в целом для проведения инженерного анализа.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горобцов, А. С. Представление подвески легкового транспортного средства в системе моделирования «ФРУНД» / А. С. Горобцов, Ан. В. Подзоров // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 2(40). С. 8–10.
2. Concurrent simulation of multibody systems coupled with stress-strain and heat transfer solvers / В. В. Гетманский, А. С. Горобцов, Е. С. Сепреев, Т. Д. Измайлов, О. В. Шаповалов // Journal of Computational Science. – 2012. – Vol. 3, Iss. 6. – С. 492–497. – Англ.
3. Гетманский, В. В. Распараллеливание расчета напряженно-деформированного состояния тела в многотельной модели методом декомпозиции расчетной области / В. В. Гетманский, А. С. Горобцов, Т. Д. Измайлов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 16. № 8 (111). С. 5–10.
4. OpenCL – The open standard for parallel programming of heterogeneous systems [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://www.khronos.org/opencl/>.
5. Ускорение расчета динамического напряженно-деформированного состояния на графических ускорителях с использованием OpenCL / А. Е. Андреев, А. А. Насонов, А. А. Новокшенов, М. О. Аветисян, Е. О. Мовчан, О. Ю. Науджюнайте // Молодой ученый. – 2016. – № 29 (133), ч. 1. – С. 11–15.
6. Гетманский, В. В. Вычислительно-эффективный метод расчета теплопередачи при анализе динамики механической системы / В. В. Гетманский, А. С. Горобцов, В. О. Лаптева // Прикладные задачи математики : мат-лы XXII Междунар. науч.-техн. конф. (Севастополь, 15–19 сент. 2014 г.) / Севастопольский нац. техн. ун-т (СевНТУ). – Севастополь, 2014. – С. 65–68.

УДК 004.9: 656.02: 379.85

*Д. В. Беда, А. С. Гуртяков, Д. С. Парыгин, Т. А. Потапова***WEB-СЕРВИС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ  
НА ОСНОВЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ГЕОДАННЫХ  
О ГОРОДСКИХ ОБЪЕКТАХ\*****Волгоградский государственный технический университет**beda1304@gmail.com, agurtyakov@gmail.com,  
dparygin@gmail.com, tatiana\_potapova@inbox.ru

Рассмотрен процесс выбора оптимального туристического маршрута для осмотра городских достопримечательностей. Приведен обзор существующих сервисов, которые помогают в решении данной задачи, и определены основные проблемы, с которыми сталкивается пользователь. Описывается метод построения оптимального туристического маршрута на основе данных о пользовательских предпочтениях и геоданных о городских объектах, а также веб-сервис, который реализует описанные алгоритмы.

*Ключевые слова:* геоданные, построение маршрута, оптимизация, категории, турист, пользовательские предпочтения, город, объекты городской инфраструктуры, достопримечательности, веб-приложение.

*D. V. Beda, A. S. Gurtyakov, D. S. Parygin, T. A. Potapova***WEB-SERVICE FOR PLANNING TOURIST ROUTES BASED  
ON USER PREFERENCES AND THE GEODATA OF URBAN SITES****Volgograd State Technical University**

The process of choosing the best tourist route for sightseeing is described. Review of existing services that help in solving this problem is presented and the main problems faced by the user are specified. The method of constructing an optimal tourist route based on data of user preferences and geodata about urban sites, as well as the web service that implements the proposed algorithms are described.

*Keywords:* geodata, route construction, optimization, categories, tourist, user preferences, city, urban infrastructure object, sight, web application.

**Введение**

Туризм играет большую роль в национальном и культурном аспектах, является катализатором экономического прогресса, стимулирует развитие малого и среднего бизнеса, а городские власти пытаются найти подходы к развитию туристической отрасли. Благодаря приложениям и мобильным веб-сайтам на смартфоне можно спланировать маршрут, узнать стоимость посещения музея или театра, почитать о достопримечательностях, узнать нужное направление перемещения или режим работы организации, и многое другое. Как правило, эта информация разрознена, и турист тратит ограниченный ресурс времени путешествия на поиск и обработку нужной ему информации.

В рамках концепции совершенствования процессов жизнедеятельности человека в условиях городской среды предполагается разработка специализированных приложений, целью которых является уменьшение времени на построение маршрута за счет оперативного анализа информации об объектах городской ин-

фраструктуры и оптимизации их выбора с учетом заданных условий и ограничений [1]. Такое приложение должно помогать пользователю в составлении подходящего маршрута для городского туризма, а также предоставлять информацию по объектам, входящим в маршрут.

**1. Анализ существующих проблем составления туристического маршрута в городе**

Попадая в незнакомый город, турист должен ознакомиться с картой города и выбрать объекты и достопримечательности, которые он хочет посетить. Чтобы составить свой маршрут, ему необходимо найти информацию о режимах работы выбранных объектов и оценить время, за которое можно добраться до них. Для оценки времени необходимо выбрать способ передвижения по городу, пешком или с помощью транспортных средств. Помимо режима работы объекта целесообразно оценить время, требуемое для его посещения, например, сколько времени необходимо на осмотр музея. Для простоты ориентирования вся информация о любимых местах туристов должна быть систематизирована.

© Беда Д. В., Гуртяков А. С., Парыгин Д. С., Потапова Т. А., 2017

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-07-00353\_а, № 16-07-00388\_а

Для решения данной задачи предлагается использовать веб-приложение, которое позволит собрать информацию о достопримечательностях города, времени их работы, ценах на билеты и близости их к общественному транспорту. Для того чтобы пользователь быстрее ориентировался в многообразии мест посещения, все объекты города должны быть разделены на категории, например, такие, как музеи, памятники, храмы, памятники архитектуры и т. п.

В рамках исследований был проведен анализ аналогов туристических приложений и сервисов, которые могут быть использованы туристами при составлении маршрута по городским достопримечательностям, например:

1) мобильное приложение «Redigo» – компактный гид по странам мира от Австралии до Японии в мобильном телефоне, с возможностью использования офлайн карты [2]. Приложение представляет общую справку о стране и информацию о городах и местах, которые рекомендуется посетить, содержит обширную фотогалерею, офлайн карты, содержит разговорник на шести иностранных языках [3]. Однако достопримечательности не систематизированы, а также отсутствует информация о ближайшая к ним остановкам общественного транспорта;

2) «Яндекс.Город» – приложение для поиска и выбора объектов и организация в городе. Представляет собой рекомендательный сервис, в котором пользователь может выбрать интересующий его тип заведения и настроить параметры сортировки. Через «Яндекс.Город» можно найти организации, расположенные вблизи от пользователя или посмотреть только компании с высоким рейтингом и принимающие банковские карточки. К недостаткам приложения можно отнести построение маршрута от текущего местоположения пользователя до объекта без возможности выбора промежуточных точек [4, 5];

3) «OsmAnd» (Open Street Maps Android) – навигационное приложение с открытым исходным кодом для пользователей электронных карт, которое позволяет сориентироваться на незнакомой местности, найти интересующие объекты на карте и добраться до них, а также получить различную туристическую информацию об этих объектах, используя данные из Open Street Maps (OSM) [6, 7]. В программе реализована прокладка маршрута к заданной точке, а также мультязычная навигация с голосовым предупреждением поворотов. К сожалению, в таком приложении с большой функ-

циональностью отсутствует описательная информация о самих объектах.

Существующие решения только предоставляют информацию об объектах. Таким образом, пользователю приходится самостоятельно принимать решение о выборе маршрута и подбирать объекты для посещения. Чтобы уменьшить время на построение маршрута, необходимо оперативно анализировать информацию об объектах и оптимизировать их выбор с учетом заданных условий и ограничений.

## **2. Метод построения оптимального туристического маршрута на основе предпочтений пользователей и геоанных о городских объектах**

Анализ существующего процесса построения маршрутов позволил выделить следующие основные этапы разработки оптимального маршрута:

1) выбор пунктов маршрута. Турист на данном этапе выбирает множество объектов, которые он желает посетить в данном маршруте. Ему необходимо найти информацию по объектам, чтобы оценить их. Сложность этапа в том, что данная информация, как правило, разрознена, и понадобится некоторое время, чтобы собрать эту информацию и систематизировать ее;

2) уточнение местоположения выбранных объектов. Уточняется адрес и координаты объектов с помощью карты города;

3) ознакомление с планировкой трассы, улицами, площадями, по которым будет проложен маршрут. На данном этапе турист знакомится со структурой городского пространства;

4) проведение хронометража времени, необходимого для показа объектов и передвижения автобуса (пешеходной группы) до объекта, а также уточнение продолжительность экскурсии в целом;

5) уточнение стоимости посещения объектов и поездок на общественном транспорте. Данные о хронометраже времени и стоимости посещения объекта не всегда доступны для туриста. Чтобы узнать эти сведения, необходимо воспользоваться официальным источником информации об объекте. Этот процесс занимает достаточно много времени, поскольку необходимо обработать множество источников;

6) разработка схемы маршрута;

7) оптимизация маршрута.

На последних двух этапах турист связывает выбранные объекты в единый маршрут. Он выбирает начальную точку и строит путь к сле-

дующему объекту. На основе хронометража времени и стоимости посещения маршрут оптимизируется, подбирается транспорт для дос-

тижения объекта [8]. Существующий процесс построения маршрута можно представить в нотации IDEF0 (рис. 1) [9].

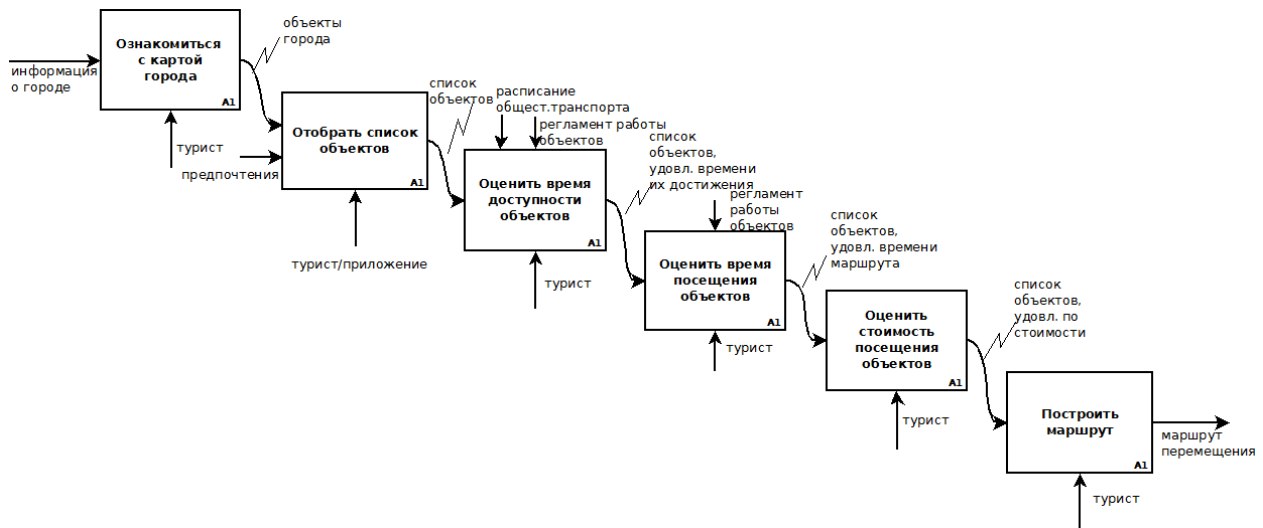


Рис. 1. Существующий процесс построения маршрута в нотации IDEF0

В существующем процессе построения маршрута турист тратит большое количество времени на поиск и анализ информации об объектах. Появляются трудности выбора оптимального маршрута. В связи с данными проблемами возникает задача разработки нового подхода, который бы позволил автоматизировать наиболее трудоемкие этапы.

В связи с этим предлагается метод построения маршрута, основанный на автоматизации анализа геопространственных данных и дополнительных ограничений. Метод включает следующие шаги:

1. Получение информации о пользовательских предпочтениях: транспортная, финансовая обеспеченность, доступное время, область интересов, наличие детей, текущее местоположение.

2. Выборка объектов. На основе полученной на предыдущем шаге информации происходит выборка объектов из базы данных. Объект должен иметь следующие свойства: категория, наименование, краткое описание, полное описание, ссылки на медиа-файлы (при наличии), координаты (широта, долгота), стоимость и время посещения объекта.

3. Проверка на соответствие условиям. В список объектов не допускаются объекты, стоимость и время посещения которых превышает финансовую и временную обеспеченность пользователя.

4. Построение связей между объектами на основе транспортной обеспеченности пользова-

теля. Для этого необходимо построить неориентированный взвешенный граф  $G(V, E)$ , вершинами  $V$  которого являются объекты, а ребрами  $E$  – связи между объектами. Веса ребер – время перемещения между объектами  $d(t)$ . Список ребер представляет собой список связей между объектами. При добавлении нового объекта в базу данных необходимо обновлять данный список ребер.

5. Построение маршрута. На основе списка ребер необходимо построить маршрут на неориентированном взвешенном графе с истоком в указанном местоположении, с ограничением по финансовой обеспеченности и доступном времени для нахождения на маршруте. Маршрут оптимизируется по времени.

6. Отображение маршрута на карте и вывод списка объектов, входящих в данный маршрут, с информацией о расстоянии и времени посещения.

### 3. Разработка веб-сервиса для построения туристического маршрута

Одним из требований к построению маршрутов является оптимизация маршрута по времени [10]. Были рассмотрены следующие алгоритмы построения кратчайших путей: алгоритм Форда – Беллмана [11, 12], алгоритм Флойда – Уоршелла [12, 13], алгоритм Левита [12, 14], алгоритм Дейкстры [12], поиск по первому наилучшему совпадению [15, 16]. Каждый из рассмотренных алгоритмов, кроме алгорит-

ма «Лучший-первый», строят кратчайший маршрут, в который не попадают объекты, находящиеся рядом. Получается, что пользователь пропускает близлежащий объект и перемещается к другому, что для туриста является не оптимальным. Исходя из этого, был выбран алгоритм «Лучший-первый», который находит кратчайший путь от начальной позиции до очередной близко расположенной.

В рамках решения поставленной задачи оптимизации эвристической функцией является время перемещения до следующего объекта, а целевым состоянием является достижение хотя бы одного из ограничений (по финансам или времени).

Для решения поставленной задачи был разработан веб-сервис, интерфейс которого адаптируется с помощью свободного набора инструментов для создания сайтов и веб-приложений – Twitter Bootstrap 3. В состав приложения входят пять экранов:

1. Главная страница. На данной странице отображаются элементы для ввода данных о пользовательских предпочтениях. Информа-

ция вносится пользователем и сохраняется в памяти приложения. Интерфейс главной страницы представлен на рис. 2, а.

2. Страница дополнительных настроек. На данной странице отображаются элементы для настройки начального времени, местоположения маршрута и категорий объектов. Интерфейс страницы дополнительных настроек представлен на рис. 2, б.

3. Страница маршрута. На странице отображается результат работы приложения: маршрут на карте, список объектов с описанием и информация о маршруте между объектами. Карта загружается с помощью библиотеки Яндекс.Карты API 2.1. Данные по объектам загружаются из базы сайта «ВолгоградГид» [17]. Интерфейс страницы маршрута представлен на рис. 2, в.

4. Страница «На карте». На данной странице отображается карта с добавленным на нее объектом.

5. Страница «Подробнее». На данной странице отображается подробная информация об объекте: главное фото объекта, полное описание объекта, ссылка на источник информации.

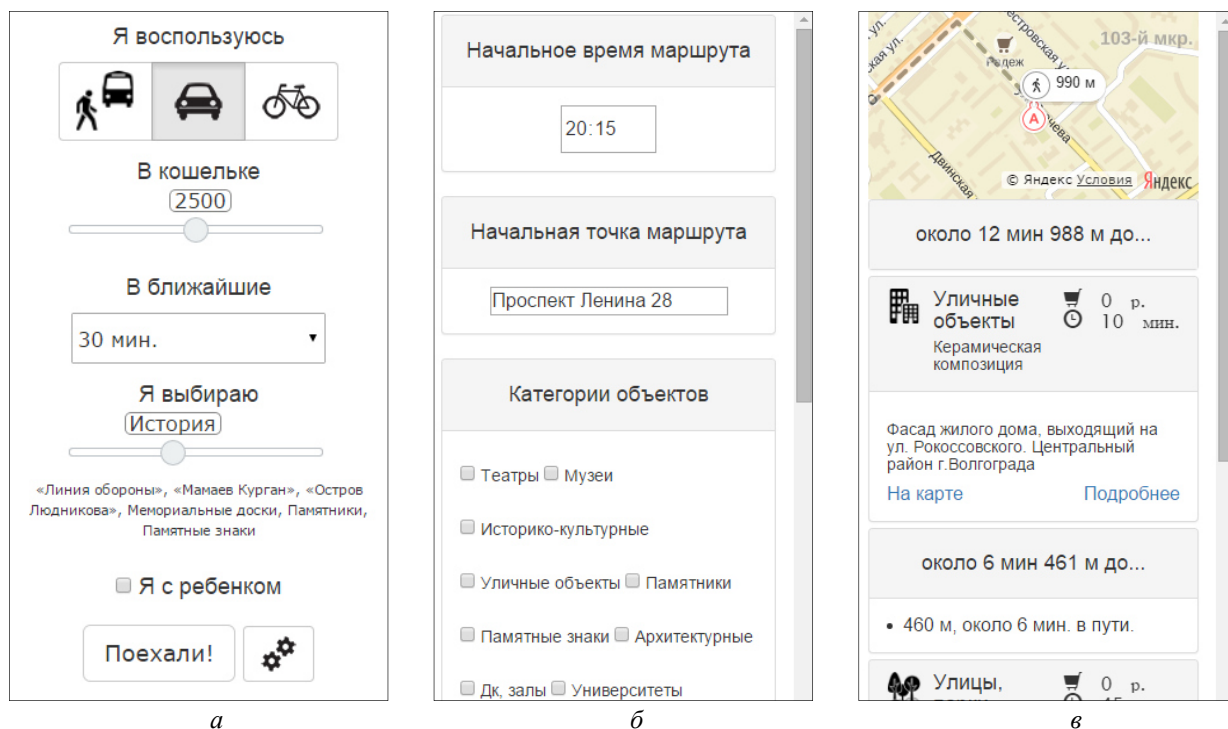


Рис. 2. Интерфейс приложения:

а – экран ввода пользовательских предпочтений; б – экран дополнительных настроек; в – экран результатов построения маршрута

### Заключение

В рамках исследования был проанализирован процесс составления туристического маршрута, рассмотрены существующие сервисы и определены основные недостатки существ-

ующих подходов. В связи с этим предложен метод построения маршрута, основанный на автоматизации анализа геопространственных данных и дополнительных ограничений. Данный метод лег в основу разработанного веб-

сервиса для построения оптимальных маршрутов. Описанное веб-приложение позволяет учесть предпочтения пользователей по времени, финансам и транспорту, а также информацию с географической привязкой, в том числе, местоположение, режимы работы учреждений, их внутренние свойства и многое другое.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парыгин, Д. С. Информационные средства обеспечения жизнедеятельности человека в условиях городской среды : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 : 05.13.10 : защищена 18.12.13 / Д. С. Парыгин. – Волгоград, 2013.
2. Отдых, туризм и путешествия во все страны мира с Redigo.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://redigo.ru/>
3. Приложения на Google Play – Путеводители и оффлайн карты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.sup.redigo&hl=ru>
4. Яндекс. Город – сервис поиска и выбора организаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gorod.yandex.ru/>
5. Приложения на Google Play – Яндекс.Город [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.yandex.yandexcity&hl=ru>
6. OsmAnd – Offline Mobile Maps and Navigation [Electronic resource]. – Mode of access : <http://osmand.net/>
7. Приложения на Google Play – OsmAnd Карты и навигация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.osmand&hl=ru>

8. Кальней, В. С. Информационно-компьютерные сети – способ формирования туристского пространства / В. С. Кальней // Теория и практика физической культуры. – 2000. – №8. – С. 55–57.
9. ГОСТ Р 50.1.028-2001. Методология функционального моделирования. – Введ. 02.07.2001. – М. : Госстандарт России, 2001. – 54 с. – (Межгосударственный стандарт).
10. Автоматизация поддержки принятия решений по разработке маршрутов общественного транспорта на основе анализа данных о корреспонденциях жителей / М. В. Щербатов, Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин, А. В. Голубев, И. А. Четкин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М. : Спектр, 2016. – № 8 (август). – С. 29–33.
11. Cormen, T. Introduction to Algorithms / T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, C. Stein ; Massachusetts Institute of Technology. – London : The MIT Press, 2009. – 1312 p.
12. MAXimal :: algo :: Сборник алгоритмов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://e-maxx.ru/algo/>
13. Levitin, A. Introduction to the Design and Analysis of Algorithms / A. Levitin ; Villanova University. – Boston : Addison Wesley, 2011. – 592 p.
14. Романовский, И. В. Дискретный анализ : учеб. пособие / И. В. Романовский. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб. : Невский диалект, 2008. – 336 с.
15. Pearl, J. Heuristics: Intelligent search strategies for computer problem solving / J. Pearl ; Department of Computer Science University of California. – Reading : Addison Wesley, 1984. – 401 p.
16. Russell, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig. – 3rd. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
17. Главный туристический путеводитель по Волгограду и области [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://volgogradguide.ru/>

УДК 628.35

#### **А. Б. Голованчиков, М. И. Филимонов, П. С. Васильев, М. Е. Кисиль** **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ** **В ТОНКОПЛЕНОЧНОМ ОТСТОЙНИКЕ С УЧЕТОМ СИЛ ИНЕРЦИИ**

**Волгоградский государственный технический университет**  
pahp@vstu.ru

Разработаны математическая модель и алгоритм расчета полочных тонкопленочных отстойников для улавливания частиц с учетом сил инерции. Проведено сравнение вероятности улавливания частиц по типовому алгоритму расчета отстойника и предлагаемому алгоритму, учитывающему увеличение скорости осаждения частиц от нуля до номинального значения, соответствующего скорости стационарного осаждения. Показано, что для тонкопленочных отстойников высота разгона частиц может составлять до 30 % всей высоты сплошной фазы, средняя скорость осаждения уменьшаться на 15 % и соответственно снижаться локальная и общая степень очистки жидкости.

**Ключевые слова:** тонкопленочный отстойник, сила инерции, вероятность улавливания, номинальный диаметр, степень очистки.

#### **A. B. Golovanchikov, M. I. Filimonov, P. S. Vasiliev, M. E. Kisil** **SIMULATION POSSIBILITY CAPTURE OF THE DISPERSED PHASE IN THIN-FILM** **SUMP WITH TAKING INTO ACCOUNT THE FORCES OF INERTIA**

**Volgograd State Technical University**

A mathematical model and algorithm for calculation of thin-film shelf sumps to trap particles based on inertial forces. A comparison of the probability of capture of particles on a standard algorithm for calculating the settler and the proposed algorithm that takes into account the increase in the particle deposition rate from zero to the nominal value, corresponding to a stationary deposition rates. It is shown that for the thin-film sump height of particle acceleration can be up to 30% of the total height of the continuous phase, the average deposition rate is reduced by 15 % and thus decrease the local and the overall degree of cleaning fluid.

**Keywords:** thin-film sump, the force of inertia, the probability of capture, the nominal diameter, the degree of purification.

Как известно, основная формула для расчета поверхности отстойника [1–4]:

$$F_0 = \frac{qv}{v_0}, \quad (1)$$

где  $q_v$  – производительность;  $v_0$  – стационарная скорость осаждения частиц номинального диаметра, то есть частиц улавливаемых на 100 % [5].

Однако при расчете отстойников в типовых алгоритмах расчета предполагается, что частицы или капли дисперсной фазы сразу приобретают скорость стационарного осаждения, хотя правильно было бы полагать, что начальное условие имеет вид:

$$\tau = 0; v = 0 \quad (2)$$

и какую-то часть времени и высоты каждая частица осаждается в нестационарном режиме с начальным условием (2).

Целью работы является оценка влияния инерции частиц при их осаждении в отстойнике на локальную и интегральную степени очистки суспензии.

В работе [6] нами получены формулы для расчета параметров нестационарного осаждения капель воды в воздухе для ламинарного, переходного и турбулентного режимов и показано на расчетных примерах, что для капель малого диаметра, у которых в стационарных условиях обеспечивается стоксовский режим осаждения ( $Re < 2$ ;  $Ar < 36$ ) время и высота нестационарного осаждения малы и могут не учитываться, то есть для этих частиц можно принять типовое начальное условие:

$$\tau = 0; v = v_0. \quad (3)$$

Для частиц, имеющих переходный режим осаждения ( $2 < Re < 500$  или  $36 < Ar < 83000$ ) режим разгона частиц от  $\tau = 0$  и  $v = 0$  до  $\tau = \tau_0$ ;  $v = v_0$  может составлять до 10 % общего времени и высоты осаждения, что может повлиять на локальные и интегральную степень очистки суспензий и эмульсий в отстойнике, особенно в полочных или так называемых тонкопленочных отстойниках [1–4], когда высота осаждения ограничена слоем жидкости на полках или слоем ее пленки. Особенно велика может быть доля нестационарного движения при разгоне частиц или капель от 0 до  $v_0$  для частиц имеющих турбулентный стационарный режим движения ( $Re > 500$  и  $Ar > 83000$ ), хотя этот вывод сделан для капель воды, падающих в воздухе. Поэтому целью настоящей работы является математическое моделирование осаждения частиц в от-

стойнике с учетом начального условия (2) и создание алгоритма расчета вероятности улавливания каждой фракции и интегральной степени очистки с учетом инерции разгона. Из дифференциального уравнения баланса сил или уравнения движения, полагая, что частицы или капли имеют сферическую форму, получаем:

$$\rho \frac{\pi \cdot d^3}{6} \frac{dv}{d\tau} + \xi \rho_e \frac{v^2}{2} \frac{\pi d^2}{4} = \Delta \rho g \frac{\pi d^3}{6}, \quad (4)$$

где первое слагаемое характеризует силу инерции, второе – силу сопротивления, а третье – силу тяжести за вычетом силы Архимеда (обозначение параметров см. в табл. 1). Из решения уравнения (4) скорость нестационарного осаждения с начальным условием (2):

$$v = v_{0л} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{g\tau}{v_{0л}} \right) \right], \quad (5)$$

где

$$v_{0л} = \frac{gd^2 \Delta \rho}{18\mu} \text{ при } Re < 2 \text{ или } Ar < 36. \quad (6)$$

Время выхода на стационарный режим осаждения, когда скорость составляет 99 % от стационарной скорости  $v_{0л}$

$$\tau_{0л} = -\ln(0,01) \frac{v_{0л}}{g}. \quad (7)$$

Так как  $v = \frac{dz}{d\tau}$ , то после интегрирования уравнения (5) получим:

$$z = v_{0л} \left\{ \tau - \frac{v_{0л}}{g} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{g\tau}{v_{0л}} \right) \right] \right\}. \quad (8)$$

Из последнего уравнения с учетом уравнения (7) можно определить высоту нестационарного осаждения частиц, у которых  $Re < 2$  или  $Ar < 36$ :

$$h_{0л} = v_{0л} \left\{ \tau_{0л} - \frac{v_{0л}}{g} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{g\tau_{0л}}{v_{0л}} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Для частиц стационарный режим осаждения находится в переходной области  $2 < Re < 500$  или  $36 < Ar < 83000$ , сначала до  $Re \leq 2$  осаждение идет в ламинарном режиме и предельная скорость ламинарного осаждения определяется по формуле:

$$v_{л} = 2 \frac{\mu}{d \cdot \rho_e}. \quad (10)$$

Тогда время ламинарного осаждения:

$$\tau_{\text{л}} = -\ln \left( 1 - \frac{v_{\text{л}}}{v_{0\text{л}}} \right) \frac{v_{0\text{л}}}{g}. \quad (11)$$

Высота осаждения, соответствующая этому времени:

$$h_{\text{л}} = v_{\text{л}} \left\{ \tau_{\text{л}} - \frac{v_{0\text{л}}}{g} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{g\tau_{\text{л}}}{v_{0\text{л}}} \right) \right] \right\}. \quad (12)$$

Стационарная скорость осаждения частиц, соответствующая переходному режиму, то есть для условия  $2 < \text{Re} < 500$  или  $36 < \text{Ar} < 83000$ :

$$\left. \begin{aligned} v_i &= v_{\text{л}} + i\Delta v; \\ \text{Re}_i &= \frac{v_i \cdot d \cdot \rho_e}{\mu}; \\ \Delta \tau_i &= \frac{\Delta v}{\left[ g - \left( 13,875 / \text{Re}_i^{0,6} \right) \left( \frac{\rho_e}{\rho} \right) v_i^2 / d \right]}; \\ \tau_i &= \tau_{\text{л}} + \sum_{i=1}^{m-1} \Delta \tau_i; \\ z_i &= h_{\text{л}} + \sum_{i=1}^{m-1} v_i \Delta \tau_i \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для частиц или капель, числа Рейнольдса которых в стационарном режиме осаждения  $\text{Re} > 500$  или  $\text{Ar} > 83000$  сначала до  $\text{Re} \leq 2$  имеет место ламинарный режим осаждения и его крайние параметры рассчитываются по формулам (10-12), затем до  $\text{Re} < 500$  рассчитываются крайние параметры переходного режима осаждения, а далее по ниже приведенному алгоритму рассчитываются параметры турбулентного режима осаждения, когда  $\text{Re} > 500$  ( $\text{Ar} > 83000$ ): по формуле (4) с учетом начального условия

$$v_{0\text{п}} = \left[ 0,072 g \cdot d \left( \frac{\Delta \rho}{\rho_e} \right) \left( \frac{d \cdot \rho_e}{\mu} \right)^{0,6} \right]^{0,717}. \quad (13)$$

Для численного решения уравнения (4), когда  $\xi = \frac{18,5}{\text{Re}^{0,6}}$ , соответствующее переходному режиму осаждения необходимо разбить весь диапазон изменения скорости ( $0 \div v_{0\text{п}}$ ) на «n» равных интервалов. Тогда с учетом формул (10)–(13):

$$\Delta v = \frac{v_{0\text{п}} - v_{\text{л}}}{n}. \quad (14)$$

Тогда на каждом шаге итераций  $m$  от  $i=1$  до  $n$ :

(2), когда  $\frac{dv}{d\tau} = 0$  определяется скорость стационарного осаждения в турбулентном режиме:

$$v_{0\text{т}} = \sqrt{3g \cdot d \frac{\Delta \rho}{\rho_e}}. \quad (16)$$

При интегрировании уравнения (4) получаем формулу для времени выхода на стационарный режим осаждения в турбулентном режиме, когда скорость осаждения достигает 99 % от  $v_{0\text{т}}$

$$\tau_{0\text{т}} = \ln \left[ \frac{\left( \frac{a+0,99v_{0\text{т}}}{a-0,99v_{0\text{т}}} \right)}{\left( \frac{a+0,99v_{0\text{л}}}{a-0,99v_{0\text{л}}} \right)} \right] \frac{1}{2 \cdot a \cdot v}, \quad (17)$$

$$\text{где } a = \sqrt{g}, \quad v = \sqrt{\frac{\rho_e}{3\Delta \rho \cdot d}}.$$

Далее разбиваем время выхода на стационарный режим от  $\tau_{оп}$  до  $\tau_{от}$  на  $n$  равных интервалов. Тогда время  $i$ -той итерации:

$$\tau_i = i\Delta\tau, \quad (18)$$

а общее время нестационарного осаждения:

$$\tau_{ti} = \tau_{оп} + \tau_i. \quad (19)$$

Скорость турбулентного осаждения:

$$v_{ti} = v_{оп} + v_{от} \frac{\exp\{2av\tau_i - 1\}}{\exp\{2av\tau_i + 1\}}, \quad (20)$$

а высота общего осаждения:

$$z_i = h_{п} + v_{ti} \Delta\tau. \quad (21)$$

Для  $i=n$  получаем расчетные формулы для  $h_n$  из последней формулы системы (15) и  $h_t$  из формулы (21). Общее время осаждения будет складываться из времен осаждения в ламинарном и переходном режимах, времени разгона от конца переходного режима до скорости стационарного осаждения в турбулентном режиме плюс время осаждения в стационарном режиме (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1

Исходные и справочные данные и расчетные параметры отстойника

| № п/п | Наименование параметра                                                                                                                                                                                              | Размерность         | Обозначение  | Величина             |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------|----------------------|
| 1     | 2                                                                                                                                                                                                                   | 3                   | 4            | 5                    |
| 1     | Производительность отстойника                                                                                                                                                                                       | м <sup>3</sup> /час | $q_v$        | 10000                |
| 2     | Плотность частиц или капель                                                                                                                                                                                         | кг/м <sup>3</sup>   | $\rho$       | 3000                 |
| 3     | Плотность жидкой фазы – воды                                                                                                                                                                                        | кг/м <sup>3</sup>   | $\rho_e$     | 1000                 |
| 4     | Вязкость жидкой фазы – воды                                                                                                                                                                                         | Пас                 | $\mu$        | 0,001                |
| 5     | Коэффициент сопротивления (ламинарный режим)<br>а) $\xi=24/Re$ при $Re \leq 2$ ; $Ar \leq 36$<br>б) $\xi=18,5/Re^{0,6}$ при $2 < Re \leq 500$ ; $36 < Ar \leq 83000$<br>в) $\xi=0,44$ при $Re > 500$ ; $Ar > 83000$ | –                   | $\xi$        | 0,44                 |
| 6     | Высота жидкости – воды на полке отстойника или ее слоя в тонкопленочном отстойнике                                                                                                                                  | м                   | $H$          | 0,1                  |
| 7     | Номинальный диаметр частиц, улавливаемых на 100%                                                                                                                                                                    | м                   | $d_0$        | $2,8 \cdot 10^{-3}$  |
| 8     | Разность плотностей частиц и жидкой фазы                                                                                                                                                                            | кг/м <sup>3</sup>   | $\Delta\rho$ | 2000                 |
| 9     | Скорость ламинарного стационарного режима осаждения частиц                                                                                                                                                          | м/с                 | $v_{ол}$     | $7,14 \cdot 10^{-4}$ |
| 10    | Скорость переходного стационарного режима осаждения                                                                                                                                                                 | м/с                 | $v_{оп}$     | 0,178                |
| 11    | Скорость турбулентного стационарного режима осаждения                                                                                                                                                               | м/с                 | $v_{от}$     | $4,02 \cdot 10^{-1}$ |
| 12    | Время разгона скорости осаждения от нуля до начала переходного режима осаждения ( $Re=2$ )                                                                                                                          | с                   | $\tau_l$     | $7,28 \cdot 10^{-5}$ |
| 13    | Тоже до начала турбулентного режима осаждения ( $Re=500$ )                                                                                                                                                          | с                   | $\tau_n$     | $2 \cdot 10^{-2}$    |
| 14    | Время осаждения в турбулентном режиме до достижения стационарной скорости осаждения                                                                                                                                 | с                   | $\tau_t$     | 0,155                |
| 15    | Высота осаждения в ламинарном режиме                                                                                                                                                                                | м                   | $h_l$        | $2,6 \cdot 10^{-8}$  |
| 16    | Тоже в переходном режиме                                                                                                                                                                                            | м                   | $h_n$        | $1,84 \cdot 10^{-3}$ |
| 17    | Высота осаждения в турбулентном режиме до достижения стационарной скорости турбулентного осаждения                                                                                                                  | м                   | $h_t$        | 0,0485               |
| 18    | Высота осаждения со стационарной скоростью турбулентного осаждения                                                                                                                                                  | м                   | $h$          | 0,0515               |
| 19    | Поверхность отстойника, рассчитанная по типовому алгоритму (1)                                                                                                                                                      | м <sup>2</sup>      | $F_0$        | 6,91                 |
| 20    | Среднее время пребывания без учета сил инерции                                                                                                                                                                      | с                   | $t_0$        | $2,49 \cdot 10^{-1}$ |
| 21    | Поверхность отстойника, рассчитанная с учетом сил инерции                                                                                                                                                           | м <sup>2</sup>      | $F_1$        | 7,87                 |
| 22    | Среднее время пребывания с учетом сил инерции                                                                                                                                                                       | с                   | $t_1$        | $2,88 \cdot 10^{-1}$ |
| 23    | Средняя скорость осаждения частиц с учетом сил инерции                                                                                                                                                              | м/с                 | $v_1$        | $3,53 \cdot 10^{-1}$ |
| 24    | Увеличение поверхности отстойника учитывающего силу инерции частиц по сравнению с типовым расчетом                                                                                                                  | %                   | $\delta$     | 13,8                 |

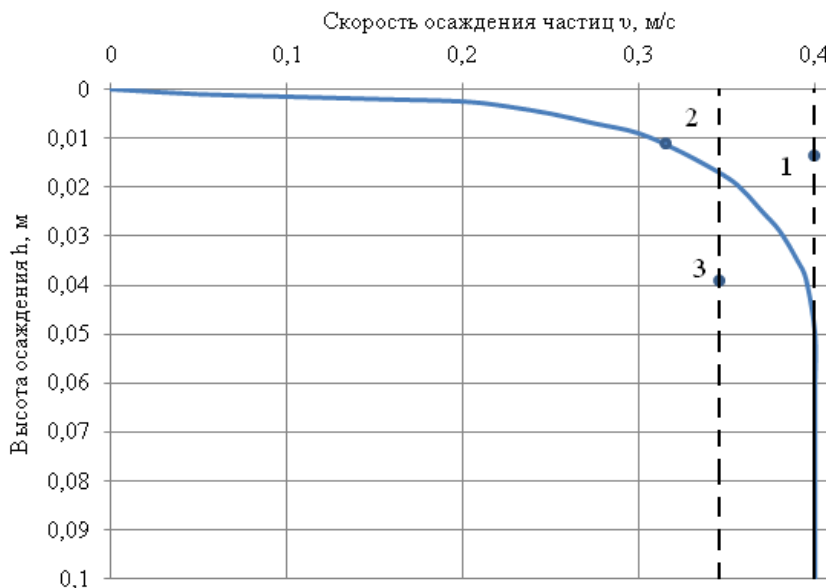


Рис. 1. Профиль скоростей оседания частиц в отстойнике частиц номинального диаметра  $d_0 = 2,8 \cdot 10^{-3}$  м:  
1 – типовой алгоритм расчета, не учитывающий инерции частиц; 2 – предлагаемый алгоритм расчета, учитывающий инерцию частиц; 3 – средняя скорость оседания частиц с учетом их инерции

Как видно из рисунка, время и высота оседания в ламинарном и переходном режиме много меньше, чем время нестационарного оседания в турбулентном режиме. Потому для частиц с турбулентным стационарным режимом оседания их разгоном в ламинарном и переходном режимах можно пренебречь.

Кроме того, средняя скорость оседания  $v_1$  с учетом инерции частиц меньше скорости оседания  $v_0$ , не учитывающих инерцию. Поэтому необходимую поверхность отстойника необходимо увеличивать на 13 %

$$F_i = \left( \frac{q_v}{3600} \right) / v_1$$

Если высота слоя жидкости уменьшится в 2 раза с 10 см до 5 см то влияние инерции частиц будет еще больше и поверхность  $F_1$  будет больше номинальной поверхности  $F_0$  более чем на 27 %. Таким образом, независимость поверхности отстаивания от высоты слоя жидкости не всегда оправдывается и при проектировании тонкопленочных отстойников она должна проверяться по предлагаемому алгоритму расчетов, учитывающему инерцию частиц при оседании.

Оценим степень улавливания частиц номинального диаметра  $d_0$  (то есть улавливаемых на 100 % по типовому алгоритму расчетов, так как их время пребывания равно времени оседания без учета инерции и разгона скорости осажде-

ния от нуля до скорости стационарного оседания).

При условии времени оседания, равном времени пребывания, а времени пребывания, равном времени оседания частиц номинального диаметра, получаем:

$$\tau_0 = H / v_0 \quad (22)$$

Тогда верхняя траектория частиц размером меньше номинального:

$$h = \tau_0 \cdot v = \frac{H}{v_0} \cdot v \quad (23)$$

При равномерном распределении частиц дисперсной фазы по высоте слоя жидкости доля уловленных частиц каждой фракции с размером меньше номинального будет определяться формулой пропорциональности:

$$\chi = h / H$$

или с учетом уравнения (23):

$$\chi = v / v_0 \quad (24)$$

то есть степень улавливания является отношением скоростей оседания частиц  $d < d_0$  (без учета инерции).

У частиц размером больше номинального:

$$d > d_0, \chi = 1. \quad (25)$$

В табл. 2 приведены исходные массовые величины «С» каждой фракции в суспензии, их плотность распределения «С» на входе в отстойник степень улавливания  $\chi$  и доля каждой

уловленной фракции, рассчитываемой по формуле:

$$c_y = \chi \cdot c. \quad (26)$$

Оценим степень пофракционного улавливания частиц с учетом сил инерции. При той же поверхности отстаивания  $F_0$  и времени осаждения  $\tau_0$ , соответствующей типовому алгоритму расчета, верхняя траектория частиц будет определяться по формуле:

$$h_u = h_t + v \left[ \tau_0 - (\tau_l + \tau_n + \tau_t) \right], \quad (27)$$

где  $h_t$  – высота разгона частицы от скорости равной нулю до скорости стационарного осаждения; второе слагаемое – высота стационарного осаждения со стационарной скоростью.

При высоте траектории  $h_u = H$  можно определить номинальный диаметр частиц, улавливаемых на 100 % с учетом инерции их разгона.

Расчеты показывают, что такой учет приводит к увеличению номинального диаметра частиц  $d_0 = 3$  мм до  $d_{0u} = 4,9$  мм. Так как все частицы суспензии в табл. 1 имеют размер  $d < d_{0u}$ , то их локальная степень улавливания по аналогии с формулой (27) в виде:

$$\chi_u = \frac{h_u}{H}, \quad (28)$$

а доля уловленных частиц каждой фракции:

$$c_{yi} = \chi_{ui} \cdot c. \quad (29)$$

Для наглядности результаты расчетов, представленные в нижней части табл. 2, графически проиллюстрированы графиками на рис. 2. Площади под кривыми 2 и 3 характеризуют общую степень очистки соответственно по типовому алгоритму расчетов (без учета сил инерции) и предлагаемому алгоритму.

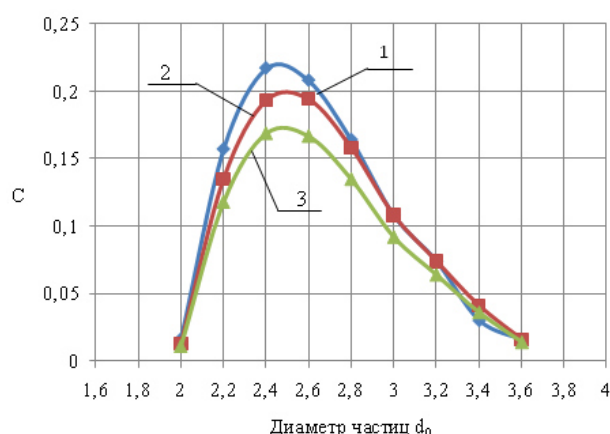


Рис. 2. Плотность распределения частиц по фракциям в исходной суспензии (1); доля уловленных частиц по типовому алгоритму (2) и доля уловленных частиц с учетом инерции (3)

Таблица 2

Исходные данные по ситовому анализу фракций, их плотности распределения, локальным степеням очистки и долям уловленных частиц

| № | Наименование параметра                                                  | Размерность | Обозначение | Величина |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2                                                                       | 3           | 4           | 5        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1 | Номер фракции                                                           | –           | i           | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | Σ     |
| 2 | Диаметр частиц                                                          | мм          | $d_i$       | 2        | 2,2   | 2,4   | 2,6   | 2,8   | 3,0   | 3,2   | 3,4   | 3,6   |       |
| 3 | Масса каждой фракции                                                    | г           | $m_i$       | 9        | 89    | 123   | 117   | 93    | 61    | 42    | 23    | 9     | 566   |
| 4 | Плотность распределения частиц                                          | –           | $C_i$       | 0,016    | 0,157 | 0,217 | 0,208 | 0,164 | 0,108 | 0,074 | 0,030 | 0,016 | 1     |
| 5 | Локальная степень улавливания без учета инерции (типовой алгоритм)      | –           | $\chi_i$    | 0,82     | 0,86  | 0,895 | 0,932 | 0,97  | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
| 6 | Локальная степень улавливания с учетом инерции                          | –           | $\chi_{ui}$ | 0,72     | 0,75  | 0,78  | 0,8   | 0,83  | 0,85  | 0,87  | 0,88  | 0,91  |       |
| 7 | Доля уловленных частиц по фракциям без учета инерции (типовой алгоритм) | –           | $C_{yi}$    | 0,013    | 0,135 | 0,193 | 0,194 | 0,158 | 0,108 | 0,074 | 0,041 | 0,016 | 0,932 |
| 8 | Доля уловленных частиц по фракциям с учетом инерции                     | –           | $C_{ui}$    | 0,011    | 0,118 | 0,169 | 0,167 | 0,135 | 0,092 | 0,064 | 0,036 | 0,014 | 0,806 |

Как видно из табл. 2, все локальные степени улавливания частиц пофракционно рассчитанные с учетом инерции меньше, чем рассчитанные по типовому алгоритму расчетов, не учитывающим инерции частиц. Соответственно и интегральные степени очистки с учетом инерции меньше, чем при расчетах отстойников по типовому алгоритму. Этот вывод справедлив для тяжелых частиц, осаждающихся в стационарных условиях в турбулентном режиме, для которых велика инерционная составляющая. Для частиц, осаждающихся в ламинарном и переходном режимах, когда  $Re < 500$  или  $Ar < 83000$  инерционную составляющую можно не учитывать и проводить расчеты технологических параметров и геометрических размеров отстойников по типовому алгоритму.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. пособие по проектированию / под ред. И. Ю. Дыгнерского. – 4-е изд. стер. – М.: Альянс, 2008. – 494 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов / А. Г. Касаткин. – 14-е изд., стер. – М.: Альянс, 2008. – 750 с.
3. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справоч-

ник. Т. 2 / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 884 с.

4. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перерб. и доп. – М.: Альянс, 2013. – 576 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. Голованчиков, А. Б. Моделирование нестационарного падения сферической капли в поле сил тяжести / А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов, Н. А. Меренцов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 10. № 3 (76). С. 5–9.

7. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015660064 от 21.09.2015 г. РФ, МПК (нет). Программа для расчета кинематических характеристик процесса нестационарного осаждения сферической частицы в поле действия силы тяжести / П. С. Васильев, А. Б. Голованчиков, Л. С. Рева ; заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – 2015616815 ; заявл. 23.07.2015 ; опубл. 20.10.2015.

8. Определение времени испарения кипящей на поверхности нагрева капли / П. С. Васильев, Л. С. Рева, С. Л. Рева, А. Е. Новиков, А. Б. Голованчиков // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 121–126.

9. Определение площади пятна контакта кипящей на поверхности нагрева капли жидкости / П. С. Васильев, Л. С. Рева, С. Л. Рева, А. Е. Новиков, А. Б. Голованчиков // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 13. С. 116–123.

УДК 66.061.34

*А. Б. Голованчиков, К. В. Чёрикова, Е. А. Мишта, Г. Г. Русакова*

#### РАСЧЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКСТРАКТОРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЕНЗИНОМ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА ИЗ ЖМЫХА

Волгоградский государственный технический университет

[pahp@vstu.ru](mailto:pahp@vstu.ru)

Предложены алгоритмы расчетов одноступенчатого, многоступенчатого перекрестного экстрагирования в аппаратах с мешалками и противоточного экстрагирования в колонне непрерывного действия. Приведены результаты сравнительных расчетов технологических параметров и геометрических размеров аппаратов для всех трех вышеуказанных процессов, показывающие значительные преимущества колонны непрерывного действия, связанные с уменьшением расхода экстрагента и объема колонны по сравнению с одноступенчатым и многоступенчатым перекрестным экстрагированием в аппаратах с мешалками.

**Ключевые слова:** одноступенчатое и многоступенчатое перекрестное и противоточное экстрагирование, расход экстрагента, объемы аппаратов с мешалкой и колонны.

*A. B. Golovanchikov, K. V. Chyrikova, E. A. Mishta, G. G. Rusakova*

#### CALCULATION OF INDUSTRIAL EXTRACTORS CONTINUOUS LEACHING OF GASOLINE FROM SUNFLOWER OIL CAKE

Volgograd State Technical University

The algorithms of calculations of single stage, multi-stage cross-extraction in devices with mixers and counter-current extraction in a column of continuous operation. The results of comparative calculations of process parameters and geometric dimensions of the unit for all the above three processes showing significant benefits associated with a decrease in the consumption of extractant and amount of columns compared to single-stage and multi-stage cross-extraction in devices with mixers.

**Keywords:** single-stage and multi-stage, cross-and counter-current extraction, consumption of extractant, the volume of the apparatus with a stirrer and a column.

Известные непрерывные процессы выщелачивания полезных компонентов из пищевого сырья, в частности масел из семян или жмыха после прямого отжима проводится тремя способами. Для малых расходов сырья это однократное экстрагирование в аппарате с мешалкой и последующим отстаиванием, для средних расходов сырья – многократное перекрестное экстрагирование в аппаратах с мешалками при непрерывной подаче рафината после каждой степени в качестве сырья для последующей степени и свежего экстрагента на каждой степени и последующего отстаивания. Для больших расходов – противоточное экстрагирование в колонных аппаратах с принудительной подаче сырья шнеком навстречу потоку вторичного растворителя-экстрагента или его движения под действием сил тяжести. Достоинствами противоточного экстрагирования является значительное уменьшение расхода экстрагента и объема колонны и отказ от процесса отстаивания и соответственно капитальных затрат на изготовление и монтаж отстойников, трудовых затрат на их обслуживание и энергозатрат на гидротранспорт экстракта и экстрагента [1–4]. Однако систематизации расчетов аппаратов для выщелачивания полезных компонентов из растительного сырья в виде алгоритмов, удобных для реализации на компьютерах до последнего времени не было.

Целью работы является создание общего алгоритма расчетов выщелачивания полезных компонентов из растительного сырья для вышеназванных экстракционных процессов в аппаратах непрерывного действия.

Была изучена кинетика процесса выщелачивания подсолнечного масла из жмыха подсолнечника.

Остающиеся после прямого отжима подсолнечное масло в жмыхе загружалось в аппарат с мешалкой периодического действия.

Насыпная масса жмыха, загружаемого в аппарат, состояла 3 кг. В аппарат заливалось 3 кг бензина. Начальная концентрация масла в жмыхе составляла 0,6 кг/кг. Каждые 5–6 мин из аппарата с работающей мешалкой отбиралась проба жмыха массой ~10 г и определялась остаточная концентрация в ней масле. Интегральная кинетическая кривая зависимости концентрации масла в жмыхе приведена на рис. 1 и хорошо описывается линейной зависимостью:

$$x = x_f - \left( \frac{x_f - x_{r1}}{t_1} \right) \cdot t. \quad (1)$$

Тогда дифференциальная кинетическая кривая, характеризующая скорость изменения концентрации извлеченного компонента – растительного масла из жмыха, описываемая выражением:

$$v_x = -\frac{dx}{dt},$$

является постоянной величиной:

$$v_x = -\frac{x_{f1} - x_{r1}}{t_1}, \quad (2)$$

то есть аналогична скорости химической реакции нулевого порядка.

Так как аппараты периодического действия относятся к аппаратам идеального вытеснения во времени, то время изменения концентрации в аппарате периодического действия с начальной концентрации  $x_f$  до конечной концентрации  $x_r$  равно среднему времени пребывания в аппарате идеального вытеснения непрерывного действия, которое с учетом интегрального кинетического уравнения (1) может быть записано в виде [7–9]:

$$\tau = \frac{x_f - x_r}{x_{f1} - x_{r1}} \cdot t_1. \quad (3)$$

Для определения среднего времени пребывания в аппарате идеального смешения непрерывного действия необходимо воспользоваться формулой, учитывающей при экстракции макроуровень смешения (уровень сегрегации, равный единице) [7–9]:

$$x_r = \int_0^{\infty} C(\theta) x(\theta) d(\theta),$$

где  $C(\theta)$  – функция распределения частиц и молекул по времени пребывания (РВП);  $\theta = t/\tau$  – безразмерное время;  $t$  и  $\tau$  – текущее и среднее время пребывания.

Для идеального смесителя функция РВП:

$$C = \exp(-\theta).$$

Если подставить эту функцию отклика, а функцию  $x(\theta)$  из уравнения (1) после интегрирования получаем уравнение (3), то есть для линейной интегральной кинетической зависимости (1), среднее время пребывания не зависит от структуры потока, что аналогично имеет место для химических реакторов при нулевом порядке реакции (2).

В начале табл. 1 приведены исходные и справочные данные, необходимые для создания таких алгоритмов расчетов, а сам алгоритм расчета представлен ниже.

Таблица 1

**Исходные и справочные данные для расчета аппаратов с мешалками непрерывного действия при одноступенчатом, многоступенчатом перекрестном и противоточном выщелачивании на примере экстрагирования бензином подсолнечного масла из жмыха [3–6]**

| №                                                                                         | Наименование параметра                                                                                                                | Размер-<br>ность               | Обозначение   |          | Величины            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|----------|---------------------|
| 1                                                                                         | 2                                                                                                                                     | 3                              | 4             |          | 5                   |
| Исходные данные                                                                           |                                                                                                                                       |                                |               |          |                     |
| 1                                                                                         | Производительность по жмыху                                                                                                           | кг/час                         | $G_f$         | $G_f$    | 2000                |
| 2                                                                                         | Концентрация извлекаемого компонента – масла в жмыхе начальная                                                                        | кг/кг                          | $x_f$         | $x_f$    | 0,61                |
| 3                                                                                         | Концентрация извлекаемого компонента – масла в жмыхе конечная                                                                         | кг/кг                          | $x_r$         | $x_r$    | 0,121               |
| 4                                                                                         | Концентрация извлекаемого компонента в экстрагенте бензина начальная                                                                  | кг/кг                          | $y_s$         | $y_s$    | 0,0167              |
| 5                                                                                         | Температура выщелачивания                                                                                                             | $^{\circ}\text{C}$             | $t_b$         | $t_b$    | 20                  |
| 6                                                                                         | Давление рабочее                                                                                                                      | ат                             | $p_b$         | $p_b$    | 1,033               |
| Справочные данные                                                                         |                                                                                                                                       |                                |               |          |                     |
| 1                                                                                         | Динамическая вязкость экстрагента – бензина                                                                                           | Па·с                           | $\mu$         | $\nu_i$  | $2,3 \cdot 10^{-4}$ |
| 2                                                                                         | Плотность экстрагента – бензина                                                                                                       | кг/м <sup>3</sup>              | $\rho_c$      | $\rho_c$ | 760                 |
| 3                                                                                         | Средний размер частиц жмыха                                                                                                           | м                              | $d_z$         | $d_z$    | $8,3 \cdot 10^{-4}$ |
| 4                                                                                         | Насыпная плотность жмыха                                                                                                              | кг/м <sup>3</sup>              | $\rho_n$      | $\rho_n$ | 820                 |
| 5                                                                                         | Порозность жмыха                                                                                                                      | м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> | $\varepsilon$ | $e$      | 0,22                |
| 6                                                                                         | Время перемешивания жмыха и экстрагента в аппарате с мешалкой периодического действия                                                 | с                              | $t_I$         | $t_{aI}$ | 1560                |
| 7                                                                                         | Начальная концентрация масла в жмыхе в аппарате периодического действия                                                               | кг/кг                          | $x_{fI}$      | $x_{fI}$ | 0,6                 |
| 8                                                                                         | Конечная концентрация масла в жмыхе в аппарате периодического действия                                                                | кг/кг                          | $x_{rI}$      | $x_{rI}$ | 0,2                 |
| Расчетные параметры                                                                       |                                                                                                                                       |                                |               |          |                     |
| 1                                                                                         | Кажущаяся плотность жмыха                                                                                                             | кг/м <sup>3</sup>              | $\rho_d$      | $\rho_d$ | 1051,3              |
| 2                                                                                         | Удельная поверхность жмыха                                                                                                            | м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> | $\sigma$      | $su$     | 1060,2              |
| 3                                                                                         | Константа распределения                                                                                                               | кг/кг                          | $K_p$         | $K_p$    | 1,0                 |
| Параметры одноступенчатого экстрагирования в аппарате с мешалкой                          |                                                                                                                                       |                                |               |          |                     |
| 1                                                                                         | Равновесная концентрация в экстрагенте – бензине на выходе из аппарата                                                                | кг/кг                          | $y_e^*$       | $y_{ep}$ | 0,121               |
| 2                                                                                         | Расход экстрагента – бензина                                                                                                          | кг/ч                           | $G_s$         | $G_s$    | 9360                |
| 3                                                                                         | Среднее время пребывания жмыха и экстрагента в аппарате                                                                               | с                              | $\tau$        | $t_{ay}$ | 1907                |
| 4                                                                                         | Объем аппарата                                                                                                                        | м <sup>3</sup>                 | $V_I$         | $V_I$    | 7,54                |
| Параметры многоступенчатого перекрестного экстрагирования в каскаде аппаратов с мешалками |                                                                                                                                       |                                |               |          |                     |
| 1                                                                                         | Расход экстрагента бензина в каждом аппарате                                                                                          | кг/ч                           | $G_{sI}$      | $G_{sI}$ | 840                 |
| 2                                                                                         | Начальная концентрация извлекаемого компонента в экстрагенте на входе в каждый аппарат общий расход экстрагента в 5 аппаратах каскада | кг/кг                          | $y_s$         | $y_s$    | 0,0167              |
| 3                                                                                         | Общий расход экстрагента в 5 аппаратах каскада                                                                                        | кг/ч                           | $G_{os}$      | $G_{oc}$ | 3200                |
| 4                                                                                         | Общий объем всех аппаратов каскада при перекрестном экстрагировании                                                                   | м <sup>3</sup>                 | $V_{oc}$      | $V_{oc}$ | 1,6                 |
| 5                                                                                         | Общее среднее время пребывания жмыха и экстрагента во всех аппаратах каскада                                                          | с                              | $\tau_{os}$   | $t_{oc}$ | 1913,1              |
| 6                                                                                         | Остальные параметры для каждой ступени (аппараты каскада) приведены в табл. 2                                                         |                                |               |          |                     |

Окончание табл. 1

| №                                                               | Наименование параметра                                                                                                     | Размер-<br>ность     | Обозначение  |          | Величины             |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|----------|----------------------|
| 1                                                               | 2                                                                                                                          | 3                    | 4            |          | 5                    |
| Расчетные параметры противоточной колонны непрерывного действия |                                                                                                                            |                      |              |          |                      |
| 1                                                               | Равновесная концентрация извлекаемого компонента в экстрагенте соответствующая его рабочей концентрации на входе в колонну | кг/кг                | $y_e^*$      | $yps$    | 0,61                 |
| 2                                                               | Минимальный расход экстрагента – бензина                                                                                   | кг/ч                 | $G_{sm}$     | $Gsm$    | 1648,4               |
| 3                                                               | Рабочий расход экстрагента – бензина                                                                                       | кг/ч                 | $G_s$        | $Gs$     | 1978,1               |
| 4                                                               | Рабочая концентрация извлекаемого компонента – масла в экстрагенте на выходе из колонны                                    | кг/кг                | $y_e$        | $ye$     | 0,511                |
| 5                                                               | Число единиц переноса по извлекаемому компоненту в экстрагенте                                                             | –                    | ЧЕП          | $s$      | 4,87                 |
| 6                                                               | Средняя движущая сила по извлекаемому компоненту в экстрагенте                                                             | кг/кг                | $\Delta y_c$ | $dyc$    | 0,102                |
| 7                                                               | Среднее время пребывания экстрагента в колонне (в слое жмыха)                                                              | с                    | $\tau$       | $tay$    | 1907,1               |
| 8                                                               | Скорость захлебывания экстрагента в колонне                                                                                | м/с                  | $w_3$        | $w3$     | $1,78 \cdot 10^{-3}$ |
| 9                                                               | Рабочая скорость (фиктивная) экстрагента в колонне                                                                         | м/с                  | $w_s$        | $wc$     | $1,34 \cdot 10^{-3}$ |
| 10                                                              | Расчетный диаметр колонны                                                                                                  | м                    | $D_a$        | $D_a$    | 0,83                 |
| 11                                                              | Высота слоя жмыха в колонне                                                                                                | м                    | $H_a$        | $Hke$    | 2,55                 |
| 12                                                              | Рабочий объем колонны (слоя жмыха) в колонне                                                                               | м <sup>3</sup>       | $V_k$        | $Vk$     | 1,38                 |
| 13                                                              | Расчетная поверхность частиц жмыха в колонне (поверхность массопередачи)                                                   | м <sup>2</sup>       | $F$          | $F$      | 1461,9               |
| 14                                                              | Масса извлекаемого компонента в единицу времени                                                                            | кг/с                 | $\Delta M$   | $dM$     | 0,272                |
| 15                                                              | Коэффициент массопередачи по экстрагенту                                                                                   | кг/м <sup>2</sup> ·с | $K_y$        | $Ky$     | $1,83 \cdot 10^{-3}$ |
| 16                                                              | Высота эквивалентная единица переноса по экстрагенту                                                                       | –                    | ВЭП          | $h_{el}$ | 0,524                |
| 17                                                              | Число теоретических тарелок                                                                                                | –                    | $N_T$        | $st$     | 4,84                 |
| 18                                                              | Высота слоя жмыха эквивалентная одной теоретической тарелке                                                                | м                    | ВЭТ          | $H_{tl}$ | 0,526                |

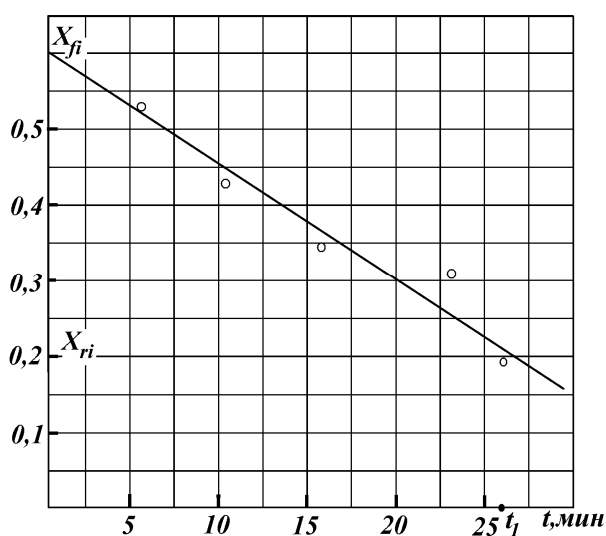


Рис. 1. Зависимость концентрации растительного масла в жмыхе от времени перемешивания в периодическом аппарате с мешалкой при соотношении массы экстрагента к массе жмыха 1:1

В табл. 1 после исходных и справочных данных приведены результаты расчетов по представленному алгоритму одноступенчатого экстрагирования в аппарате с мешалкой, общие расчетные параметры многоступенчатого перекрестного экстрагирования в каскаде аппаратов с мешалками и противоточного экстрагирования в колонне непрерывного действия, когда сверху вниз движется под действием силы тяжести слой жмыха (или подается принудительно шнеком), а навстречу ему фильтруется экстрагент – бензин; в табл. 2 приведены расчетные параметры каждого аппарата с мешалкой для многоступенчатого перекрестного экстрагирования.

Как видно из результатов расчетов, представленный в этих таблицах, наиболее эффективно процесс выщелачивания бензином подсолнечного масла из жмыха после прямого отжима идет в противоточной колонне непрерывного действия.

Таблица 2

Технологические и геометрические параметры каждой из пяти ступеней (каскаде аппаратов с мешалками) при многоступенчатом перекрестном экстрагировании

| № | Наименование параметра                                                              | Размерность    | Обозначение |             | Величина на ступени |       |       |       |                   |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|-------------|---------------------|-------|-------|-------|-------------------|
|   | Номер ступени                                                                       | -              | К           |             | 1                   | 2     | 3     | 4     | 5                 |
| 1 | Начальная концентрация извлекаемого компонента – масла на входе                     | кг/кг          | $x_{fi}$    | $xfi$       | 0,61                | 0,435 | 0,311 | 0,224 | 0,163             |
| 2 | Конечная концентрация извлекаемого компонента – масла на выходе из ступени          | кг/кг          | $x_{ri}$    | $xri$       | 0,435               | 0,311 | 0,224 | 0,163 | 0,119             |
| 3 | Концентрация извлекаемого компонента в экстрагенте в каждой ступени экстрагирования | кг/кг          | $y_{ei}$    | $y_{ei}$    | 0,435               | 0,311 | 0,224 | 0,163 | 0,119             |
| 4 | Среднее время пребывания жмыха и экстрагента в каждой ступени экстрагирования       | с              | $\tau_{ci}$ | $\tau_{ci}$ | 684,4               | 482   | 339,4 | 239   | 168,3             |
|   |                                                                                     |                |             |             |                     |       |       |       | $\sum_1^5 = 1913$ |
| 5 | Объем аппарата на каждой ступени экстрагирования                                    | м <sup>3</sup> | $V_{ci}$    | $V_{ci}$    | 0,572               | 0,402 | 0,284 | 0,2   | 0,141             |
|   |                                                                                     |                |             |             |                     |       |       |       | $\sum_1^5 = 1,6$  |

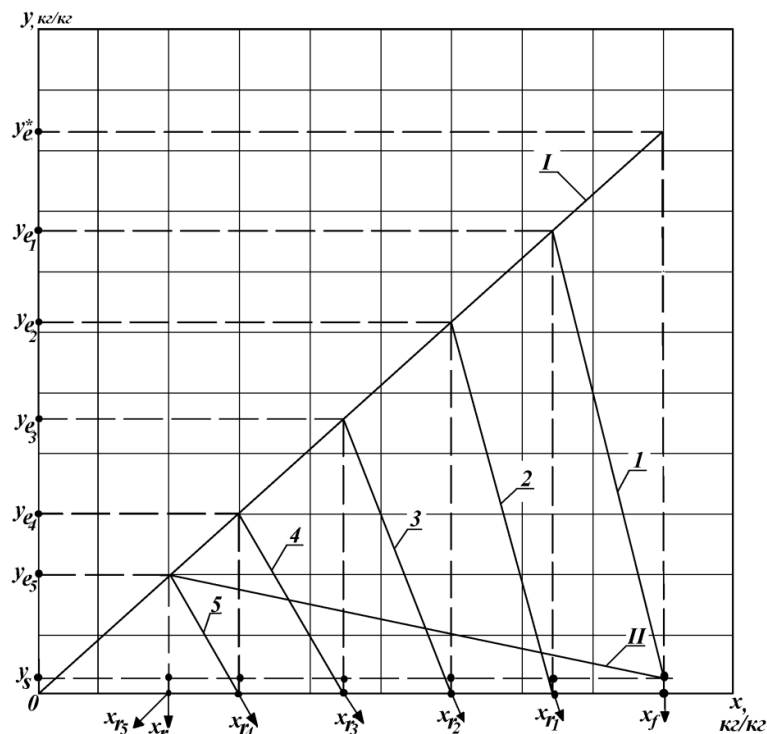


Рис. 2. Равновесная (I) и рабочие линии выщелачивания бензином подсолнечного масла из жмыха: II – для одноступенчатого экстрагирования; (1–5) – для каждой ступени многоступенчатого перекрестного экстрагирования

Объем колонны по сравнению с объемом пяти ступеней изменения концентрации при многоступенчатом перекрестном экстрагирова-

нии меньше на 16 %, а по сравнению с одноступенчатым экстрагированием в 5,46 раз. Суммарный объем каскада из 5 аппаратов с мешал-

ками при многоступенчатом перекрестном экстрагировании уменьшается в 4,7 раз по сравнению с одноступенчатым экстрагированием. Это известное преимущество каскада химических реакторов с мешалками по сравнению с одним реактором [7–9]. Однако если в каскаде реакторов все реакторы одинаковые размеру, то

в данном случае при перекрестном многоступенчатом экстрагировании объемы экстракторов постепенно уменьшаются (табл. 2).

В этом отличие каскада химических реакторов от каскада массообменных аппаратов с мешалками, какими являются аппараты для каждой ступени при экстрагировании или выщелачивании.

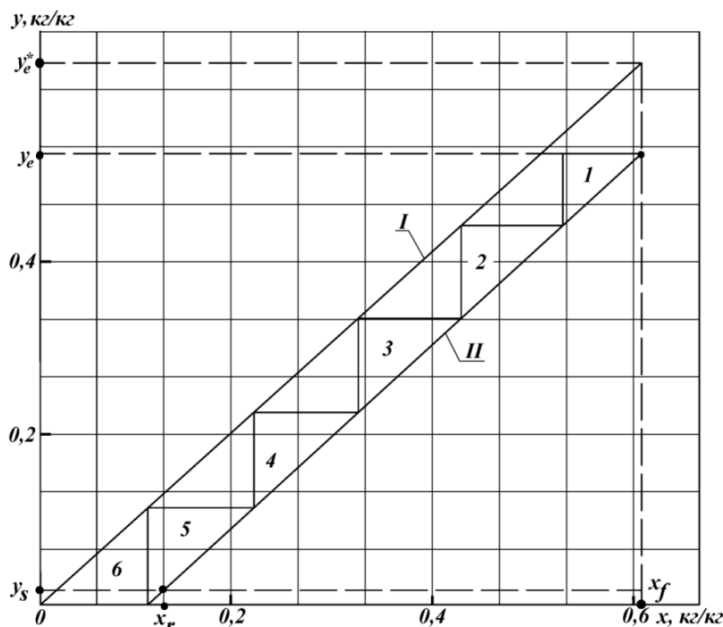


Рис. 3. Равновесная (I) и рабочая (II) линии выщелачивания бензином подсолнечного масла из жмыха в противоточной экстракционной колонне; (1–6) — номера теоретических тарелок (степеней изменения концентраций)

Для наглядности на рис. 2 и 3 представлены графики равновесных и рабочих линий для одноступенчатого, многоступенчатого перекрестного и противоточного экстрагирования и точки, характеризующие концентрации извлекаемого компонента — подсолнечного масла в жмыхе и бензине на каждой ступени теоретической тарелке [10–11].

Также необходимо подчеркнуть преимущества по экономии экстрагента — бензина в противоточной колонне по сравнению с многоступенчатым перекрестным экстрагированием и при одноступенчатом экстрагировании. В первом случае отношение расходов экстрагента снижается в 1,61 раза; во втором — в 4,73 раза, а в каскаде из 5 экстракторов идеального смешения, к которым по структуре потоков приближает общий расход экстрагента, снижается по сравнению с одним аппаратом с мешалкой при одноступенчатом экстрагировании в 2,92 раза.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2 / А. С. Тимонин. — Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. — 884 с.
2. Машины и аппараты пищевых производств. Кн. 1 / под

ред. В. А. Панфилова. — М. : Высшая школа, 2001. — 703 с.

3. Моделирование процесса адсорбции и электроадсорбции / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина, А. В. Кузнецов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 9 (82). С. 14–18.

4. Белобородов, В. В. Методы расчета процесса экстракции растительных масел. — М. : Пищепромиздат, 1966. — 116 с.

5. Белобородов, В. В. Основные процессы производства растительных масел. — М. : Пищевая промышленность, 1966. — 480 с.

6. Романков, П. Г. Экстрагирование из твердых материалов / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. — Л. : Химия, 1976. — 256 с.

7. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. П. Г. Романкова. — 10-е изд., перераб. и доп. — М. : Альянс, 2013. — 576 с.

8. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. — М. : Химия, 1969. — 621 с.

9. Кафаров, В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. — М. : Химия, 1986. — 464 с.

10. Кафаров, В. В. Основы массопередачи : учеб. пособие / В. В. Кафаров. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1979. — 439 с.

11. Голованчиков, А. Б. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии : учеб. пособие. Ч. 4. Массообменные процессы / А. Б. Голованчиков, Б. В. Симонов ; ВолгГТУ. — Волгоград, 1997. — 117 с.

УДК 519.168

*А. М. Дворянкин, М. Б. Кульцова, И. Г. Жукова*

# ЗАДАЧА РАЗМЕЩЕНИЯ НАГРУЖЕННЫХ ОТРЕЗКОВ

Волгоградский государственный технический университет

dvaml@mail.ru, marina.kultsova@mail.ru, zhukova.ir@gmail.com

В работе строится модель и ставится задача размещения отрезков, нагруженных сосредоточенной силой. Критерий оптимального размещения – минимальное отклонение центра тяжести от заданного. Предлагается приближенный алгоритм решения задачи.

*Ключевые слова:* размещение отрезков, сосредоточенная сила, центр тяжести.

*A. M. Dvoryankin, M. B. Kultsova, I. G. Zhukova*

## THE PROBLEM OF LOCATING SEGMENTS LOADED BY FORCE

Volgograd State Technical University

In the paper the model and the task of permutation segments loaded with concentrated force are presented. Criterion for optimal permutation is the minimum deviation of the center of gravity of the set. The approximate solution algorithm is proposed.

*Keywords:* permutation segments, concentrated force, center of gravity.

### 1. Введение

Интерес к различным постановкам и алгоритмам решения задач размещения и, в частности, к задачам одномерной оптимальной упаковки или «задачи о ранце» [1, 2] не ослабевает [3, 4]. Особенность рассматриваемой постановки задачи размещения нагруженных отрезков состоит в том, чтобы достичь положения центра тяжести «ранца» как можно ближе к заданному. Эта задача возникает при проектировании компоновки самолета, размещения груза на транспортном средстве, для которого положение центра тяжести является важным.

В статье даются основные определения: отрезок с приложенной силой, определение операции соединения отрезков. Формулируются и доказываются основные свойства введенных понятий. Сформулирована задача размещения отрезков. Отметим, что максимальная сложность алгоритма, гарантирующего нахождение точного решения этой задачи для  $n$  отрезков, оценивается как  $O(n!)$ . Предлагается приближенный алгоритм, использующий теорему о соединении отрезков. Доказательство теоремы основано на доказательстве пяти лемм. Оценка сложности алгоритма –  $O(n^4)$ . Приведены результаты работы алгоритма на примере.

### 2. Построение модели

*Определение 1.* Нагруженным отрезком  $A$  назовем горизонтальный отрезок с приложенной вертикально направленной вниз силой:  $A=(a, p, b)$ , где  $a$  – расстояние от левого края отрезка до точки приложения силы  $p$ ;  $b$  – расстоя-

ние от точки приложения силы до правого края отрезка.

Силу  $p$  можно интерпретировать как вес отрезка длиной  $d = a + b$ , с заданным положением центра тяжести. Предполагаем, что  $a \geq 0, b \geq 0, p \geq 0$ ,  $a$  и  $b$  не равны одновременно нулю. Для обозначения различных отрезков будем использовать нижние индексы в виде букв или цифр:  $A_x = (a_x, p_x, b_x)$  или  $A_1 = (a_1, p_1, b_1)$ . Компоненты отрезка  $A=(a, p, b)$  будем также обозначать как  $a = a(A)$ ,  $p = p(A)$ ,  $b = b(A)$ . Длину отрезка  $A$  будем обозначать как  $d(A) = a(A) + b(A)$ .

*Определение 2.* Удельным весом отрезка  $A$  назовем величину  $\gamma = p/d$ .

С учетом обозначений компонент и длины отрезка в определении 1, удельный вес отрезка  $A$  будем обозначать также как  $\gamma(A) = p(A)/d(A)$ .

*Определение 3.* Соединение  $A_{xy} = A_x A_y = (a_{xy}, p_{xy}, b_{xy})$  отрезков  $A_x = (a_x, p_x, b_x)$  и  $A_y = (a_y, p_y, b_y)$  определим формулами (1), (2), (3):

$$a_{xy} = \frac{p_x a_x + p_y (a_x + b_x + a_y)}{p_{xy}}, \quad (1)$$

$$p_{xy} = p_x + p_y, \quad (2)$$

$$b_{xy} = \frac{p_y b_y + p_x (a_y + b_y + b_x)}{p_{xy}}. \quad (3)$$

Соединение отрезков означает присоединение к правому концу отрезка  $A_x$  начала отрезка  $A_y$ , сила (2), приложена в центре тяжести (1).

*Замечание 1.* Т.к. длина отрезка  $A_{xy}$  равна  $d_{xy} = d_x + d_y$ , то если известно (1), то (3) можно определить как  $d_{xy} - a_{xy}$ .

$$A_x < A_y \Leftrightarrow \gamma_x > \gamma_y; A_x = A_y \Leftrightarrow \gamma_x = \gamma_y; A_x \leq A_y \Leftrightarrow \gamma_x \geq \gamma_y. \quad (4)$$

Для покомпонентного равенства отрезков будем использовать знак “=”:

$$A_x = A_y \Leftrightarrow (a_x = a_y \wedge p_x = p_y \wedge b_x = b_y) \quad (5)$$

### 3. Постановка задачи

Пусть заданы  $n$  отрезков  $A_1, \dots, A_n$  и некоторое число  $c > 0$ . Для любой перестановки  $w = (i_1, i_2, \dots, i_n) \in J_n$  сопоставим соединение отрезков:  $A_w = A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_n}$ . В соответствии с введенными в определении 1 обозначениями первая компонента такого соединения отрезков есть функция  $a(A_w)$ . Функция  $a(A_w)$  является функцией от перестановки  $w$ . При вычислении ее значения можно использовать формулы 1–3 с учетом перестановки.

Для заданного множества  $n$  отрезков и числа  $c$  определим функцию  $\delta$ :

$$\delta(i_1, i_2, \dots, i_n) = |a(A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_n}) - c|, \quad (6)$$

где  $(i_1, i_2, \dots, i_n) \in J_n$ .

*Задача размещения отрезков:* найти перестановку  $(i_1^0, i_2^0, \dots, i_n^0) \in J_n$ , на которой достигается минимум функции (6):

$$\delta(i_1^0, i_2^0, \dots, i_n^0) = \min_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in J_n} \delta(i_1, i_2, \dots, i_n). \quad (7)$$

Задача (7) интерпретируется следующим образом. Заданные  $n$  отрезков с приложенными силами (весом) необходимо соединить так, чтобы отклонение положения центра тяжести полученного отрезка от заданной величины  $c$  было минимальным.

Для разработки алгоритма приближенного решения этой задачи исследуются свойства операции соединения отрезков. Предлагаемый алгоритм основан на последовательной транспозиции соседних отрезков. При этом с учетом свойств операции соединения отрезков последовательность транспозиций сохраняет монотонное изменение критерия (6). Для определения начальной перестановки доказана теорема о соединении отрезков. Доказательство основано на доказательстве пяти лемм.

Очевидно,

$$a_{xy} = a_{yx} \Rightarrow (p_x a_x + p_y (a_x + b_x + a_y)) / p_{xy} = (p_y a_y + p_x (a_y + b_y + a_x)) / p_{yx}.$$

Т.к.  $p_{xy} = p_{yx}$ , то  $p_x a_x + p_y (a_x + b_x + a_y) = p_y a_y + p_x (a_y + b_y + a_x) \Rightarrow p_x a_x + p_y a_x + p_y b_x + p_y a_y = p_y a_y + p_x a_y + p_x b_y + p_x a_x \Rightarrow p_y a_x + p_y b_x = p_x a_y + p_x b_y \Rightarrow p_y (a_x + b_x) = p_x (a_y + b_y) \Rightarrow p_x / (a_y + b_y) = p_y / (a_x + b_x),$   
т.е.  $\gamma_x = \gamma_y$ .

*Определение 4.* Пусть  $\gamma_x, \gamma_y$  удельные веса отрезков  $A_x$  и  $A_y$ . Определим отношение порядка для отрезков  $A_x$  и  $A_y$  следующим образом:

### 4. Свойства соединения отрезков

*Утверждение 1.* Операция соединения отрезков ассоциативная:

$$\forall A_x A_y A_z [A_x (A_y A_z) = (A_x A_y) A_z].$$

*Доказательство.* Достаточно показать (см. замечание 1), что

$$a_{(xy)z} = a_{x(yz)} \wedge p_{(xy)z} = p_{x(yz)} = p_{xyz} = p_x + p_y + p_z \wedge d_{(xy)z} = d_{x(yz)} = d_x + d_y + d_z = a_x + a_y + a_z + b_x + b_y + b_z.$$

а) Вычисляем  $a_{(xy)z}$ . Компоненты отрезка  $A_x A_y$  определяются непосредственно из (1)–(3). Делаем подстановку  $x = xy$  и  $y = z$  в (1)–(3):

$$a_{(xy)z} = (p_{xy} a_{xy} + p_z (a_{xy} + b_{xy} + a_z)) / p_{xyz} \Rightarrow \\ \Rightarrow a_{(xy)z} = (p_x a_x + p_y (a_x + b_x + a_y) + p_z (a_x + b_x + a_y + b_y + a_z)) / p_{xyz}.$$

б) Вычисляем компоненту  $a_{x(yz)}$  отрезка  $A_x (A_y A_z)$ . Компоненты отрезка  $(A_y A_z)$  определяются из (1)–(3), подстановкой в формулы  $x = y, y = z$ :

$$a_{yz} = (p_y a_y + p_z (a_y + b_y + a_z)) / p_{yz} \wedge p_{yz} = p_y + p_z \wedge b_{yz} = (p_z b_z + (p_y (a_z + b_z + b_y))) / p_{yz}.$$

Делаем подстановку  $x = x$  и  $y = yz$  в (1) : (3):

$$a_{x(yz)} = (p_x a_x + p_{yz} (a_x + b_x + a_{yz})) / p_{xyz}.$$

Подставляем выражения для  $p_{yz}$  и  $a_{yz}$ :

$$a_{x(yz)} = (p_x a_x + p_y (a_x + b_x + a_y) + p_z (a_x + b_x + a_y + b_y + a_z)) / p_{xyz}. \blacksquare$$

Здесь и в дальнейшем знак  $\blacksquare$  означает конец доказательства.

*Утверждение 2.* Отношение порядка обладает свойствами рефлексивности и транзитивности.

*Доказательство.* Справедливость утверждения 2 очевидно следует из определения 4.  $\blacksquare$

*Утверждение 3.*  $A_x A_y = A_y A_x$  тогда, и только тогда, когда  $\gamma_x = \gamma_y$ .

*Доказательство.*

а) Покажем, что если  $A_x A_y = A_y A_x$ , то  $\gamma_x = \gamma_y$ .

б) Покажем, что если  $\gamma_x = \gamma_y$ , то  $A_x A_y = A_y A_x$ .  $p_x/(a_x+b_x) = p_y/(a_y+b_y) \Rightarrow \Rightarrow p_x(a_y+b_y) = p_y(a_x+b_x) \Rightarrow p_x a_y + p_x b_y = p_y a_x + p_y b_x$ . Прибавляем к обеим частям  $p_x a_x + p_y a_y$ :  $p_x a_y + p_x a_x + p_x b_y + p_x a_x = p_x a_x + p_y a_x + p_y b_x + p_y a_y \Rightarrow \Rightarrow p_x a_x + p_y(a_x+b_x+a_y) = p_y a_y + p_x(a_y+b_y+a_x)$ .

Делим обе части на  $p_{xy}$ , получаем  $a_{xy} = a_{yx}$ , что означает  $A_x A_y = A_y A_x$ . ■

*Следствие 1.* Операция соединения отрезков не коммутативна.

*Утверждение 4.* Пусть заданы  $n$  отрезков:  $A_1 = (a_1, p_1, b_1), A_2 = (a_2, p_2, b_2), \dots, A_n = (a_n, p_n, b_n)$ .

Тогда компоненты соединения этих отрезков, отрезка  $A = A_1 A_2 \dots A_n$ , можно вычислить по следующим формулам:

$$a(A) = \left[ \sum_{k=1}^n p_k \left( a_k + \sum_{i=1}^{k-1} (a_i + b_i) \right) \right] / p(A); \quad (8)$$

$$p(A) = \sum_{i=1}^n p_i; \quad (9)$$

$$b(A) = \left[ \sum_{k=1}^n p_k \left( b_k + \sum_{i=k+1}^n (a_i + b_i) \right) \right] / p(A). \quad (10)$$

Согласно замечанию 1, для вычисления (8) можно использовать более простое выражение:

$$b(A) = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i) - a(A). \quad (11)$$

*Доказательство.* Доказательство проводится индукцией по  $n$ . Для  $n=2$  (8), (9), (10) определяются подстановкой в (1)–(3) значений  $x=1$  и  $y=2$ . Предположим, (8), (9), (10) справедливы для  $n-1$ , т. е.  $A_x = (a_x, p_x, b_x)$ , где

$$a_x = \left[ \sum_{k=1}^{n-1} p_k \left( a_k + \sum_{i=1}^{k-1} (a_i + b_i) \right) \right] / p_x, \quad (12)$$

*Доказательство.*

а) Пусть  $a(A_x A_y) \leq a(A_y A_x)$ . Покажем, что  $A_x \leq A_y$ . Из (1)–(3) получаем:

$$\begin{aligned} (p_x a_x + p_y(a_x + b_x + a_y)) / (p_x + p_y) &\leq (p_y a_y + p_x(a_y + b_y + a_x)) / (p_x + p_y) \Rightarrow \\ \Rightarrow p_x a_x + p_y(a_x + b_x + a_y) &\leq p_y a_y + p_x(a_y + b_y + a_x) \Rightarrow p_y a_x + p_y b_x \leq p_x a_y + p_x b_y \Rightarrow \\ \Rightarrow p_y(a_x + b_x) &\leq p_x(a_y + b_y) \Rightarrow p_y/(a_y + b_y) \leq p_x/(a_x + b_x) \Rightarrow \gamma_x \geq \gamma_y \Rightarrow A_x \leq A_y. \end{aligned}$$

б) Пусть  $A_x \leq A_y$ . Покажем, что  $a(A_x A_y) \leq a(A_y A_x)$ . Из определения 3 получаем:

$$\begin{aligned} \gamma_x \geq \gamma_y &\Rightarrow p_y/(a_y + b_y) \leq p_x/(a_x + b_x) \Rightarrow p_y(a_x + b_x) \leq p_x(a_y + b_y) \Rightarrow \\ \Rightarrow p_x a_x + p_y a_x + p_y b_x + p_y a_y &\leq p_y a_y + p_x a_y + p_x b_y + p_x a_x \Rightarrow \\ \Rightarrow p_x a_x + p_y(a_x + b_x + a_y) &\leq p_y a_y + p_x(a_y + b_y + a_x) \Rightarrow \\ \Rightarrow (p_x a_x + p_y(a_x + b_x + a_y)) / (p_x + p_y) &\leq (p_y a_y + p_x(a_y + b_y + a_x)) / (p_x + p_y) \Rightarrow \\ \Rightarrow a(A_x A_y) &\leq a(A_y A_x). \quad \blacksquare \end{aligned}$$

*Лемма 2.* Пусть  $A_x \leq A_y$ ,  $a(A_x) \leq a(A_y)$  и  $p(A_x) = p(A_y)$ , тогда для любого  $A_z$ :  $a(A_z A_x) \leq a(A_z A_y)$  и  $a(A_x A_z) \leq a(A_y A_z)$ .

$$p_x = \sum_{i=1}^{n-1} p_i, \quad (13)$$

$$b_x = \left[ \sum_{k=1}^{n-1} p_k \left( b_k + \sum_{i=k+1}^{n-1} (a_i + b_i) \right) \right] / p_x, \quad (14)$$

Полагая  $A_y = A_n = (a_n, p_n, b_n)$  и, применяя формулы (1)–(3), получим требуемое. ■

*Замечание 2.* Вычисления формул (8), (9), (11) имеют сложность  $O(n^2)$ .

## 5. Теорема о соединении отрезков

Пусть  $J_n$  – множество перестановок чисел  $\{1, 2, \dots, n\}$ . Для любой перестановки  $w = (i_1, i_2, \dots, i_n) \in J_n$  сопоставим соединение отрезков:  $A_w = A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_n}$ . Введем следующие обозначения:

$$\alpha = \min_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in J_n} a(A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_n}), \quad (15)$$

$$\beta = \max_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in J_n} a(A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_n}). \quad (16)$$

*Теорема.* Пусть  $w = (j_1, j_2, \dots, j_n) \in J_n$  такая перестановка, на которой  $A_{j_1} \leq A_{j_2} \leq \dots \leq A_{j_n}$ . Очевидно, на перестановке  $\bar{w} = (j_n, j_{n-1}, \dots, j_1) \in J_n$  отрезки расположены по невозрастанию:  $A_{j_n} \geq A_{j_{n-1}} \geq \dots \geq A_{j_1}$ . Перестановкам  $w$  и  $\bar{w}$  сопоставим соответствующие соединения отрезков  $A_w$  и  $A_{\bar{w}}$ . Тогда  $\alpha = a(A_w)$  и  $\beta = a(A_{\bar{w}})$ .

*Доказательство.* Доказательство теоремы очевидно следует из справедливости нижеприведенных лемм 1–5. ■

*Лемма 1.*  $a(A_x A_y) \leq a(A_y A_x)$  тогда, и только тогда, когда  $A_x \leq A_y$ .

*Доказательство.*

а) Докажем справедливость неравенства  $a(A_z A_x) \leq a(A_z A_y)$ .

По условию леммы  $a(A_x) \leq a(A_y)$ , т. е.  $a_x \leq a_y$ .

$$\begin{aligned} \text{Тогда } (a_z + b_z + a_x) &\leq (a_z + b_z + a_y). \text{ Так как } p_x = p_y, \text{ то } p_x(a_z + b_z + a_x) \leq p_y(a_z + b_z + a_y) \Rightarrow \\ \Rightarrow p_z a_z + p_x(a_z + b_z + a_x) &\leq p_z a_z + p_y(a_z + b_z + a_y) \Rightarrow \\ \Rightarrow (p_z a_z + p_x(a_z + b_z + a_x)) / (p_z + p_x) &\leq (p_z a_z + p_y(a_z + b_z + a_y)) / (p_z + p_y) \Rightarrow \\ \Rightarrow a_{zx} \leq a_{zy} \Rightarrow a(A_z A_x) &\leq a(A_z A_y). \end{aligned}$$

б) Докажем неравенство  $a(A_x A_z) \leq a(A_y A_z)$ . Так как  $A_x \leq A_y$  и  $p_x = p_y \Rightarrow \gamma_x \geq \gamma_y \Rightarrow d_x \leq d_y$ .

$$\begin{aligned} \text{Так как } a_x \leq a_y, \text{ то } a_x + b_x + a_z &\leq a_y + b_y + a_z \Rightarrow \\ p_z(a_x + b_x + a_z) &\leq p_z(a_y + b_y + a_z). \text{ Так как } p_x = p_y \text{ и } a_x \leq a_y, \text{ то} \\ p_x a_x + p_z(a_x + b_x + a_z) &\leq p_y a_y + p_z(a_y + b_y + a_z) \Rightarrow \\ \Rightarrow (p_x a_x + p_z(a_x + b_x + a_z)) / (p_x + p_z) &\leq (p_y a_y + p_z(a_y + b_y + a_z)) / (p_y + p_z) \Rightarrow \\ \Rightarrow a_{xz} \leq a_{yz} \Rightarrow a(A_x A_z) &\leq a(A_y A_z). \blacksquare \end{aligned}$$

*Лемма 3.* Если  $A_x \leq A_y$ , то  $A_x \leq A_x A_y \leq A_y$ .

*Доказательство.*

а) Докажем неравенство  $A_x \leq A_x A_y$ ,

$$\begin{aligned} \text{т. е. } \gamma_x \geq \gamma_{xy}. A_x \leq A_y \Rightarrow \gamma_x \geq \gamma_y \Rightarrow p_x/d_x \geq p_y/d_y \Rightarrow p_x d_y \geq p_y d_x \Rightarrow p_x d_x + p_x d_y &\geq p_x d_x + p_y d_x \Rightarrow \\ \Rightarrow p_x(d_x + d_y) \geq (p_x + p_y) d_x \Rightarrow p_x/d_x \geq (p_x + p_y)/(d_x + d_y) \Rightarrow \gamma_x \geq \gamma_{xy}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{б) Докажем неравенство } A_x A_y \leq A_y, \text{ т. е. } \gamma_{xy} \geq \gamma_y. A_x \leq A_y \Rightarrow \gamma_x \geq \gamma_y \Rightarrow p_x/d_x \geq p_y/d_y \Rightarrow p_x d_y &\geq p_y d_x \Rightarrow p_x d_y + p_y d_y \geq p_y d_x + p_y d_y \Rightarrow \\ \Rightarrow (p_x + p_y) d_y \geq p_y(d_x + d_y) \Rightarrow (p_x + p_y)/d_y \geq p_y/d_y \Rightarrow \gamma_{xy} \geq \gamma_y. \blacksquare \end{aligned}$$

*Лемма 4.* Если  $A_x \leq A_y \leq A_z$ , то  $A_x \leq A_y A_z$  и  $A_x A_y \leq A_z$ .

*Доказательство.*

а) Покажем, что  $A_x \leq A_y A_z$ . Так как  $A_y \leq A_z$ , то по лемме 3  $A_y \leq A_y A_z \leq A_z$ . Учитывая, что  $A_x \leq A_y$  и свойство транзитивности (утверждение 2), получим требуемое.

б) Покажем, что  $A_x A_y \leq A_z$ . Так как  $A_x \leq A_y$ , то по лемме 3  $A_x \leq A_x A_y \leq A_y$ . Учитывая, что  $A_y \leq A_z$ , получим требуемое.  $\blacksquare$

*Лемма 5.* Если  $A_y \leq A_z$ , то  $\forall A_x A_u [a(A_x A_y A_z A_u) \leq a(A_x A_z A_y A_u)]$ .

*Доказательство.* Так как  $A_y \leq A_z$ , то по лемме 1  $a(A_y A_z) \leq a(A_z A_y)$ . Обозначим  $A_y A_z = A_r$  и  $A_z A_y = A_t$ .  $\Rightarrow a(A_r) \leq a(A_t)$ ,  $p(A_r) = p(A_t)$ ,  $\gamma(A_r) = \gamma(A_t)$ . Так как  $\gamma(A_r) \geq \gamma(A_t)$ , то  $A_r \leq A_t$ . Для отрезков  $A_r$  и  $A_t$  применяем лемму 2:  $a(A_x A_r) \leq a(A_x A_t) \Rightarrow a(A_x A_y A_z) \leq a(A_x A_z A_y)$ . Обозначим  $A_x A_y A_z = A_s$  и  $A_x A_z A_y = A_f$ . Тогда  $a(A_s) \leq a(A_f)$ ,  $p(A_s) = p(A_f)$ ,  $\gamma(A_s) = \gamma(A_f)$  и  $A_s \leq A_f$ . Для отрезков  $A_s$  и  $A_f$  применяем лемму 2:  $a(A_s A_u) \leq a(A_f A_u) \Rightarrow$

$$a(A_x A_y A_z A_u) \leq a(A_x A_z A_y A_u). \blacksquare$$

## 6. Алгоритм

Для приближенного решения задачи (7) предлагается алгоритм, основанный на теореме о соединении отрезков и лемме 5.

1-й шаг. Найти  $w = (j_1, j_2, \dots, j_n) \in J_n$ , на которой  $\alpha = a(A_w)$ . Тогда на перестановке  $\bar{w} = (j_n, j_{n-1}, \dots, j_1) \in J_n$   $\beta = a(A_{\bar{w}})$ . Здесь  $A_w = A_{j_1} A_{j_2} \dots A_{j_n}$  и  $A_{\bar{w}} = A_{j_n} A_{j_{n-1}} \dots A_{j_1}$ . Перестановку  $w$  можно найти сортировкой по невозрастанию множества удельных весов отрезков:  $\{\gamma(A_1), \gamma(A_2), \dots, \gamma(A_n)\}$ . Для этого можно использовать, например, алгоритм быстрой сортировки [5], который имеет сложность  $O(n \log n)$ . Компоненты соединения отрезков определяются по формулам (8), (9), (10) с учетом соответствующих перестановок.

2-й шаг. Возможны следующие случаи:

а) если  $c \leq \alpha$  или  $\beta \leq c$ , то задача имеет точное решение – перестановки  $w$  или  $\bar{w}$ , на которых достигаются значения  $\alpha$  или  $\beta$  соответственно. Конец;

б) если  $\alpha < c < \beta$ , выполнять шаг 3.

3-й шаг. Перестановке  $w = (j_1, j_2, \dots, j_n)$  присвоить номер  $k = 0$  и обозначить как  $w_0$ . Применить алгоритм пузырьковой сортировки [5] для упорядочивания отрезков по невозрастанию. На итерации  $k$  алгоритма для перестановки  $w_k$  вычислить значение  $\alpha_k = a(A_{w_k})$ . Значение функции (6) на итерации  $k$  будем обозначать  $\delta_k = |\alpha_k - c|$ . Возможны случаи:

а) если  $\alpha_k < c$ , то перейти к итерации  $k+1$ . Перестановка  $w_{k+1}$  строится применением к пе-

рестановке  $w_k$  очередной транспозиции  $(i, i+1)$  рядом стоящих элементов в соответствии с алгоритмом пузырьковой сортировки. Отметим, что если удельный вес отрезка, расположенного на  $i$ -м месте, равен удельному весу отрезка, стоящего на  $i+1$ -м месте, то в соответствии с утверждением 3 и леммой 5  $\alpha_{k+1} = \alpha_k$ , т.е. можно не вычислять  $\alpha_{k+1} = a(A_{w_{k+1}})$ ;

б) если  $\alpha_k = c$ , то решение – перестановка  $w = w_k$ . Конец;

в) если  $\alpha_k > c$ , то вычислить  $\delta = \min(\delta_{k-1}, \delta_k)$ . Решение – соответствующая перестановка  $w$ , на которой функция (6) равна  $\delta$ . Конец.

Число итераций на шаге 3 не превышает  $n(n-1)/2$ . Замечание 2 позволяет оценить максимальную сложность алгоритма:  $O(n^4)$ . Отметим, что нахождение глобального минимума функции (6) гарантировано только алгоритмом полного перебора всех перестановок со сложностью  $O(n!)$ .

Под точностью решения задачи (7) будем понимать отклонение найденного значения целевой функции (6) от глобального минимума. Точность решений, генерируемых предложенным алгоритмом, зависит от исходных данных. Наилучшее возможное значение глобального минимума критерия равно нулю. Максимальное отклонение значения целевой функции (6) от возможного глобального минимума для  $c \in [\alpha_{k-1}, \alpha_k]$  не превышает величины  $(\alpha_k - \alpha_{k-1})/2$ , где  $k$  – номер итерации на шаге 3.

В случае б) шага 3 найденное решение является глобальным. В случае в) шага 3 максимальное отклонение найденного решения от глобального минимума не превышает  $\delta$ . Полу-

ченное предлагаемым алгоритмом решение может быть улучшено известным методом парных перестановок [6], который находит локальный минимум.

Пример исходных данных при  $n = 5$  и  $c = 63$  приведен в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

| $A$                                         | $a(A)$ | $p(A)$ | $b(A)$ | $d(A)$ | $\gamma(A)$ |
|---------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| $A_1$                                       | 2      | 7      | 8      | 10     | 0.7000      |
| $A_2$                                       | 1      | 3      | 20     | 21     | 0.1429      |
| $A_3$                                       | 10     | 21     | 30     | 40     | 0.5250      |
| $A_4$                                       | 25     | 10     | 10     | 35     | 0.2857      |
| $A_5$                                       | 30     | 12     | 1      | 31     | 0.3871      |
| $\alpha = a(A_1 A_3 A_5 A_4 A_2) = 52.9245$ |        |        |        |        |             |
| $\beta = a(A_2 A_4 A_5 A_3 A_1) = 83.6792$  |        |        |        |        |             |

Пример работы алгоритма приведен в табл. 2. При  $k = 5$  найдено приближенное решение:  $w = (5, 3, 4, 2, 1)$ ,  $\delta = 1.2453$ . Отклонение от глобального минимума не превышает значения  $\delta$ .

Применение к найденному решению алгоритма парных перестановок дает следующие результаты:

- итерация 1,  $w = (5, 3, 4, 1, 2)$ ,  $\delta = 0.9623$ ;
- итерация 2,  $w = (5, 3, 2, 1, 4)$ ,  $\delta = 0.4906$ ;
- итерация 3,  $\delta$  не уменьшается, найден локальный минимум.

Применение алгоритма полного перебора дает глобальный минимум на перестановке  $w = (3, 5, 2, 4, 1)$ ,  $\delta = 0.0000$ .

Таблица 2

Результаты работы алгоритма

| $k$ | $w_k$                   | $A_{w_k}$             | $\alpha_k = a(A_{w_k})$ | $\alpha_k > c$ | $\delta_k$ |
|-----|-------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|------------|
| 0   | $w_0 = (1, 3, 5, 4, 2)$ | $A_1 A_3 A_5 A_4 A_2$ | 52.9245                 | нет            | -          |
| 1   | $w_1 = (3, 1, 5, 4, 2)$ | $A_3 A_1 A_5 A_4 A_2$ | 54.2453                 | нет            | -          |
| 2   | $w_2 = (3, 5, 1, 4, 2)$ | $A_3 A_5 A_1 A_4 A_2$ | 56.0755                 | нет            | -          |
| 3   | $w_3 = (3, 5, 4, 1, 2)$ | $A_3 A_5 A_4 A_1 A_2$ | 58.8113                 | нет            | -          |
| 4   | $w_4 = (3, 5, 4, 2, 1)$ | $A_3 A_5 A_4 A_2 A_1$ | 61.0189                 | нет            | 1.9811     |
| 5   | $w_5 = (5, 3, 4, 2, 1)$ | $A_5 A_3 A_4 A_2 A_1$ | 64.2453                 | да             | 1.2453     |

## 7. Заключение

Приведена постановка задачи размещения отрезков, нагруженных сосредоточенной силой. Критерием оптимального размещения является

минимальное отклонение центра тяжести результирующего отрезка от заданного значения. Доказана теорема, на основе которой можно вычислить интервал возможного положения центра

тяжести для заданного множества нагруженных отрезков. Предложены формулы для вычисления компонентов соединения отрезков и приближенный алгоритм решения задачи.

Развитие постановки задачи размещения нагруженных отрезков и разработка соответствующего алгоритма может проводиться в направлении учета возможности поворотов отрезков на  $180^\circ$ . В этом случае алгоритм полного перебора будет иметь сложность  $O(2^n n!)$ .

Предложенный алгоритм можно также использовать для решения задачи оптимизации отклонения скалярного произведения двух неотрицательных  $n$ -мерных векторов от заданной величины путем подбора перестановок компонентов этих векторов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования : пер. с англ. / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 460 с.
2. Романовский, И. В. Алгоритмы решения экстремальных задач / И. В. Романовский. – М.: Наука, 1977. – 352 с.
3. Залюбовский, В. В. О представлении перестановками допустимых решений одномерной задачи упаковки в контейнеры / В. В. Залюбовский // Труды XIII Байкальской международной школы-семинара «Методы оптимизации». Т. 1. – Иркутск: ИСЭМ СО АН РАН, 2005. – С. 461–467.
4. Упаковка одномерных контейнеров с продолженным выбором идентичных предметов: точный метод поиска оптимального решения / М. А. Месягутов [и др.] // Автомат. и телемех. – 2011. – № 1. – 154–173.
5. Мейер, Б. Методы программирования : в 2 т. Т. 2 / Б. Мейер, К. Бодуэн ; пер. с франц. Ю. А. Первина ; под ред. А. П. Ершова. – М. : Мир, 1982. – 368 с.
6. Дендобренко, Б. Н. Автоматизация конструирования РЭА : учеб. для вузов / Б. Н. Дендобренко, А. С. Малика. – М.: Высш. школа, 1980. – 384 с.

УДК 629.3.023.1

*С. К. Карцов, С. В. Лузгин, В. В. Румянцев*

### ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МНОГООСНОГО АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УПРУГИХ СВОЙСТВ АДАПТИВНОЙ ПОДВЕСКИ

**Набережночелнинский филиал ФГАОВПОКФУ**

kartsov@yandex.ru, seregaluzgin88@gmail.com, rvv3902@rambler.ru

Описывается виртуальная модель грузового многоосного автомобиля, используемая для оптимизации параметров упругих свойств адаптивной подвески. Приводится обоснование необходимости использования систем поддрессирования с регулируемыми или изменяемыми упругими характеристиками на основании проведения виртуальных экспериментов на математической модели грузового автомобиля колесной формулой 8х8, созданной в ПК «ФРУНД».

*Ключевые слова:* подвеска автомобиля, управляемая жесткость, динамические маневры, «ФРУНД».

*S. K. Kartsov, S. V. Luzgin, V. V. Rumyancev*

### VIRTUAL MODEL OF MULTYAXLE VEHICLE FOR OPTIMIZE PARAMETERS OF ELASTIC CHARACTERISTIC BY ADAPTIVE SUSPENSION

**Kazan State University**

It's describe of virtual model of multyaxle truck, using for optimize parameters of elastic characteristics by adaptive suspension. Justifying the need for the use of suspension systems with adjustable or variable elastic properties based on conduct virtual experiments on a mathematical model of the truck 8x8 created on the program complex «FRUND».

*Keywords:* suspension of vehicle, controlled hardness, dynamic maneuvers, «FRUND».

При разработке систем поддрессирования грузовых автомобилей перед инженерным персоналом встает вопрос использования упругих элементов с регулируемыми или изменяемыми характеристиками. Использование таких элементов влечет за собой усложнение конструкции системы поддрессирования, увеличение недрессированных масс и стоимости автомобиля. Данная статья дает обоснование необходимости использования данных элементов для грузового

автомобиля с полной массой 40 т., снаряженная масса – 24 т. В статье приводятся данные, полученные в ходе виртуального эксперимента, проведенного с использованием математической модели, построенной в программном комплексе «ФРУНД» (формирование и решение уравнений нелинейной динамики).

На рис. 1 приведена основная расчетная схема грузового автомобиля колесной формулой 8х8. Математическая модель включает в се-

бя раму, с заложенной угловой жесткостью; кабину, прикрепленную к раме с помощью упругих элементов; грузовую платформу; упруго-

подвешенные двигатель с коробкой передач; ведущие и комбинированные мосты с их подвеской.

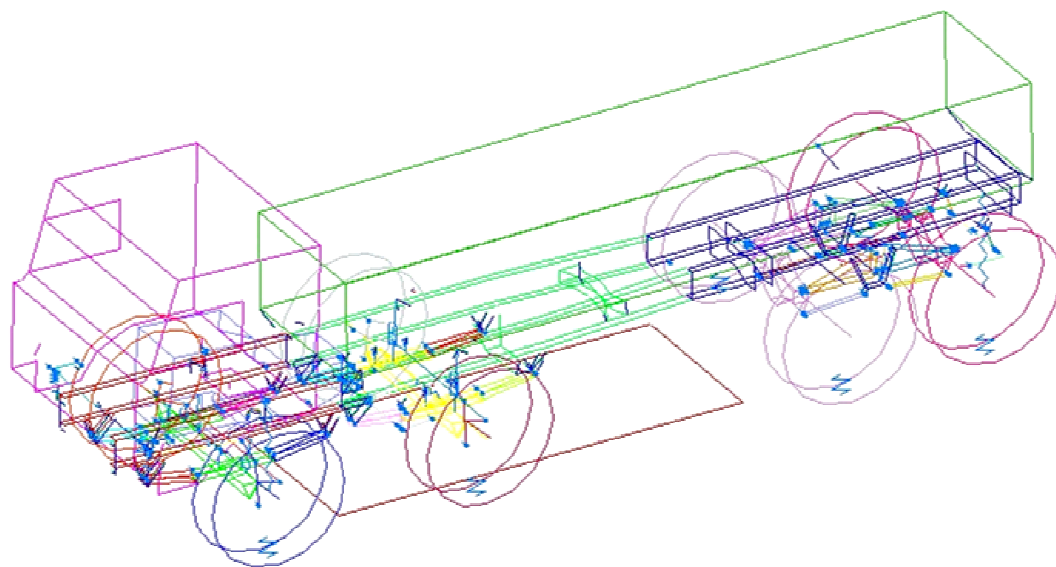


Рис. 1. Расчетная схема автомобиля

В качестве упругого элемента с регулируемой или изменяемой характеристикой могут быть использованы:

1. Рессора с подрессорником двусоставная пружина;
2. Витая пружина с изменяемым диаметром навивки или диаметром прутка;
3. Торсион с механизмом изменения предварительной закрутки;
4. Пневматический упругий элемент (пневмобаллон) с изменяемым статическим давлением;
5. Пневмогидравлическая рессора с подключаемым (отключаемым) пневмоаккумулятором или комбинации пневмоаккумуляторов с различными зарядными давлениями.

В используемой математической модели реализованы два типа системы подрессоривания: комбинированная рессорно-пневмогидравлическая.

Для обоснования необходимости использования упругих элементов с регулируемой или изменяемой упругой характеристикой был проведен ряд экспериментов для следующих вариантов комбинаций характеристик упругого элемента и степени загрузки автомобиля:

1. Максимальная загрузка автомобиля, статическая жесткость подвески максимальная;
2. Максимальная загрузка автомобиля, статическая жесткость подвески минимальная;
3. Снаряженная масса автомобиля, статическая жесткость подвески максимальная;
4. Снаряженная масса автомобиля, статическая жесткость подвески минимальная.

В качестве критерия выбора жесткости подвески для той или иной загрузки было выбрано обеспечение частоты собственных колебаний упругой системы 1Гц. Расчетная формула приобретает вид:

$$\kappa = 4\pi^2 \nu^2 m,$$

где  $\nu$  – частота собственных колебаний;  $m$  – масса, приходящаяся на один упругий элемент.

На рис. 2 показаны графики изменения угловых перемещений задней части рамы для пневмогидравлической подвески.

Рис. 2 показывает, что изменение жесткости подвески оказывает более существенное влияние при снаряженной массе автомобиля – изменение углового перемещения задней части рамы составляет 36 %. При максимальной загрузке автомобиля разница угловых перемещений задней части рамы меньше, чем для комбинированной подвески – 7 %.

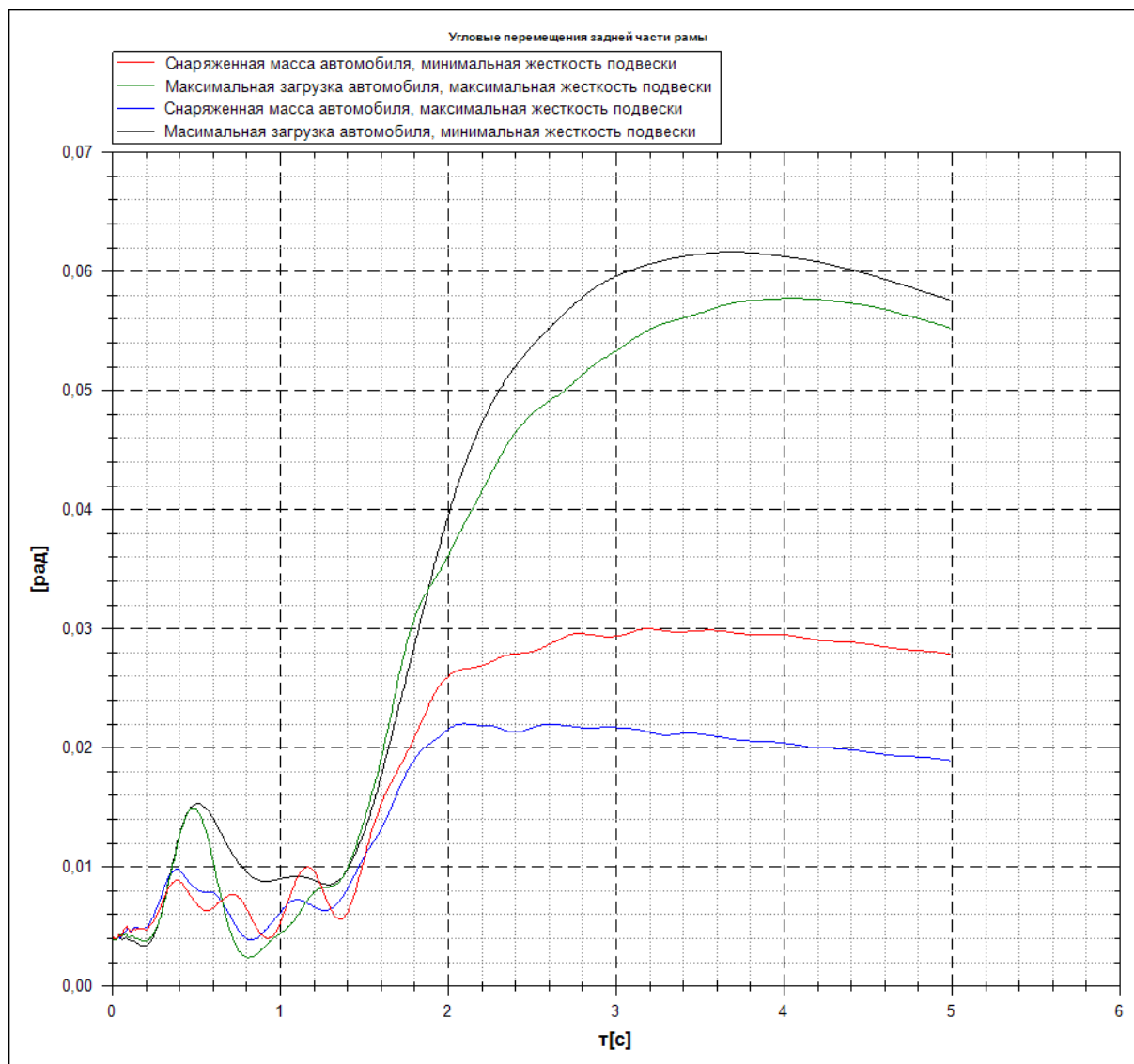


Рис. 2. Угловые перемещения задней части рамы

На основании выше изложенного можно сделать заключение, что использование упругого элемента с регулируемой или изменяемой степенью жесткости упругого элемента является обоснованным усложнением как механической части системы поддрессоривания, так и ее гидравлической составляющей. При этом увеличение стоимости изготовления компонентов гидросистемы системы поддрессоривания (в случае применения пневмогидравлических рессор) будет компенсировано за счет повышения динамической устойчивости автомобиля увеличения критической скорости по устойчивости, что в конечном счете должно привести к увеличению средней эксплуатационной скорости, а зна-

чит – снижению затрат по перевозке полезного груза.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кушивид, Р. П. Развитие теории управляемости и устойчивости автомобиля на базе пространственных компьютерных моделей : монография / Р. П. Кушивид, А. С. Горобцов, С. К. Карцов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 136 с.
2. Горобцов, А. С. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкций автомобилей / А. С. Горобцов, С. К. Карцов, А. Е. Плетнев, Ю. А. Поляков. – М. : Машиностроение, 2011. – 462 с.
3. Андрейчиков, А. В., Горобцов, А. С., Андрейчикова, О. Н. Компьютерное моделирование динамики автомобиля с активной виброзащитной подвеской // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2008. Т. 5. № 8(46). С. 5–11.

УДК 623.618623.4.11

*Л. А. Михолап, А. В. Старусев, В. И. Лобейко***ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОЦЕНКИ ТРЕБУЕМОГО КОЛИЧЕСТВА ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****Астраханский государственный университет**

starusev-av@yandex.ru

Предложен один из методов оценки требуемого количества экспериментов при испытаниях сложных технических систем. Целью данного метода является оценка требуемого количества экспериментов при заданных в техническом задании точности и надежности измерений при испытаниях сложных технических систем.

*Ключевые слова:* испытания, сложные технические системы, точность измерений, надежность.

*L. A. Miholap, A. V. Starusev, V. I. Lobeyko***ABOUT ONE VALUATION METHOD OF THE DEMANDED AMOUNT  
OF EXPERIMENTS AT TESTS OF DIFFICULT TECHNICAL SYSTEMS****The Astrakhan State University**

One of valuation methods of a demanded amount of experiments is offered at tests of difficult technical systems. The purpose of the given method is the estimation of a demanded amount of experiments at set in the technical project of accuracy and reliability of measurements at tests of difficult technical systems.

*Keywords:* tests, difficult technical systems, accuracy of measurements, reliability.

**Введение**

На заключительном этапе разработки технических систем проводятся их испытания, целью которых является определение характеристик испытываемых систем и соответствие этих характеристик заданным в техническом задании на разработку системы.

Измерения характеристик являются основной составной частью проводимых экспериментов. От тщательности измерений и последующих вычислений зависят результаты экспериментов. Поэтому каждый испытатель должен знать закономерности измерительных процессов, уметь оценить погрешности при измерениях, с требуемой точностью вычислить значения характеристик, определить наилучшие условия измерений, при которых ошибки будут наименьшими и произвести общий анализ результатов измерений.

**Постановка задачи**

Необходимо разработать метод измерений при испытаниях сложных технических систем (СТС), который позволит:

- провести оценку точности и надежности измерений при заданном количестве экспериментов;
- определить минимальное количество измерений, гарантирующее требуемую (заданную в техническом задании на проведении испытания СТС) точность и надежность измерения;

– определить достоверность полученных результатов.

**Решение задачи**

Прежде чем приступить к решению поставленной задачи, дадим определение понятию измерение. Под измерением будем понимать некий процесс нахождения какой-либо физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств, и является познавательным процессом сравнения чего-либо с известной величиной, принимаемой за единицу (эталон) [1].

Измерения бывают статистическими, когда измеряемая величина не изменяется, и динамическим, когда измеряемая величина меняется (например, измерение пульсирующих процессов).

Кроме того, измерения разделяются на прямые и косвенные. При прямых измерениях искомую величину устанавливают непосредственно из опыта, при косвенных – функционально от других величин, определенных прямыми измерениями:  $y = f(x)$ , где  $y$  найдено с помощью косвенных измерений,  $x$  – с помощью прямых измерений.

Под точностью измерений будем понимать степень приближения измерения к действительному значению величины, а под погрешностью измерений – алгебраическую разность между действительным значением измеряемой величины  $y_i$  и полученным при измерении  $y_j$ :

$$z = y_j - y_i; \quad (1)$$

$y_j$  – это такое значение величины, которое заведомо точнее, чем получаемое при измерении. С некоторым допущением  $y_j$  можно считать истинным или точным значением величины. Значение  $z$  называется абсолютной ошибкой измерения. Относительная ошибка измерения (в %):

$$\psi = \pm \frac{z}{y_j} 100. \quad (2)$$

Достоверность измерения показывает степень доверия к результатам измерения, то есть вероятность отклонений измерения от действительных значений.

Чтобы повысить точность и достоверность измерений, необходимо уменьшить погрешности. Погрешности при измерениях возникают вследствие ряда причин: несовершенства средств и методов измерений, влияния различных факторов в процессе опыта, недостаточно тщательного проведения опыта и др.

Погрешности классифицируются на систематические и случайные. Систематические – это такие погрешности измерений, которые при повторных экспериментах остаются постоянными (или изменяются по известному закону). Случайными называют погрешности, возникающие чисто случайно при повторном измерении. Эти измерения не могут быть исключены как систематические.

В процессе испытаний реальных технических систем проводятся многочисленные измерения, среди которых практически всегда присутствуют измерения реальных выходных процессов систем. Эти измерения можно непосредственно использовать для оценки величины характеристики (показателя) эффективности рассматриваемой системы [2, 9].

Однако такой прямой способ получения оценок показателя эффективности использует незначительную часть информации, которую регистрируют в процессе проведения различных видов испытаний сложных систем и их элементов. Это происходит из-за того, что большое число внутренних измерений не участвует при формировании таких оценок [3, 8].

Указанный недостаток весьма существен, так как оценки в этом случае имеют невысокую точность. По этой причине оценки эффективности сложных технических систем обычно рассматривают как статистическую задачу синтеза оптимальных решающих правил, основанных на комплексном использовании априорной

информации и информации полученной при натуральных испытаниях элементов и всей системы в целом [4, 10].

Для характеристики качества всевозможных процессов функционирования системы логично показатель эффективности  $P$  определить математическим ожиданием величин  $\psi\{\delta\}$ :

$$P = M\{\psi(\delta)\}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – обобщенный вектор состояния системы, компоненты которого являются случайными функциями времени.

Для большой выборки и нормального закона распределения общей оценочной характеристикой измерения являются дисперсия  $D$  и коэффициент вариации  $K_B$ .

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (4)$$

где  $x_i$  – множество возможных значений измерений;  $\bar{x}$  – среднее значение данной совокупности измерений;  $n$  – совокупность измерений.

$$K_B = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad (5)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение  $\sigma = \sqrt{D}$ .

Дисперсия характеризует однородность измерения. Чем выше  $D$ , тем больше разброс измерений.

Коэффициент вариации характеризует изменчивость. Чем выше  $K_B$ , тем больше изменчивость измерений относительно средних значений.  $K_B$  оценивает также разброс при оценке нескольких выборок.

Доверительным называется интервал значений  $x_i$ , в который попадает истинное значение  $x_d$  измеряемой величины с заданной вероятностью. Доверительной вероятностью (достоверностью) измерения будем называть вероятность  $P_d$  того, что истинное значение  $x_d$  измеряемой величины попадает в данный доверительный интервал [5, 6].

Эта величина определяется в долях единицы или в процентах.

Доверительная вероятность  $P_d$  описывается выражением

$$P_d = P(a < m(x) < B) = \frac{1}{2} \left( \Phi\left(\frac{B - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - \bar{x}}{\sigma}\right) \right), \quad (6)$$

где  $\Phi(t)$  – функция Лапласа, аргументом которой является отношение  $\mu$  к среднеквадратичному  $\sigma$ , то есть

$$t = \frac{\mu}{\sigma}, \quad (7)$$

где  $\mu = B - \bar{x}$ ;  $\mu = -(a - \bar{x})$ ;  $t$  – гарантийный коэффициент,  $a$  и  $B$  – границы доверительного интервала.

Интегральная функция Лапласа  $\Phi(t)$  рассчитывается по формуле:  $\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ . Численные значения  $\Phi(t)$  приведены в таблице [7].

Одной из первоочередных задач при статистических методах оценки является установление минимального, но достаточного для данных условий числа измерений. Задача сводится к установлению минимального объема выборки (числа измерений)  $N_{\min}$  при заданных значениях доверительного интервала  $2\mu$  и доверительной вероятности. При выполнении измерений необходимо знать их точность  $\beta$ , которую обычно характеризуют  $\sigma_0$  – среднееарифметическое значение среднеквадратичного отклонения  $\sigma$ :

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \beta = \frac{\sigma_0}{\sqrt{x}}. \quad (8)$$

В исследованиях часто по заданной точности  $\beta$  и доверительной вероятности измерения определяют минимальное количество измерений, гарантирующих требуемые значения  $\beta$  и  $\Phi(t)$ .

Так как  $P_D = \Phi(\frac{\mu}{\sigma})$ , то по таблице [3] обратным интерполированием можно определить половину доверительного интервала:

$$\mu = \sigma_{\arg} \Phi(P_D) = \sigma t, \quad (9)$$

где  $\arg \Phi(P_D)$  – аргумент функции Лапласа.

С учетом (8) запишем

$$\mu = \sigma_{\arg} \Phi(P_D) = \frac{\sigma_0}{\sqrt{nt}}. \quad (10)$$

Отсюда, полагая  $N_{\min} = n$ , имеем

$$N_{\min} = \frac{\sigma^2 t^2}{\sigma_0^2} = \frac{K_B^2 t^2}{\beta^2}, \quad (11)$$

где  $K_B$  – коэффициент вариации (изменчивости), %;  $\beta$  – точность измерений, %.

Рассмотрим пример, который схематично представлен на приведенном рисунке.

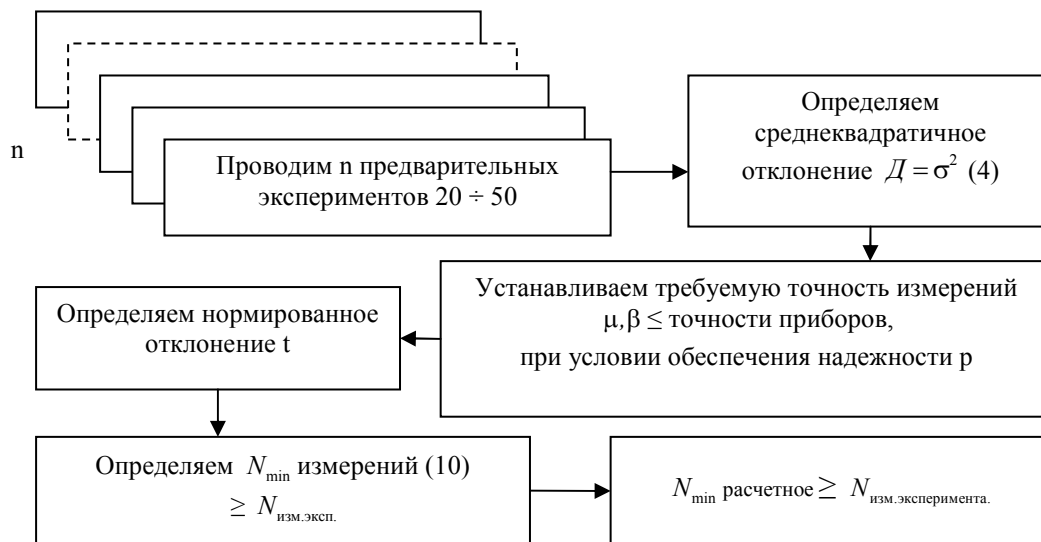


Схема вычисления минимального числа измерений при проведении эксперимента

Для вычисления  $N_{\min}$  рекомендуется следующая последовательность:

1. Проводится предварительный эксперимент с количеством измерений  $n$ , которое составляет в зависимости от замысла опыта от 20 до 50.
2. Определяется среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  (4).

3. В соответствии с поставленными задачами эксперимента устанавливается требуемая точность измерений  $\mu, \beta$ , которая должна быть не менее точности приборов.

4. Определяется нормированное отклонение  $t$ , при условии обеспечения надежности  $p$ , значение которого задают и оно зависит от точно-

сти метода. Например, при большой точности измерений можно принять  $t = 3,0$  при малой –  $t = 2,0$ . Так, измеряя влажность воздуха в помещении (кабинете), можно принять  $t = 2$ , прочность, плотность, размеры изделия –  $t = 2,5 \div 3,0$ .

5. Из (10) определяем  $N_{\min}$ . В дальнейшем, в процессе эксперимента, число измерений не должно быть меньше  $N_{\min}$ .

### Выводы

Изложенный метод позволяет определить точность и надежность измерений характеристик испытываемых систем. Практическая значимость данного метода заключается в возможности определения минимального количества измерений, гарантирующего требуемую точность и надежность измерений, а эффективность приведенного метода – в достоверности полученных результатов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суппес, П. Основы теории измерений / П. Суппес, Д. Зинес. В сб.: Психологические измерения. – М.: Мир, 1967. – С. 9–110.

2. Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безопасности сложных технических систем : учеб. / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. – М.: Логос, 2001. – 208 с.

3. 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.

4. Закс, Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. – М.: Мир, 1975. – 776 с.

5. Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

6. Федоров, В. В. Теория оптимального эксперимента / В. В. Федоров. – М.: Наука, 1971. – 312 с.

7. Венцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Венцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

8. Баштанник, Н. А. Оптимизация путей обмена информацией между элементами АСУ сетевым методом / Н. А. Баштанник, В. И. Лобейко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. № 6(66). С. 48–51.

9. Лобейко, В. И. Современные подходы к организации испытаний сложных систем / В. И. Лобейко. – Астрахань : Астраханский университет, 2006. – 332 с.

10. Арканов, А. В. Метод оценки показателей качества испытываемых сложных технических систем с использованием априорной информации / А. В. Арканов, В. И. Лобейко, А. В. Старусев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 2. – С. 39–43.

УДК 623.488

*А. В. Старусев, В. И. Лобейко, С. А. Горемыкин*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Астраханский государственный университет

starusev-av@yandex.ru

В статье предлагается метод, позволяющий повысить качество и сократить сроки подготовки и проведения всех видов испытаний опытных образцов сложных технических систем, сократить материально-технические затраты и, как следствие, – финансовые затраты за счет совершенствования технологии подготовки и проведения имитационных экспериментов.

**Ключевые слова:** моделирующая установка, сложная техническая система, имитационное моделирование, комплексная модель, технология проведения испытаний.

*A. V. Starusev, V. I. Lobeyko, S. A. Goremykin*

## OPTIMIZATION OF TECHNOLOGY OF PREPARATION AND CARRYING OUT OF EXPERIMENTS WITH USE OF IMITATING MODELLING

The Astrakhan State University

In clause the method is offered, allowing to raise quality and to reduce terms of preparation and carrying out of all kinds of tests of pre-production models of complex technical systems, to reduce material expenses and as consequence – to reduce financial expenses due to perfection of technology of preparation and carrying out of imitating experiments.

**Keywords:** modeling installation, complex technical system, imitating modelling, complex model, technology of carrying out of tests.

### Введение

Основой опытно-теоретического метода проведения испытаний сложных технических сис-

тем является применение технических средств, использующее имитационное моделирование. С этой целью организуются и проводятся ими-

тационные эксперименты, которые должны соответствовать техническому заданию. Данные технические задания разрабатывается для каждой сложной технической системы, проходящей испытания.

Идеи оптимизации испытаний и оптимального управления за последние годы проникли во многие области научных исследований,

в различные сферы управления технологическими процессами [1, 2, 3, 6, 7].

#### Постановка задачи

Рассмотрим общий случай технологического цикла испытаний сложной технической системы с применением средств имитационного моделирования [4] (рис. 1).

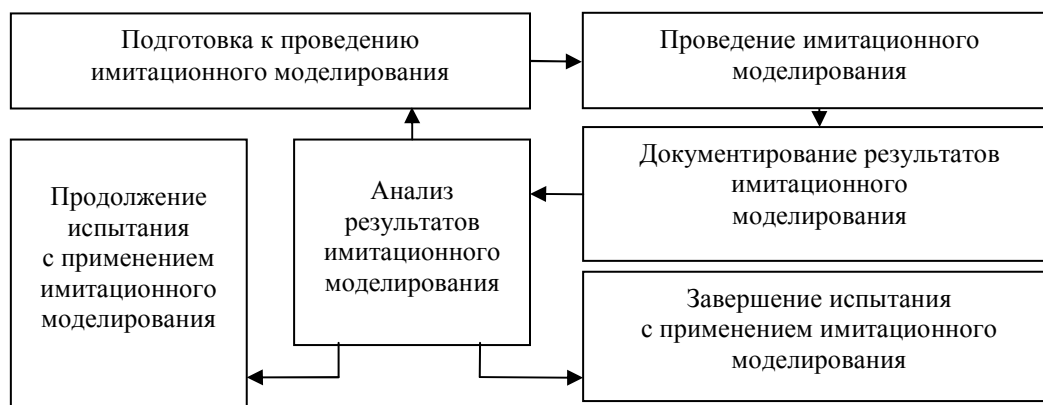


Рис. 1. Технологический цикл испытаний сложной технической системы с применением средств полунатурного моделирования

Сокращение сроков, повышение качества подготовки и проведения испытаний опытных образцов сложных технических систем с использованием средств моделирования возможно при сокращении сроков проведения отдельных этапов работ за счет совершенствования технологии их проведения, а также поиска новых возможностей применения средств моделирования при проведении испытаний.

На этапе подготовки к проведению имитационного эксперимента осуществляется подготовка и настройка средств моделирования.

Если проанализировать содержание и перечень задач, которые решаются на этапах проведения имитационных экспериментов и документирования результатов имитационных экспериментов, становится очевидным, что временные рамки, отведенные на их проведение, фактически определяются временем работы технических средств моделирующей установки и практически не зависят от технологии их проведения.

Нельзя не согласиться с тем, что наиболее трудоемким является этап подготовки к проведению имитационного моделирования [5]. Это вызвано тем, что логическая последовательность применения моделирующей установки при испытаниях образцов технических систем, определяемая методиками испытаний и включающая в себя следующие этапы: проверка тех-

нического и логического сопряжения технических систем - функциональные проверки, испытание технических систем на надежность, а также оценка эксплуатационных характеристик. Использование моделирующей установки на каждом из этапов имеет свои особенности, что неминуемо приводит к дополнительной проработке замыслов имитационных экспериментов на каждом из этапов, подготовке и настройке средств моделирования на конкретные условия проводимых имитационных экспериментов.

Следует отметить, что подготовка к проведению имитационного моделирования является наиболее ответственным этапом. Ошибки, допущенные на этом этапе, могут привести к снижению достоверности результатов проводимых испытаний. Поиск и устранение ошибок требует значительных временных затрат, что приводит к затягиванию или срыву проведения испытаний.

Заметим, что ряд мероприятий на этапе подготовки к проведению имитационных экспериментов носят общий характер и, как правило, проводятся один раз. Поэтому имеет смысл выделить их в самостоятельный подэтап и проводить не в масштабах подготовки к проведению конкретного имитационного эксперимента, а в масштабах подготовки к испытаниям образца технического средства в целом, до начала проведения испытаний.

### Метод решения

Необходимо заметить, что задачи, решаемые в каждом конкретном имитационном эксперименте, на разных этапах испытаний образца технических средств могут быть решены с использованием одного и того же состава моделирующих средств (перечня имитационных моделей). Это позволяет сгруппировать отдельные имитационные эксперименты в серии экспериментов. Каждой серии имитационных экспериментов будет соответствовать свой вариант комплексной модели. Также предлагается этап подготовки к проведению имитацион-

ного эксперимента разбить на три самостоятельных подэтапа: заблаговременная подготовка моделирующей установки к проведению испытаний образца технических средств; заблаговременная подготовка моделирующей установки к проведению имитационного эксперимента; непосредственная подготовка моделирующей установки к проведению имитационного эксперимента.

Оптимизированный технологический цикл испытаний технических средств с применением средств имитационного моделирования представлен на рис. 2.

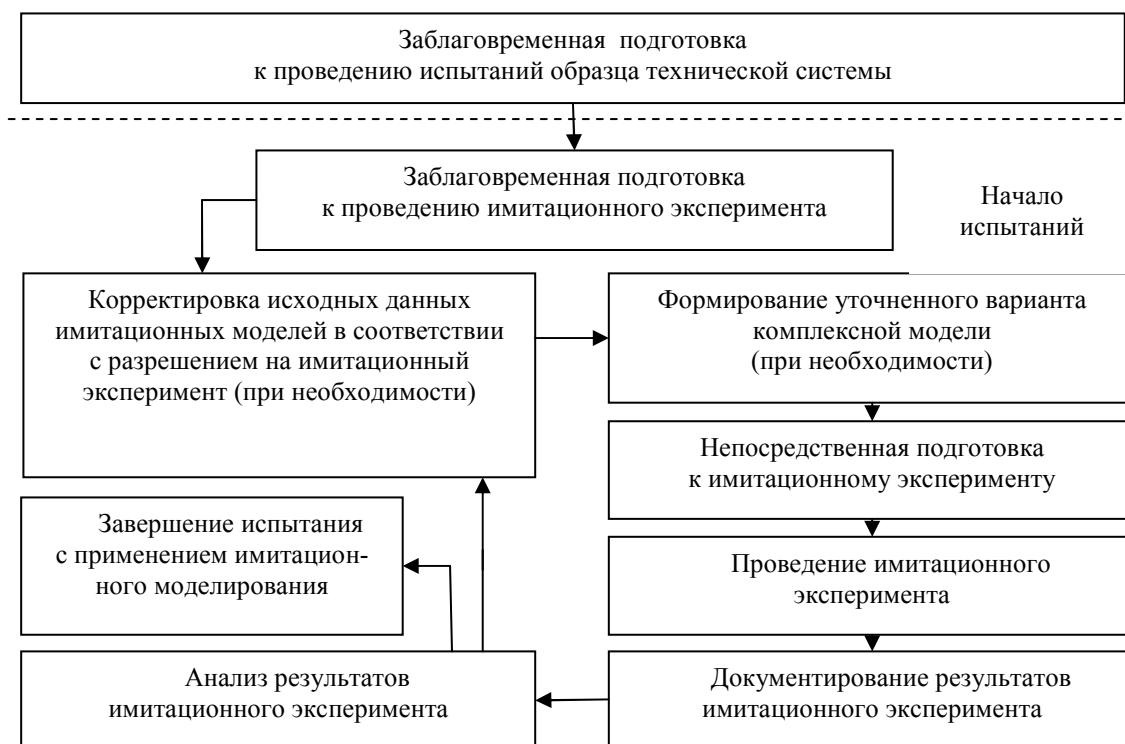


Рис. 2. Усовершенствованный технологический цикл испытаний технических систем с применением средств имитационного моделирования

Проведенные испытания технических средств с применением средств моделирования позволили накопить определенные статистические данные о трудоемкости на каждом из этапов технологического цикла испытаний. В качестве примера эти данные приведены в табл. 1.

Необходимо отметить, что этот статистический материал соответствует технологическому циклу испытаний технического средства с применением средств имитационного моделирования, приведенному на рис. 1. При этом время, необходимое на подготовку к проведению имитационного эксперимента, рассчитывается по формуле:

$$t_{ИЭ} = t_{ПИ} + n_{ИЭ}(t_{ФКМ} + t_{ОИЭ}), \quad (1)$$

где  $t_{ИЭ}$  – время, затраченное на подготовку к проведению экспериментов;  $t_{ПИ}$  – время, затраченное на подготовку к проведению испытаний (100 ч/час);  $n_{ИЭ}$  – общее количество проведенных имитационных экспериментов (60);  $t_{ФКМ}$  – время, затраченное на формирование одной комплексной модели (5,1 ч/час);  $t_{ОИЭ}$  – время, затраченное на непосредственную подготовку к одному имитационному эксперименту (3,5 ч/час).

Таблица 1

## Трудозатраты при испытаниях одного технического средства с применением средств имитационного моделирования

| № п/п                                       | Этапы технологического цикла                            | Трудозатраты (человеко-час) |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1                                           | Подготовка к проведению имитационного эксперимента      | 616                         |
| 2                                           | Проведение имитационного эксперимента                   | 210                         |
| 3                                           | Документирование результатов имитационного эксперимента | 180                         |
| 4                                           | Анализ результатов имитационного эксперимента           | 120                         |
| Общие трудозатраты при проведении испытаний |                                                         | 1126                        |

Примечание: при расчете статистических данных средним количеством проводимых имитационных экспериментов при испытаниях одного технического средства принято – 60, в составе испытательного расчета принято – 7 человек, разработка новых имитационных моделей не понадобилась.

При использовании технологического цикла, приведенного на рис. 2, расчет времени, необходимого на подготовку к проведению имитационного эксперимента, будет рассчитываться по формуле:

$$t_{ИЭ} = t_{ПИ} + m_{KM} t_{ФKM} + n_{ИЭ} t_{ОИЭ}, \quad (2)$$

где  $t_{ИЭ}$  – время, затраченное на подготовку к проведению экспериментов;  $t_{ПИ}$  – время, затраченное на подготовку к проведению испытаний (100 ч/час);  $m_{KM}$  – количество вариантов

комплексных моделей (6);  $n_{ИЭ}$  – общее количество проведенных имитационных экспериментов (60);  $t_{ФKM}$  – время, затраченное на формирование одной комплексной модели (5,1 ч/час);  $t_{ОИЭ}$  – время, затраченное на непосредственную подготовку к одному имитационному эксперименту (3,5 ч/час).

В этом случае статистические данные о трудоемкости на каждом из этапов технологического цикла испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Трудозатраты при испытаниях одного технического средства с применением средств полунатурного моделирования по усовершенствованной технологии проведения полунатурного эксперимента

| № п/п                                       | Этапы технологического цикла                                                                                    | Трудозатраты (человеко-час) |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1                                           | Заблаговременная подготовка к проведению испытаний образца технической системы (до начала проведения испытаний) | 100                         |
|                                             | Заблаговременная подготовка к проведению имитационного эксперимента                                             | 30,6                        |
|                                             | Непосредственная подготовка к имитационному эксперименту                                                        | 210                         |
| 2                                           | Проведение имитационного эксперимента                                                                           | 210                         |
| 3                                           | Документирование результатов имитационного эксперимента                                                         | 180                         |
| 4                                           | Анализ результатов имитационного эксперимента                                                                   | 120                         |
| Общие трудозатраты при проведении испытаний |                                                                                                                 | 750,6                       |

Примечание: при расчете статистических данных средним количеством проводимых имитационных экспериментов при испытаниях одного технического средства принято – 60, в составе испытательного расчета принято – 7 человек, разработка новых имитационных моделей не понадобилась.

Из табл. 2 видно, что при том же количестве проводимых имитационных экспериментов и составе испытательного расчета общие трудозатраты на проведение испытаний значительно сокращены. Причиной этому послужило проведение заблаговременной подготовки к проведению испытаний образца технической системы до начала

проведения испытаний и уменьшение количества формируемых комплексных моделей. За счет высвободившегося временного ресурса появляется возможность проведения дополнительных имитационных экспериментов, что может положительно сказаться на качестве проводимых испытаний, или же сократить время их проведения.

Рассмотрим новые возможности применения средств моделирования при проведении испытаний, тем самым повысим качество и сократим сроки подготовки и проведения всех видов испытаний опытных образцов технических систем с использованием средств моделирования.

Можно констатировать, что одним из вариантов расширения применения средств моделирования при проведении испытаний опытных образцов технических систем является модельное дополнение натурального эксперимента.

В связи с этим следует отметить, что в этом случае появляется возможность сократить общее количество экспериментов при проведении испытаний образцов технических систем. Это достигается за счет совмещения натуральных и имитационных экспериментов. А также появляется возможность повысить качество проведения натуральных экспериментов путем расширения состава группировки имитационных моделей, создания широкого спектра условий проведения эксперимента.

Для этого необходимо организовать взаимодействие моделирующей установки с пунктом управления системы объективного контроля. Данные о работе реальных объектов, регистрируемые в эксперименте с помощью пункта управления системы объективного контроля, поступают на моделирующую установку и добавляются в состав обстановки при испытании, которая в свою очередь стандартным способом передается на испытываемый образец технической системы. Такой эксперимент будем называть комплексным.

Следует отметить, что технология проведения комплексного эксперимента имеет свои особенности. Прежде всего, обеспечивается синхронная работа моделирующей установки и пункта управления системы объективного контроля. Эта проблема решается путем привязки относительного времени моделирующей установки к московскому времени.

Кроме того, при подготовке к проведению разрабатывается ряд документов. В режиме модельного дополнения разрабатывается единое техническое задание на проведение комплексного эксперимента. Замысел комплексного эксперимента объединяет цели и задачи натурального и имитационного эксперимента. Эти документы разрабатываются научным подразделением, ответственным за проведение испытаний образца технических систем. Основой для приме-

нения моделирующей установки в режиме модельного дополнения является частное техническое задание на организацию и проведение имитационного моделирования в комплексном эксперименте. Его использование аналогично обычному техническому заданию на проведение имитационного эксперимента.

### Выводы

1. Сокращение сроков, повышение качества подготовки и проведения испытаний опытных образцов сложных технических систем с использованием средств моделирования возможно при сокращении сроков проведения отдельных этапов работ за счет совершенствования технологии их проведения, а также поиска новых возможностей применения средств моделирования при проведении испытаний.

2. С помощью предложенной усовершенствованной технологии проведения имитационного эксперимента и проведения при испытаниях комплексных экспериментов можно существенно повысить качество и сократить сроки подготовки и проведения всех видов испытаний опытных образцов сложных технических систем, а также сократить материально-технические и финансовые затраты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Табак, Д. Оптимальное управление и математическое программирование / Д. Табак, Б. Куо. – М.: Наука, 1975. – 280 с.
2. Балыбердин, В. А. Проблемные вопросы создания и внедрения новых информационных технологий в автоматизированных системах военного назначения / В. А. Балыбердин, О. В. Пенкин, А. И. Полуни. – М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2001. – 146 с.
3. Баштанник, Н. А. Оптимизация путей обмена информацией между элементами АСУ сетевым методом / Н. А. Баштанник, В. И. Лобейко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. № 6(66). С. 48–51.
4. Павловский, Ю. Н. Имитационное моделирование / Ю. Н. Павловский, Н. В. Белотелов, Ю. В. Бродский. – М.: Академия, 2008.
5. Михолап, Л. А. Метод оценки степени соответствия имитационной модели ее целевому назначению с помощью функциональных критериев / Л. А. Михолап, А. В. Старусев, В. И. Лобейко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 3(182). С. 17–21.
6. Коробкин, Д. М. Поиск описаний физических эффектов в патентном массиве / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. В. Давыдова // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 5 (143). С. 3–11.
7. Лобейко, В. И. Современные подходы к организации испытаний сложных систем / В. И. Лобейко. – Астрахань : Астраханский университет. – 332 с.

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.9+681.51

*Ю. М. Брумштейн, В. Ю. Гайфитдинова*

### ГОРОДСКАЯ СРЕДА: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

Астраханский государственный университет  
brum2003@mail.ru

Городская среда (ГС) является сложной системой, в рамках которой взаимодействуют друг с другом различные классы объектов. Рассмотрены номенклатура и особенности угроз безопасности для объектов следующих классов: элементов городской инфраструктуры; физических лиц; юридических лиц. Обосновано, что с развитием информационно-телекоммуникационных технологий для перечисленных выше классов объектов расширяются возможности мониторинга ГС в отношении большинства видов угроз их безопасности. Однако одновременно может возрастать уязвимость этих объектов к различным видам угроз, связанным с нарушением их информационной безопасности.

Проанализирована роль органов государственного и муниципального управления, проектных и некоторых иных типов организаций в отношении обеспечения безопасности ГС. Предложена иерархическая классификация «неодушевленных» объектов ГС на восемь уровней. Для объектов на каждом из уровней рассмотрены важнейшие виды рисков, включая относящиеся к сфере информационной безопасности.

Результаты системного анализа в отношении номенклатуры угроз и объектов, на которые направлены эти угрозы, могут послужить основой для построения различных видов моделей, связанных с оценками уровней безопасности ГС и решением иных задач. В свою очередь такие модели позволят оптимизировать решения, связанные с поддержкой и улучшением уровней защищенности различных объектов; распределением финансовых и иных видов ресурсов для согласованного управления этими уровнями.

*Ключевые слова:* городская среда, информационно-телекоммуникационные технологии, источники рисков, инфраструктура города, физические лица, юридические лица, направленность угроз, иерархия объектов, информационная безопасность.

*Ju. M. Brumshteyn, V. Ju. Gayfitdinova*

### URBAN ENVIRONMENT: THE SYSTEM ANALYSIS OF THREATS TO SECURITY OF NATURAL PERSONS AND LEGAL ENTITIES

Astrakhan State University

The Urban Environment (UE) is complex system. Within it interact with each other various classes of objects. In this article is considered the nomenclature and features of threats to security for objects of the following classes: elements of city infrastructure; natural persons; legal entities. It is proved that with development of information and telecommunication technologies for the classes of objects, listed above, are extended possibilities of UE monitoring for the majority of threats safety types. However at the same time can increase vulnerability of these objects to the different types of threats, connected with violation of their information security.

Authors are analyzed the role of public and municipal administration bodies, design and some other organizations types, connected with providing UE safety. Hierarchical classification of "inanimate" objects of UE by eight levels is offered. For objects on each of levels, are considered the most important types of risks, including belonging to the sphere of information security.

Results of the system analysis for the nomenclature of threats and objects, to which these threats are directed, can form a basis for creation of different types of the models, connected with estimates of UE levels and solution of other tasks. In turn, such models will allow to optimize the decisions, connected with security levels support and improvement for various objects; distribution of financial and other types of resources for these levels coordinated management.

*Keywords:* urban environment, information and telecommunication technologies, sources of risks, city infrastructure, physical persons, legal entities, threats orientation, objects hierarchy, information security.

#### Введение

Современные города это сложные социотехнические системы. В городах, обычно, проживает

большая часть населения стран. Поэтому весьма актуальны вопросы управления комфортностью и безопасностью городской среды

(ГС) для жизнедеятельности граждан, работы организаций. Есть много публикаций, связанных с вопросами реализации концепций типа «Безопасный город» (например, [1, 5, 6, 7, 8, 13, 19, 20]); использованию в рамках этих концепций информационно-телекоммуникационных технологий (ИТКТ) [19]; обеспечению безопасности в рамках «умного» города [14]. Однако вопросы системного анализа безопасности ГС с позиций различных юридических лиц (ЮЛ) и физических лиц (ФЛ) в существующих публикациях отражены слабо. Это касается, в частности, и вопросов информационной безопасности (ИБ). Целью данной статьи является попытка устранить указанный недостаток путем анализа совокупности «угроз безопасности» и объектов в ГС, на которые эти угрозы влияют. В свою очередь это позволит обеспечить основу для построения различных моделей, связанных с оценками и согласованным управлением «уровнями безопасности» объектов, взаимодействующих друг с другом в рамках ГС.

#### Основные факторы, влияющие на безопасность ГС

Эти факторы можно разделить на две группы – действующие вне территорий городов и непосредственно внутри этих территорий.

Совокупность групп факторов, влияющих на безопасность ГС, в виде теоретико-множественной модели (ТММ) представим как

$$G = \langle G_1, G_2, G_3 \rangle, \quad (1)$$

где  $G_1$  – группа факторов природного характера;  $G_2$  – техногенного;  $G_3$  – антропогенного, включая криминальные и террористические угрозы.

Отметим особенности городов России, важные с позиций анализа безопасности ГС. (1) Рост плотности застройки ГС зданиями/сооружениями увеличивает вероятности распространения пожаров; утечек информации по визуальному, акустическому и электромагнитному (ЭМ) каналам. (2) Повышение этажности жилых зданий потенциально увеличивает для ФЛ риски, связанные с возможностями взрывов бытового газа, воздействия возгораний в соседних квартирах, «отрезания» путей эвакуации при пожарах; «застревания» лифтов – в том числе при отключениях электроэнергии. (3) Из-за дефицита городских площадей здания/сооружения нередко вынужденно проектируются и строятся на участках неудобных и/или опасных в инженерно-геологическом и/или инже-

нерно-гидрогеологическом отношении [12]. При неадекватных проектных решениях это увеличивает риски эксплуатации зданий – в том числе их деформаций, обрушений. (4) Повышение уровней грунтовых вод (УГВ) на территориях городов по следующим причинам: утечек жидкости из водонесущих коммуникаций; чрезмерных поливах зеленых насаждений; барражных эффектов от подземных частей зданий/сооружений. Подъем УГВ может приводить к подтоплению зданий, повреждению инженерных сетей и пр. (5) Значительная насыщенность ГС инженерными коммуникациями – надземными и подземными. Для них возможны различные виды аварий из-за внутренних причин и воздействия внешних факторов. (6) Увеличение нагрузки на транспортные системы городов, при достаточно ограниченных возможностях увеличения пропускной способности транспортных магистралей (ТМ) в условиях существующей городской застройки. (7) Растущая информатизация «ГС в целом», инженерных сетей, ТМ, организаций, семей и отдельных граждан потенциально снижает уровни их ИБ – особенно при интенсивном использовании интернет-ресурсов. (8) Перенасыщенность городской среды информацией приводит к информационным перегрузкам ФЛ и ЮЛ. При этом риск «пропуска» ими важной информации можно отнести к сфере ИБ. (9) Высокий уровень концентрации населения, в т.ч. общественном транспорте, торговых центрах/магазинах, образовательных организациях, на улицах и пр. увеличивает риски распространения заразных заболеваний; может увеличивать криминальные риски при большой дифференциации доходов населения городов. (10) Значительный уровень воздействия ЭМ полей от различных радиоэлектронных средств, в т.ч. от смартфонов непосредственно на мозг людей. (11) Специалисты для городского хозяйства, здравоохранения, экологии, а также по ИБ [3] готовятся, в основном, в пределах регионов расположения городов.

В отношении степени «управляемости» факторы, влияющие на безопасность ГС, представим в виде ТММ как

$$F = \langle F_N, F_P, F_U \rangle, \quad (2)$$

где  $F_N$  – неуправляемые факторы;  $F_P$  – частично управляемые;  $F_U$  – полностью управляемые (однако границы между этими группами нечеткие). Например, выпадением дождей на территории города управлять практически

нельзя. Однако последствиями дождей управлять можно – путем создания/эксплуатации ливневой канализации.

#### **Категории объектов, на которые могут быть направлены угрозы**

Совокупность категорий объектов на территории города, на которые могут воздействовать угрозы, в виде ТММ представим как

$$S = \langle S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7 \rangle, \quad (3)$$

где  $S_1$  – материальные (вещественные) объекты, включая всю инфраструктуру ГС, инженерные сети, оборудование зданий/сооружений, автомобили, бытовую технику;  $S_2$  – экологическая обстановка на территории города;  $S_3$  – санитарно-гигиеническая обстановка;  $S_4$  – «информационная среда» города, воспринимаемая ФЛ и ЮЛ;  $S_5$  – организации различных типов, т. е. ЮЛ;  $S_6$  – семьи;  $S_7$  – отдельные ФЛ.

Выделение «семей» как отдельной категории связано с тем, что они являются «групповыми потребителями» некоторых видов ресурсов; занимают квартиры, коттеджи (и, следовательно, подвержены угрозам для этих объектов) и пр. С развитием ИТКТ «информационная среда» города становится все более перенасыщенной информацией и, одновременно, уязвимой для различных «информационных вбросов»; распространения (спонтанного и преднамеренного) недостоверной или тенденциозной информации.

Ниже мы будем различать «первичные» угрозы и «вторичные», т.е. возникающие в результате реализации первичных угроз для других категорий объектов. Например, пусть молния ударила в трансформаторную подстанцию – это угроза природного характера, т. е.  $G_1$  по (1). Допустим, что возник пожар и электроподстанция вышла из строя – в результате был нанесен ущерб объекту инфраструктуры города. Кроме того, ущерб был нанесен и ЮЛ – владельцу этой подстанции. Из-за прекращения подачи электроэнергии ущерб может быть нанесен и организациям (ЮЛ), семьям, отдельным ФЛ, получающим электроэнергию от этой подстанции.

#### **Характеристика направленности угроз**

Рассматриваемые далее виды (типы) угроз могут быть направлены как на одну категорию объектов, так и на несколько.

Опасные природные явления ( $G_1$ ), в том числе ливневые и «ледяные» дожди, сильные снегопады, экстремально высокие паводки на реках, ураганы и пр. могут непосредственно влиять на объекты категорий  $S_1, S_2, S_3, S_5, S_6, S_7$ . Оперативная и прогнозная информация о таких явлениях и их последствиях для ГС, ЮЛ, ФЛ значительно влияет и на  $S_4$ .

Пожары, оползни, провалы грунта на ТМ, просадки грунта и пр. на территории ГС относятся к техногенным угрозам ( $G_2$ ) и могут непосредственно влиять в основном на объекты категории  $S_1$ . Однако крупные пожары в ГС влияют также на  $S_2$  и  $S_3$ , а также и на  $S_4$ .

Полное или частичное разрушение зданий/сооружений, инженерных сетей, ТМ и пр. в процессе их эксплуатации или строительства ( $G_2$ ) – непосредственно влияет на  $S_1$ . Угрозы этой категории могут приводить к потерям материальных активов организаций в виде зданий/сооружений. Как следствие, «вторичное влияние» будет оказываться на  $S_5, S_6, S_7$ , а также и на  $S_4$  – в т.ч. за счет размещения негативной информации в «лентах новостей» на интернет-сайтах.

Особо отметим уязвимость ФЛ и организаций к перерывам в поставках ресурсов со стороны коммунальных служб; к снижению «качества» этих ресурсов (это угрозы преимущественно типа  $G_2$ ). В случае, например, питьевой воды ущерб возможен, в основном, для объектов типов  $S_3, S_6, S_7$ . При перебоях с подачей электроэнергии, скачках ее напряжения ущербы возможны для объектов типов  $S_1, S_5, S_6, S_7$  и др.

Выход из строя различной техники (включая промышленное оборудование, медицинское, образовательного назначения, ПЭВМ, автомобили и пр.) может происходить как по внутренним или внешним техническим причинам ( $G_2$ ), так и из-за ошибок людей ( $G_3$ ). При этом ущерб может наноситься различным категориям объектов:  $S_1, S_5, S_6, S_7$ . В случае аварий на некоторых типах промышленных предприятий возможен ущерб для объектов категорий  $S_2$ , а для коммунальных служб – и для  $S_3$ .

Частичная утрата функциональности строительных объектов из-за повреждений в силу атмосферных или сейсмических воздействий

( $G_1$ ), физического износа при эксплуатации ( $G_2$ ), ошибок или нерациональных действий персонала ( $G_3$ ) и прочее – влияет в основном на  $S_1$ .

Моральное устаревание объектов (зданий/сооружений, компьютерной техники, медоборудования, домашних вещей, автомобилей и пр.), делающее нецелесообразной их дальнейшую эксплуатацию ( $G_2$ ) – влияет на  $S_1, S_5, S_6, S_7$ .

Физические нарушения каналов передачи информации, связанной с мониторингом и управлением объектами (МиУО) инфраструктуры ГС ( $G_2$ ) – могут влиять на  $S_1, S_4, S_5$ .

Утечки такой информации ( $G_2$ ) – могут влиять в основном на  $S_4, S_5$ .

Незаконное вмешательство в работу технических средств МиУО инфраструктуры ГС ( $G_2$ ) – могут влиять на  $S_1, S_4, S_5, S_6, S_7$ .

Распространение инфекционных заболеваний на территории ГС ( $G_3$ , с оговорками –  $G_3$ ) влияет на  $S_3, S_4, S_6, S_7$ , а также на  $S_5$  – в силу зависимости деятельности организаций от работоспособности отдельных ФЛ.

Несчастные случаи с ФЛ ( $G_3$  в некоторых случаях и  $G_2$ ) – в том числе бытовые, связанные с использованием общественного и личного транспорта. Они влияют на  $S_5, S_6, S_7$ , а в ряде случаев также и на  $S_4$ .

Криминальные угрозы ( $G_3$ ) могут влиять на  $S_5, S_6, S_7$ . В случае отражения криминальной информации в Интернете, средствах массовой информации влияние оказывается и на  $S_4$ . Это особенно касается «террористических актов» и их потенциальных угроз. Отметим также хакерские атаки на сайты организаций, имеющие высокие уровни посещаемости или общественную значимость [2].

Угрозы, связанные с временной утратой доступности/работоспособности каналов приема/передачи информации ФЛ и ЮЛ ( $G_2$ ) – могут влиять на  $S_4, S_5, S_6, S_7$ , в некоторых случаях – и на  $S_1$  (например, в отношении управления коммунальными системами [9,10,15]).

Угрозы, относящиеся к ИБ организаций ( $G_2$  и  $G_3$ ), включают в себя следующее: возможности утраты «информационных активов» (архивов); несанкционированные утечки служебной информации; «взлом» сайтов и почтовых ящиков организаций; внедрение на их ПЭВМ вредоносных программ, которые без ведома

пользователей выполняют команды от хакеров или хакерских программ на удаленных компьютерах. Это влияет на  $S_5$ , в некоторых случаях также на  $S_4$  и  $S_1$ . Потенциально возможные источники таких угроз: воздействие вредоносных программ; преднамеренные действия конкурентов; нерациональный выбор аппаратно-программных средств защиты информации; ошибки персонала самих организаций; недостаточная надежность технических средств и пр. В некоторых случаях могут влиять и нерациональные конструкции зданий [4].

Угрозы, относящиеся к ИБ граждан ( $G_2$  и  $G_3$ ) – в том числе возможности утечек персональных данных; «взлома» личных почтовых ящиков; утраты личных информационных архивов, заражение личных ПЭВМ вредоносными программами, в т.ч. для рассылки спама, организации DDOS-атак и пр.

эти угрозы влияют в основном на  $S_6$  и  $S_7$ . Отметим, что в последние годы в Интернете активно распространяется информация об эксплуатации (использовании) уязвимостей в радиоэлектронных устройствах для сбора персональных данных о ФЛ – не только хакерами, но спецслужбами.

Таким образом, с увеличением уровня информатизации ГС, ФЛ, ЮЛ растет и номенклатура угроз ИБ для этих классов объектов – в том числе в связи с «информационными взаимодействиями» между ними. Как следствие необходима разработка и реализация превентивных мер, уменьшающих вероятности реализации этих угроз и ущерба от их реализации.

#### **Контроль и управление уровнем безопасности ГС**

Непосредственную деятельность, связанную с контролем и управлением безопасностью ГС, осуществляют различные ЮЛ. Для сбора, отображения, анализа информации ими используются различные датчики, системы видеонаблюдения, каналы связи, информационные, информационно-аналитические, геоинформационные и др. системы, которые подвержены угрозам ИБ. При этом АСУ типа «Безопасный город» [5, 7, 8, 17, 19] различных служб, могут решать разные функциональные задачи. Интеграция таких АСУ затрудняется различной ведомственной подчиненностью организаций; разными подходами к получению/хранению/использованию информации; разными правилами ИБ, в том числе и ведомственными; отсутствием

необходимых интерфейсов у применяемых программных средств.

(А) Органы внутренних дел осуществляют мониторинг «криминальных проявлений» и реагируют на них; регулируют дорожное движение с использованием систем управления световой сетью и пр. (Б) Подразделения министерства по делам чрезвычайных ситуаций отслеживают возникновение пожаров, обрушений зданий и пр.; реагируют на них. (В) Органы муниципального управления координируют работу коммунальных служб, других организаций. (Г) Коммунальные службы обеспечивают работу инженерных сетей и внутригородских ТМ, контролируют потребление различных видов ресурсов, ведут работу с гражданами – в т.ч. и через Интернет-сайты и почту. (Д) Службы санитарно-гигиенического и экологического контроля ГС ведут соответствующий контроль, в т.ч. и по разрабатываемым проектам сооружений. (Е) Другие виды ЮЛ и ФЛ также могут передавать информацию, важную для мониторинга параметров ГС.

Для получения оперативной информации перечисленными выше службами используются различные типы датчиков, системы видеонаблюдения и анализа изображений; результаты аэрофото- и спутниковой съемки; текущая гидрометеорологическая информация; иные сведения из Интернета и др. Для про-активного управления дополнительно могут применяться различные прогнозы (в том числе по состоянию окружающей среды, транспортным потокам и пр.); экспертные оценки, статистика за прошлые периоды времени; результаты имитационного моделирования и пр.

Решения в отношении обеспечения уровней безопасности объектов, находящихся в пределах ГС, могут относиться к управлению вероятностями реализации потенциально возможных неблагоприятных событий; к уменьшению вероятных ущербов в случае реализации таких событий. В типичных случаях при принятии указанных решений учитываются «виды информации», соответствующие такому кортежу:

$$M = \langle I, T, P, O_1, O_2, C, G, K \rangle, \quad (4)$$

где  $I$  – информация о предыстории значений параметров для управляемого объекта;  $T$  – информация о «текущих параметрах» ситуации;  $P$  – прогнозная информация, в том числе в отношении динамики параметров, угроз и рисков;  $O_1$  – личный опыт лица, принимающего решение, в отношении результативности реализации

его предыдущих решений;  $O_2$  – доступный опыт других ФЛ и ЮЛ;  $C$  – цели управления характеристиками безопасности ГС в целом и/или ее отдельных объектов;  $G$  – совокупность ограничений, в том числе по располагаемым ресурсам, допустимым рискам, срокам реализации решений и прочее;  $K$  – критерий (критерии) эффективности решений.

#### Особенности рисков для объектов ГС различных уровней

Мы разделим все объекты ГС на 8 иерархических уровней (ИУ).

(1) Внешняя по отношению к городу среда может обуславливать риски для города природного, техногенного характера и антропогенного характера, в т.ч. аварийные выбросы вне города в воздух и воду промпредприятий и объектов топливно-энергетического комплекса; обрывы линий электропередач, газопроводов, кабелей связи; разрушение мостов на ТМ.

(2) Риски деятельности служб общегородского характера могут относиться к следующему. (а) К источникам обеспечения городов ресурсами – например к ТЭЦ. (б) К ТМ городов, включая светофорные системы. (в) К коммунальным сетям/объектам: очистным сооружениям; системам освещения; сетям тепло-, электро-, газоснабжения, канализации. Сюда же мы отнесем системы диспетчеризации коммунальных служб [15,16,18], включая средства получения информации с управляемых объектов [9,10,11]. (г) К другим техническим средствам получения информации и управления объектами общегородского характера, включая системы видеонаблюдения и пр. (д) К каналам связи. (е) К специальным программным средствам, в т.ч. сбора платежей за предоставляемые ресурсы и оказываемые услуги.

(3) Для наземных участков ГС риски связаны с возможностями подъемов УГВ; загрязнением воздушной среды (в т.ч. средствами транспорта), почв, водоемов; уменьшением количества растительности и др.

(4) Для отдельных зданий/сооружений риски их эксплуатации могут быть связаны с ошибками проектирования или выбора места расположения [4]; прекращением подачи энергоресурсов из коммунальных сетей; провалами грунтов из-за суффозионных явлений; просадок грунтов; подъемов УГВ выше проектных отметок; возгораниями; неработоспособностью внутренних инженерных сетей, лифтов и пр.

(5) Источники рисков для квартир и офис-

ных помещений: аварии в инженерных сетях вне и внутри зданий; возможности несанкционированных утечек информации по визуальному, акустическому, ЭМ-каналам; криминальные угрозы; ошибки при эксплуатации газового, электронагревательного, иных видов оборудования и пр.

(6) Для отдельных помещений в зданиях/сооружениях структура рисков близка к таковой для пункта «5». Дополнительно отметим риски, использования кондиционеров с загрязненными фильтрами, что может приводить к бактериальному загрязнению воздуха.

(7) Риски для частей помещений – аналогичны пункту 6.

(8) Риски для домашних вещей, в т.ч. особенно объектов, относящиеся к категории IoT (Internet of Things) велики в силу наличия уязвимостей в операционных системах, потенциальной подверженности их атакам через Интернет, возможным ошибкам при дистанционном доступе к ним пользователей и др.

Также к 8-му уровню мы отнесем и автомобили, которые сейчас в значительной мере компьютеризированы. Непосредственные связи ряда компьютерных систем автомобилей с Интернетом, потенциально делает такие системы достаточно уязвимыми для внешних «атак». Кроме того потенциально возможен несанкционированный сбор/накопление данных о пространственных перемещениях водителей. Отметим, однако, что сейчас бортовые компьютеры автомобилей не имеют непосредственной связи ни с Интернетом, ни с системами управления дорожным движением.

**Выводы.** 1. Предложена классификация факторов, влияющих на уязвимость рассматриваемых в статье элементов инфраструктуры ГС, ФЛ, ЮЛ. 2. Проанализированы категории объектов по пункту «1», на которые могут быть направлены различные виды угроз. 3. Показано, что рост информатизации городов наряду с положительными эффектами значительно увеличивает риски ИБ для ФЛ, ЮЛ, объектов инфраструктуры ГС. 4. Предложена классификация «неодушевленных объектов» ГС с использованием восьми иерархических уровней. Для каждого из них рассмотрен состав объектов, особенности рисков их использования. 5. Представленные в статье результаты системного анализа могут послужить основой для построения различных моделей: «распространения» угроз по цепочкам взаимосвязанных объ-

ектов, перечисленных в пункте «1»; когнитивных моделей «уровней ИБ» для совокупностей объектов по пункту «1»; интегральной» оценки безопасности ГС с позиций различных групп ФЛ и ЮЛ; оптимального распределения «усилий» по управлению уровнями безопасности (в т.ч. ИБ) для совокупности рассматриваемых объектов и др.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокова, О.И., Дунин, В.С., Хохлов, Н.С. К вопросу о внедрении механизмов интеллектуального анализа в информационную среду АПК «Безопасный город» // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2015. № 4 (11). С. 18.
2. Брумитейн, Ю.М., Васьковский, Е.Ю., Горбачева, А.Н. Интернет-сайты органов исполнительной власти в прикаспийских регионах России: анализ номенклатуры, функциональности и востребованности ресурсов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 3. С. 52–68.
3. Брумитейн Ю.М., Гурская Т.Г., Ахмедова Р.Р., Александрович В.П. Подготовка специалистов по информационной безопасности на юге европейской части России: анализ доступности и полноты информации с позиций абитуриентов, вузов, регионов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 6 (185). С. 7–16.
4. Брумитейн, Ю.М., Дюдинов, И.А. Анализ рисков информационной безопасности организаций, связанных с расположением, конструкциями и особенностями эксплуатации зданий // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 148–167.
5. Губанов, Н.Н., Шевченко, И.А. Интеллектуальная комплексная система «Безопасный город» // Вестник СевКавГТИ. 2014. № 17. С. 70–73.
6. Дворянкин, С.В., Жаркой, Р.М., Минаев, В.А. Безопасный город: интеллектуальные технологии // Спецтехника и связь. 2010. № 2–3. С. 23–30.
7. Дунин, В.С., Хохлов, Н.С. Модель угроз информационной безопасности комплексной автоматизированной интеллектуальной системы «Безопасный город» // Вестник Воронежского института МВД России. 2011. № 4. С. 74–79.
8. Дупленко, А.Г. Направления защиты данных в интеллектуальных системах «Умный город» // Техника. Технологии. Инженерия. 2017. № 1(3). С. 11–14.
9. Камаев, В.А., Финогеев, А.Г., Нефедова, И.С., Финогеев, Е.А. Инструментальные средства «облачного» мониторинга распределенных инженерных сетей // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25(152). С. 164–176.
10. Камаев, В.А., Финогеев, Е.А., Финогеев, А.Г., Нефедова, И.С., Финогеев, А.А. Конвергентная модель сбора и распределенной обработки данных в системах энергетического мониторинга // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 3. С. 58–75.
11. Камаев, В.А., Куанг Винь Тхай, Финогеев, А.Г., Нефедова, И.С., Финогеев, А.А., Ботвинкин, П.В. Схемы управления ключами с использованием кадров маршрутной информации в беспроводных сенсорных сетях SCADA систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. № 3. С. 197–215.

12. Кираковский, В.В., Пылькин, А.Н., Фаддеев, А.О. Анализ возможностей применения нейро-нечетких технологий при разработке проектов застройки территорий в условиях неполноты исходных данных // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань. – 2015. – № 1. – С. 74–86.
13. Лисин, И.Н. Безопасный город – современный подход к системе управления рисками // Алтайский вестник государственной и муниципальной службы. 2015. № 12. С. 2–4.
14. Мингалева, Ж.А. Применение концепции «умных» городов для решения проблем урбанистики // Инновационное развитие экономики: тенденции и перспективы. 2015. Т. 1. С. 87–94.
15. Мкртчян, В.С., Финогеев, А.Г., Финогеев, Е.А., Губанов, Н.Н. Облачный мониторинг сети инженерных коммуникаций системы городского теплоснабжения в скользящем режиме // Отходы и ресурсы. 2016. Т. 3. № 1. С. 3.
16. Парыгин, Д.С., Финогеев, А.Г., Ольшевский, Р.В. Метод регистрации событий в сложных территориально-распределенных городских системах // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 11(190). С. 55–60.
17. Санжапов, Б.Х., Сеницын, А.А., Рашевский, Н.М. Представление результатов мониторинга атмосферного воздуха в системе поддержки принятия решений при обеспечении экологической безопасности города // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 6(185). С. 7–16.
18. Финогеев, А.Г., Нефедова, И.С., Финогеев, Е.А., Куанг Винь Тхай, Камаев, В.А., Шевченко, С.В., Финогеев, А.А. Анализ данных в системе диспетчеризации городского теплоснабжения // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. № 2. С. 182–196.
19. Шнепс-Шнеппе, М.А., Намиот, Д.Е., Селезнев, С.П., Курприяновский В.П. К системному проектированию системы 112 и комплекса «безопасный город» // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 9. С. 44–63.
20. Шнепс-Шнеппе, М.А., Селезнев, С.П., Намиот, Д.Е., Курприяновский, В.П. О телекоммуникационной инфраструктуре комплекса «Безопасный город» // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 6. С. 17–31.

УДК 004.89

**И. И. Вайнгольц, С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин**  
**НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ**  
**ЭФФЕКТИВНОГО ПОИСКА ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ\***

**Волгоградский государственный технический университет**  
 iIyavayngolts@gmail.com, saf@vstu.ru, dkorobkin80@mail.ru

Статья посвящена проблеме составления информационно-поисковых тезаурусов для обеспечения эффективного поиска в базах данных физических эффектов и в электронных первоисточниках информации. Предложены основные подходы к решению данной проблемы, в том числе схема алгоритма автоматизированного составления тезауруса и структура лингвистического процессора. Высказана идея об использовании Международной патентной классификации в качестве основы для будущих информационно-поисковых тезаурусов.

**Ключевые слова:** физический эффект, автоматизированные методы поиска, база данных, информационно-поисковые тезаурусы, дескрипторный поиск, интеллектуальный поиск.

**I. I. Vayngolts, S. A. Fomenkov, D. M. Korobkin**  
**SOME APPROACHES TO SOLVE THE PROBLEM**  
**OF EFFICIENT SEARCH OF PHYSICAL EFFECTS**

**Volgograd State Technical University**

The paper is devoted to the problem of compiling information retrieval thesauri for providing effective search in databases of physical effects and in electronic primary sources of information. The main approaches to solving this problem are proposed, including a scheme of the algorithm for automated thesaurus compilation and the structure of a linguistic processor. The idea of using the International Patent Classification as a basis for future information retrieval thesauri is suggested.

**Keywords:** physical effect, automated search methods, database, information retrieval thesauri, description search, intelligent search.

Как известно, структурированные физические знания представляют большой интерес для ученых, инженеров и изобретателей. С их помощью можно строить, проверять и прогнозировать теоретические и экспериментальные зависимости; разрабатывать новые технологии

и улучшать прототипы изделий. Также физические знания используются при обучении методам технического творчества.

В результате многолетних исследований, проводимых на кафедре САПР и ПК Волгоградского государственного технического уни-

верситета, был создан фонд физических эффектов (ФЭ), содержащий более 1200 эффектов. Он представляет собой специализированную базу данных, в которой физические знания структурированы для дальнейшего использования [1–4]. Разработан ряд систем, позволяющих осуществлять синтез физического принципа действия (ФПД) [5–7], поиск ФЭ [8–10], автоматизированное пополнение базы данных (БД) ФЭ [11, 12].

Центральной процедурой программных комплексов представления и использования структурированных физических знаний является автоматизированный поиск ФЭ. Повышение эффективности поиска, по-прежнему, является актуальной задачей. Для ее решения были разработаны дескрипторные и полнотекстовые методы поиска. Дескрипторный поиск может осуществляться по атрибутам компонент входа, выхода и объекта ФЭ и по атрибутам компонент поискового признака «практическое применение физического эффекта» [3, 9].

Дескрипторный поиск по атрибутам компонент входа, выхода и объекта ФЭ представляет собой координатное индексирование описания

каждого ФЭ по названию (номеру), атрибутам входного воздействия, выходного воздействия, а также объекта ФЭ. Он требует от пользователя определенной степени квалификации в области физики, так как в этом случае для организации эффективного поиска ФЭ формулировки информационных запросов к базе данных должны быть максимально близки к физическим терминам.

Дескрипторный поиск по атрибутам компонент поискового признака «практическое применение физического эффекта» не требует от пользователя столь высокой квалификации, однако более сложен с технической точки зрения – необходимо составление информационно-поисковых тезаурусов для компонентов признака, который в свою очередь содержит действие (D), объект (G) и особые условия и ограничения (H). Чем подробнее сформированы данные тезаурусы, тем более релевантные результаты получает пользователь на выходе. Таким образом, повышение эффективности данной разновидности дескрипторного поиска непосредственно связано с составлением специализированных тезаурусов.

#### Текстовый вход: ИЗМЕНИТЬ

##### ИЗМЕНИТЬ, СДЕЛАТЬ ИНЫМ

*(ВНЕСЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ, ВНЕСТИ ИЗМЕНЕНИЯ, ВНОСИТЬ ИЗМЕНЕНИЯ, ИЗМЕНЕНИЕ, ИЗМЕНИТЬ, ИЗМЕНЯТЬ, МЕНЯТЬ, ПЕРЕМЕНИТЬ, СЛЕДУЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ)*

|      |                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------|
| ВЫШЕ | <a href="#">ОБУСЛАВЛИВАТЬ, СПОСОБСТВОВАТЬ</a>                    |
| НИЖЕ | <a href="#">АКТУАЛИЗИРОВАТЬ</a>                                  |
| НИЖЕ | <a href="#">ВИДОИЗМЕНИТЬ</a>                                     |
| НИЖЕ | <a href="#">ВОССТАНОВИТЬ ПРЕЖНЕЕ СОСТОЯНИЕ</a>                   |
| НИЖЕ | <a href="#">ДЕФОРМИРОВАТЬ</a>                                    |
| НИЖЕ | <a href="#">ЗАГЛУШИТЬ ЗВУК</a>                                   |
| НИЖЕ | <a href="#">ЗАМЕДЛИТЬ</a>                                        |
| НИЖЕ | <a href="#">ЗАМЕНИТЬ, НАЙТИ ЗАМЕНУ</a>                           |
| НИЖЕ | <a href="#">ИНДЕКСАЦИЯ (ИЗМЕНЕНИЕ)</a>                           |
| НИЖЕ | <a href="#">ИСКАЗИТЬ ЛИЦО, ВНЕШНОСТЬ</a>                         |
| НИЖЕ | <a href="#">КОСМЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ</a>                          |
| НИЖЕ | <a href="#">КРАСИТЬ, ПОКРЫВАТЬ КРАСКОЙ</a>                       |
| НИЖЕ | <a href="#">ЛОМАТЬ (РЕЗКО ИЗМЕНЯТЬ)</a>                          |
| НИЖЕ | <a href="#">МОЧИТЬ, НАМОЧИТЬ</a>                                 |
| НИЖЕ | <a href="#">МЯГЧИТЬ (ДЕЛАТЬ МЯГКИМ, ПОДАТЛИВЫМ)</a>              |
| НИЖЕ | <a href="#">МЯТЬ, СМЯТЬ</a>                                      |
| НИЖЕ | <a href="#">НАПОЛНИТЬ</a>                                        |
| НИЖЕ | <a href="#">НАТЕРЕТЬ, НАВЕСТИ ЛОСК</a>                           |
| НИЖЕ | <a href="#">ОБЛЕГЧИТЬ ВЕС</a>                                    |
| НИЖЕ | <a href="#">ОБНОВИТЬ (СДЕЛАТЬ НОВЕЕ, СОВЕРШЕННЕЕ, ВОЗРОДИТЬ)</a> |
| НИЖЕ | <a href="#">ОБРАБАТЫВАТЬ, ПОДВЕРГАТЬ ОБРАБОТКЕ</a>               |
| НИЖЕ | <a href="#">ОСЛАБИТЬ НАТЯЖЕНИЕ</a>                               |
| НИЖЕ | <a href="#">ОСЛОЖНИТЬ, УСЛОЖНИТЬ</a>                             |
| НИЖЕ | <a href="#">ОТВЕСТИ В ДРУГОЕ НАПРАВЛЕНИЕ</a>                     |
| НИЖЕ | <a href="#">ПЕРЕВЕРНУТЬ КОРЕННЫМ ОБРАЗОМ</a>                     |
| НИЖЕ | <a href="#">ПЕРЕВЕСТИ (ПОСТАВИТЬ В ДРУГИЕ УСЛОВИЯ)</a>           |
| НИЖЕ | <a href="#">ПЕРЕИМЕНОВАТЬ</a>                                    |
| НИЖЕ | <a href="#">ПЕРЕКЛЮЧИТЬ (ИЗМЕНИТЬ НАПРАВЛЕНИЕ И СИЛУ)</a>        |
| НИЖЕ | <a href="#">ПЕРЕЛОМИТЬ (РЕЗКО ИЗМЕНИТЬ)</a>                      |
| НИЖЕ | <a href="#">ПЕРЕНЕСТИ НА ДРУГОЕ ВРЕМЯ</a>                        |
| НИЖЕ | <a href="#">ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</a>                      |

Рис. 1. Фрагмент тезауруса РуТез

Проблему формирования информационно-поисковых тезаурусов для компонентов признака «практическое применение» можно решать двумя способами. Первый способ – составление тезаурусов на основе уже существующих тезаурусов русского языка. Примером такого тезауруса является РуТез. Он представляет собой иерархическую сеть понятий, к которым приписаны текстовые выражения, предназначенную для автоматической обработки текстов. Текущий объем тезауруса составляет 158 тысяч слов и выражений, уложенных в сеть 55 тысяч понятий, между которыми установлено более 210 тысяч отношений [13]. На рис. 1 представлен фрагмент данного тезауруса для текстового входа «ИЗМЕНЯТЬ».

Как можно заметить из данного фрагмента, несмотря на высокую степень проработанности, данный тезаурус содержит недостаточно физических терминов. Следовательно, эффективность поиска ФЭ при использовании информационно-поисковых тезаурусов на основе тезауруса РуТез увеличится незначительно. Такой же вывод можно сделать относительно аналога РуТез – RuWordNet [14].

Второй способ – это автоматизированное составление тезаурусов на основе предметного указателя специализированных энциклопедий или классификаций. Данный способ обеспечивает высококвалифицированное описание предметной области с использованием надежно выверенных терминов [15]. На рис. 2 представлена схема алгоритма.

За основу для будущих тезаурусов предлагается взять Международную патентную классификацию (МПК) [15], а точнее ее некоторые разделы, тематически близкие к имеющимся ФЭ – физика (раздел G), химия (раздел C), электричество (раздел H) и ряд других. МПК является средством для классификации патентных документов (патенты и авторские свидетельства на изобретения, промышленные образцы, полезные модели, включая опубликованные заявки) единообразной в международном масштабе. Вследствие этого термины, используемые в МПК, наиболее полно и точно описывают предметные области ее разделов. В качестве дескрипторов предлагается использовать названия классов и подклассов разделов МПК. Классифицировать их будем по следующим связям [16]:

- BT – связь с родительским термином;
- NT – связь с дочерним термином;



Рис. 2. Схема алгоритма автоматизированного составления тезаурусов

- USE – связь с термином, который используется вместо этого;
- UF – взаимно-обратная связь USE;
- RT – связь, определяющая синонимичный термин;
- LE – связь между лингвистически эквивалентными терминами.

Таким образом, после выполнения всех шагов алгоритма мы получим узкоспециализированный технический тезаурус. Использование данного тезауруса позволит не только повысить эффективность дескрипторного поиска по признаку «практическое применение физического эффекта», но и эффективность поиска информации для заполнения этого признака для существующей БД ФЭ.

Несмотря на то, что вышеописанные подходы способны увеличить эффективность поиска ФЭ, для дальнейшего повышения эффективности необходимо разрабатывать новые методы поиска ФЭ в дополнение к уже существующим. Одним из таких методов является интеллектуальный поиск. Суть данного вида поиска заключается в том, что при составлении поискового запроса на естественном языке пользователю

предлагается ряд «умных» подсказок, которые позволяют скорректировать запрос, сделать его более точным. Также интеллектуальный поиск позволяет составить для пользователя ряд запросов, близких по смыслу к заданному.

В отличие от традиционных методов поиска, интеллектуальный поиск подразумевает выполнение семантического анализа. Под семантическим анализом понимается оценка текста, позволяющая определить количественный состав отдельных слов в тексте, а также выделить логическую основу текста. Автоматизированный семантический анализ текста предполагает выявление и оценку смыслового содержания текста, что является трудно формализуемой задачей [17].

Существуют три типа алгоритмов семантического анализа [18]:

- алгоритмы, основанные на правилах;
- алгоритмы, основанные на статистике (с применением машинного обучения);
- смешанные алгоритмы.

Первый тип предполагает использование заранее подготовленных словарей (в виде структурированных наборов данных – чаще всего,

таблиц), которые описывают все возможные варианты использования той или иной лексической единицы в тексте. Второй тип предполагает статистический анализ текста, и на основе вероятности появления той или иной лексической единицы в разных контекстах подсказывает, куда «определить» ее в конкретном случае. В третьем типе используются как статистические методологии, так и словари. Считается, что такие алгоритмы лучше всего работают в случае четко определенной предметной области.

Таким образом, интеллектуальный поиск проходит в четыре этапа [17]:

- лексический анализ (разбор текстовой информации на абзацы, предложения, слова);
- морфологический анализ (распознавание частей речи);
- синтаксический анализ (выделение именных групп, терминологических целых, предикативных основ);
- семантический анализ.

На рис. 3 представлена структурная схема лингвистического процессора интеллектуального поиска [17]:

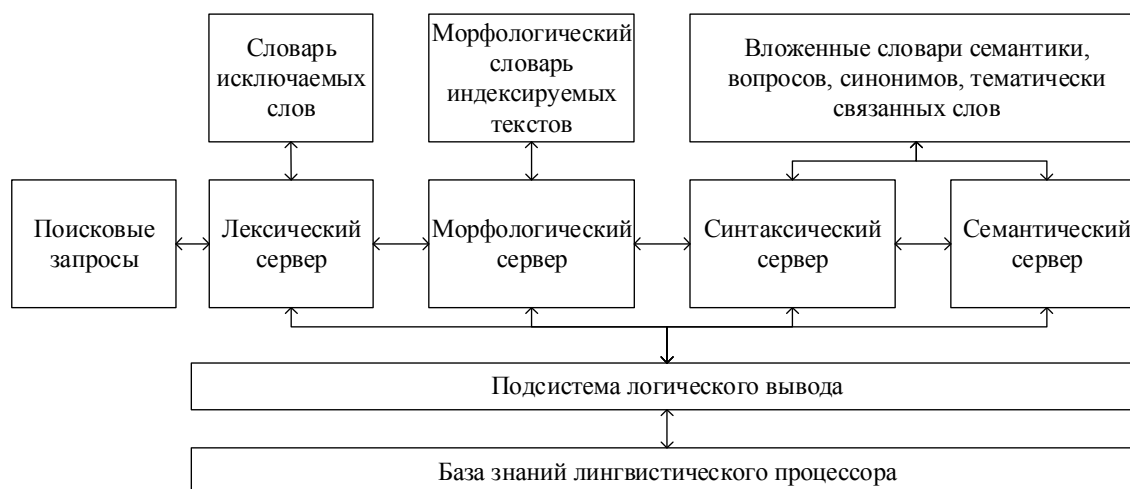


Рис. 3. Структурная схема лингвистического процессора

В качестве словарей синонимов и тематически связанных слов можно использовать информационно-поисковые тезаурусы дескрипторного поиска.

Особенности построения технологии интеллектуального поиска и достигаемые за счет них новые качества поисковой системы обеспечивают существенное снижение информационного шума и значительное повышение оперативности формирования ответа системы, адекватного запросу пользователя [17].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменков, С. А. Представление физических знаний в автоматизированном банке физических эффектов / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Известия вузов. Машиностроение. – 1998. – № 1–3. – С. 55–61.
2. Фоменков, С. А. Формирование и структура баз данных по физическим эффектам / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, Д. М. Коробкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 18. № 22 (125). С. 153–157.
3. Фоменков, С. А. Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний : монография / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 278 с.

4. Коробкин, Д. М. Поиск описаний физических эффектов в патентном массиве / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. В. Давыдова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 5(143). – С. 3–11.
5. Гопта, Е. А. Автоматизированная система синтеза физического принципа действия технических систем / Е. А. Гопта, С. А. Фоменков // Программные продукты и системы. – 2014. – № 1. – С. 136–141.
6. Автоматизированная система синтеза физических принципов действия «САПФИТ 2» / Г. А. Карачунова, С. А. Фоменков, Е. А. Гопта, Д. М. Коробкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12 (139). С. 124–128.
7. Разработка модуля синтеза физического принципа действия технических систем с усиленными условиями совместимости физических эффектов / И. И. Вайнгольц, С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, Е. А. Гопта // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 11 (190). С. 122–126.
8. Фоменков, С. А. Автоматизированный информационный поиск физических эффектов / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, С. Г. Колесников // Информационные технологии. 2004. № 7. С. 30–34.
9. Герасимов, А. М. Автоматизированная система поиска физических эффектов «Полезный эффект» / А. М. Герасимов, П. А. Колчин, С. А. Фоменков // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4. – С. 7.
10. Автоматизированные методы поиска физических эффектов / С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, С. Г. Колесников, А. Н. Копасов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). С. 101–107.
11. Фоменков, С. А. Программный комплекс представления и использования структурированных физических знаний / С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, А. М. Дворянкин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 11. – С. 24–28.
12. Коробкин, Д. М. Программный комплекс поддержки процесса формирования информационного обеспечения фонда физических эффектов / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб. : СПбГПУ. – 2009. – № 6. – С. 306–310.
13. Лукашевич, Н. В. Тезаурусы в задачах информационного поиска / Н. В. Лукашевич. – М. : Изд-во Московского университета, 2011. – 512 с.
14. Тезаурус русского языка RuWordNet [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ruwordnet.ru/ru/> (дата обраш. 18.04.2017).
15. Федеральный институт промышленной собственности : действующая редакция Международной патентной классификации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www1.fips.ru/wps/portal/IPC/IPC2016\\_extended\\_XML/](http://www1.fips.ru/wps/portal/IPC/IPC2016_extended_XML/) (дата обраш. 21.04.2017).
16. Шокин, Ю. И. Проблемы поиска информации / Ю. И. Шокин, А. М. Федотов, В. Б. Барахнин. – Новосибирск : Наука, 2010. – 220 с.
17. Вишняков, Р. Ю. Интеллектуальные информационно-поисковые системы. Лингвистический анализ / Р. Ю. Вишняков // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2006. – № 4. – С. 37–42.
18. Шурига, Л. Text mining: алгоритмы извлечения семантики из текста [Электронный ресурс] / Л. Шурига. – 2014. – Режим доступа : <http://datareview.info/article/text-mining-algoritmyi-izvlecheniya-semantiki-iz-teksta/> (дата обраш. 24.05.2017).

УДК 004.89

**И. А. Кобликов, Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, В. А. Яровенко**

# **МЕТОДИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОПИСАНИЙ РЕАЛИЗУЕМЫХ В ПАТЕНТЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ\***

**Волгоградский государственный технический университет**

[koblikov.i.a@gmail.com](mailto:koblikov.i.a@gmail.com)

Разработана методика извлечения структурированной текстовой информации в виде структур «Субъект – Действие – Объект» (технические функции) из русскоязычных текстов на основе использования морфологической информации, контекстно-свободных грамматик (правила, описывающие структуры SAO в тексте) и словарей ключевых слов.

**Ключевые слова:** SAO, субъект, объект, действие, структурированные знания, извлечение фактов, грамматика.

**I. A. Koblikov, D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov, V. A. Yarovenko**

# **A METHOD OF TECHNICAL FUNCTIONS EXTRACTION FROM PATENT TEXTS**

**Volgograd State Technical University**

In paper describes the developed technique of retrieval of structured text information in the form of structures “Subject – Action - Object” (technical functions) from Russian texts based on the use of morphological information, context-free grammars (rules that describe the structure of the SAO in the text) and dictionary of keywords.

**Keywords:** SAO, subject, object, action, structured knowledge, fact extraction, grammar.

© Кобликов И. А., Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Яровенко В. А., 2017

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № № 16-07-00534 А, 15-07-09142 А).

### Введение

Научная, техническая, производственная деятельность требует постоянной актуализации используемых технологий. Применение высокоэффективных решений позволяет достичь максимальных результатов. Наиболее полную картину состояния техники в определенной области можно получить, проанализировав патенты [1]. Помимо этого патентами следует своевременно и быстро «покрывать» разработанные технологии.

Поскольку патентные базы содержат десятки миллионов патентов [2], на их обработку и анализ затрачиваются значительные ресурсы. Во многих случаях приходится вручную обрабатывать патенты. Автоматизация анализа патентных массивов [3] позволяет значительно сократить затраты на выполнение задач связанных с анализом патентов.

Одним из перспективных направлений в области анализа патентных массивов является использование структур SAO (Subject – Action – Object: Субъект – Действие – Объект) [4-6] в качестве базового элемента при анализе патентов.

Субъект (от лат. subjectum – подлежащее) – в реальной ситуации, обозначенной в предложении естественно-языкового текста, главный активный или неактивный «участник действия». В свою очередь объект – участник действия, на которого направлено действие, совершаемое субъектом.

Связки структур SAO в тексте позволяют наиболее точно отобразить процессы, описываемые в патенте на изобретение. Таким образом, модель изобретения, построенная на базе SAO, будет представлять собой точное формализованное представление текстового описания изобретения.

### 1. Анализ патентных массивов

В общем виде процесс анализа патентных массивов был разделен на несколько этапов: подготовительный, извлечение и обработка структур SAO, построение моделей изобретений, этап анализа патентного массива.

**Подготовительный этап** включает в себя первичный отбор патентов по направлениям, выбранным для анализа. Фильтрация патентов [7] позволит сократить объемы обрабатываемых текстов, и тем самым значительно сократятся время, затрачиваемое на анализ, и необходимые вычислительные ресурсы.

Так же необходимо провести подготовку текстов [8] отобранных патентов для дальнейшей обработки.

Местоимения позволяют разнообразить естественно языковое описание модели в тексте, но при этом отрицательно скажутся на формализованной модели изобретения. Устранение местоименной анафоры [9] позволяет точнее определить «субъекты» и «объекты» извлекаемых структур SAO.

Тексты необходимо разбить на меньшие составные части – абзацы и предложения. И уже они будут использоваться для дальнейшего извлечения структур и анализа текстового описания.

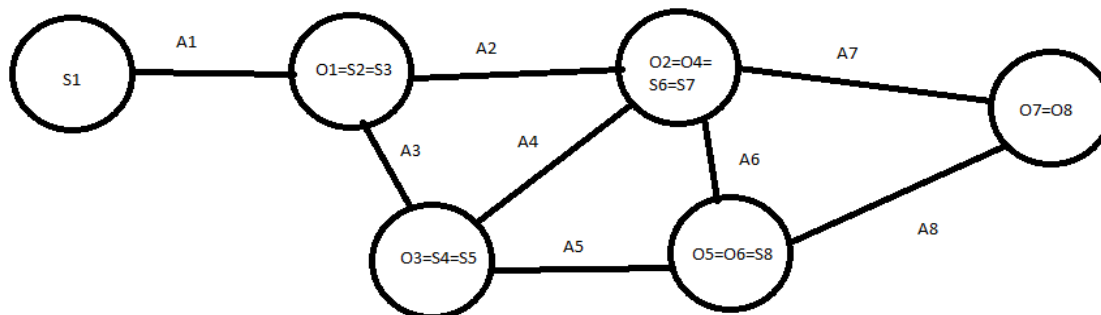
**Извлечение структур SAO** было решено проводить при помощи *Томита-парсера* [10] – инструмента, позволяющего извлечь структурированные данные (факты) из текста на естественном языке.

В основе работы *Томита-парсера* лежат контекстно-свободные грамматики и словари ключевых слов.

Формирование грамматик осуществлялось на основе правил русского языка [11]. Были определены формы глаголов, явно описывающие воздействие субъекта на объект. Далее определены виды предложений, в которых они встречаются, а так же формы, в которых в предложениях стоят части речи, выполняющие роль субъекта, объекта и действия. Таким образом, были сформулированы правила описывающие структуры SAO в тексте. На основе полученных правил осуществлена разработка грамматики для *Томита-парсера*, содержащая 90 правил.

**Построение моделей изобретения.** Если SAO представляет собой некоторые 2 объекта, связанные друг с другом действием, совершаемым одним над другим, то тогда изобретение можно представить в форме цепочки объектов, связанных действиями. Модель изобретения можно представить в виде графа, в котором дугами являются «действия». Субъект – исходное состояние, а объект конечное состояние. Таким образом, задача сводится к построению ориентированного графа.

Основываясь на структуре текста, порядке включения SAO в текстовое описание изобретения, необходимо определить комбинацию сочетаний структур, наиболее полно «покрывающую» изобретение.



Построение моделей изобретения

**Применение полученных моделей.** В результате синтеза получаются формализованные структурированные модели. Они позволяют быстрее и точнее определить степень сходства патентов, нежели используя методы, сравнивающие текстовое описание изобретений.

## 2. Извлечение структур SAO

Подробнее остановимся на извлечении структур SAO. Ключевым элементом структуры SAO является действие. В русском языке действие выражается тремя частями речи: глагол, причастие, деепричастие.

Соответственно, опираясь на правила русского языка, можно выделить все варианты связей «Субъект – Действие – Объект», встречаемые в русскоязычных текстах.

В лингвистике залог – глагольная категория, которая выражает отношение действия к субъекту (производителю действия) и объекту действия (предмету, над которым действие производится). Основные залоги: действительный, средневозвратный и страдательный.

Наибольший интерес для извлечения SAO представляют действительный и страдательный залоги.

Действительный залог имеют глаголы переходные, обозначающие действие, производимое субъектом и активно направленное на объект. Действительный залог имеет синтаксическую характеристику: субъект действия является подлежащим, а объект – дополнением в винительном падеже без предлога.

В свою очередь страдательный залог представляет действие как пассивно направленное от объекта к субъекту. В страдательном залоге субъект является дополнением в творительном падеже, а объект действия является подлежащим.

На примере действительного залога рассмотрим правила грамматики.

Для извлечения каждого элемента SAO предназначены отдельные правила.

В действительном залоге субъект – подлежащее, то есть существительное в именительном падеже, так же перед существительным в тексте может стоять прилагательное, относящееся к нему и согласованное по роду числу и падежу.

Таким образом правило извлечения субъекта имеет следующий вид:

```
SUB1->(Adj<gnc-agr[1]>) Noun<gram="nom",rt,gnc-agr[1]>;
```

Объект – существительное в винительном падеже так же может согласовываться с прилагательным:

```
OBJ1->(Adj<gnc-agr[1]>) Noun<gram="acc",rt,gnc-agr[1]>;
```

Соответственно действие – в предложении сказуемое и является глаголом:

```
ACT1->Verb<rt> ;
```

После каждого элемента извлекаемой структуры могут встречаться другие слова предложения, не входящие в них. Так же необходимо интерпретировать извлекаемые элементы в соответствующие поля факта.

Для этого добавляем следующие правила для каждого элемента SAO:

```
SAO_S1->SUB1<rt> interp (SAO.S::not_norm) (Word*);
```

```
SAO_A1->ACT1<rt> interp (SAO.A::not_norm) (Word*);
```

```
SAO_O1->OBJ1<rt> interp (SAO.O::not_norm) (Word*);
```

Так же необходимо добавить правило, описывающее извлекаемую структуру SAO целиком:

SAO1->SAO\_S1<sp-agr[4]> SAO\_A1<sp-agr[4]> SAO\_O1;

Правила грамматики состоят из терминалов, нетерминалов и ключевых слов и написаны в формате, необходимом для работы *Томиа-парсера*.

По приведенным правилам из текста предложения: “В момент их полного заряда система управления подает сигнал на коммутатор”, структура SAO извлекается следующим образом:

```
{
    SAO = система управления подает сигнал
    S = система управления
    A = подает
    O = сигнал
},
```

где SAO – полный текст извлеченной структуры; S – субъект; A – действие; O – объект.

В русскоязычных текстах SAO могут быть представлены в неполном виде, в односоставных предложениях.

В зависимости от типа односоставного предложения, в извлеченных структурах могут отсутствовать субъект или объект. Например, для определенно личных и неопределенно личных предложений будет отсутствовать субъект действия.

Для таких предложений ключевым при извлечении будет являться форма, в которой стоит глагол в предложении.

В определенно-личном предложении ска-

зуемое выражено формой глагола первого или второго лица единственного или множественного числа настоящего или будущего времени, так же может быть выражено формой глагола повелительного наклонения, глагол в таком случае имеет только форму второго лица единственного или множественного числа.

В неопределенно-личных предложениях сказуемое выражается формами глагола третьего лица множественного числа в настоящем и будущем времени, а также формой множественного числа прошедшего времени.

#### Разработанные грамматики

| Член предложения (элемент SAO) | Форма                                  | Правило грамматики                           |
|--------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| Сказуемое (action)             | 1 л., ед. число, наст. время           | ACT2->Verb<GU='1p, sg, praes', rt>;          |
|                                | 1 л., ед. число, буд. время            | ACT2->Verb<GU='1p, sg, fut', rt>;            |
|                                | 1 л., ед. число, непрош. время         | ACT2->Verb<GU='1p, sg, inpraes', rt>;        |
|                                | 1 л., мн. число, наст. время           | ACT2->Verb<GU='1p, pl, praes', rt>;          |
|                                | 1 л., мн. число, буд. время            | ACT2->Verb<GU='1p, pl, fut', rt>;            |
|                                | 1 л., мн. число, непрош. время         | ACT2->Verb<GU='1p, pl, inpraes', rt>;        |
|                                | 2 л., ед. число, наст. время           | ACT2->Verb<GU='2p, sg, praes', rt>;          |
|                                | 2 л., ед. число, буд. время            | ACT2->Verb<GU='2p, sg, fut', rt>;            |
|                                | 2 л., ед. число, непрош. время         | ACT2->Verb<GU='2p, sg, inpraes', rt>;        |
|                                | 2 л., мн. число, наст. время           | ACT2->Verb<GU='2p, pl, praes', rt>;          |
|                                | 2 л., мн. число, буд. время            | ACT2->Verb<GU='2p, pl, fut', rt>;            |
|                                | 2 л., мн. число, непрош. время         | ACT2->Verb<GU='2p, pl, inpraes', rt>;        |
|                                | 2 л., ед. число, наст. время, повел.   | ACT2->Verb<GU='2p, sg, praes, imper', rt>;   |
|                                | 2 л., ед. число, буд. время, повел.    | ACT2->Verb<GU='2p, sg, fut, imper', rt>;     |
|                                | 2 л., ед. число, непрош. время, повел. | ACT2->Verb<GU='2p, sg, inpraes, imper', rt>; |
|                                | 2 л., мн. число, наст. время, повел.   | ACT2->Verb<GU='2p, pl, praes, imper', rt>;   |
|                                | 2 л., мн. число, буд. время, повел.    | ACT2->Verb<GU='2p, pl, fut, imper', rt>;     |
|                                | 2 л., мн. число, непрош. время, повел. | ACT2->Verb<GU='2p, pl, inpraes, imper', rt>; |

Так как глагол может иметь большое количество форм, приведем таблицу, содержащую возможные варианты форм глагола, и соответствующие грамматики на примере определенно личных предложений.

Еще одна интересная ситуация возникает, когда действие выражено возвратным глаголом. В таком случае субъект и объект действия будут выражены одним и тем же элементом.

Например, в предложении: “Коммутатор замыкается и емкость секции ЕКТК начинает разряжаться через них на собственную индуктивность обкладок”.

{  
     SAO = Коммутатор замыкается  
     S = Коммутатор  
     A = замыкается  
     O = Коммутатор  
 }.

Таким образом, можно сделать вывод, что русский язык обладает многообразием для описания, что, в свою очередь, требует детальной подготовки грамматик для извлечения фактов из естественно языкового текста.

### Заключение

Извлеченные из текстов структуры SAO позволяют подробно описать в формальном виде патент на изобретение. В свою очередь синтезированные модели являются наиболее подходящими для машинной обработки, нежели текстовые описания.

Автоматизированный таким образом процесс позволит сократить трудозатраты на анализ патентных массивов, что приведет к уменьшению времени затрачиваемого исследователями и изобретателями при поиске требуемых технологий, экспертами патентных ведомств при обработке поданных на регистрацию патентных заявок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Korobkin, D., Fomenkov, S., Kravets, A., Kolesnikov, S., Dykov, M. Three-steps methodology for patents prior-art retrieval and structured physical knowledge extracting. Communications in Computer and Information Science. 2015. Т. 535. С. 124–136.
3. Kravets, A.G., Korobkin, D.M., Dykov, M.A. E-patent examiner: two-steps approach for patents prior-art retrieval. В сборнике: IISA 2015 – 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications 6. 2015. С. 7388074.
4. 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.
5. SAO Semantic Information Identification for Text Mining (PDF Download Available). [https://www.researchgate.net/publication/312619671\\_SAO\\_Semantic\\_Information\\_Identification\\_for\\_Text\\_Mining](https://www.researchgate.net/publication/312619671_SAO_Semantic_Information_Identification_for_Text_Mining) [accessed May 14, 2017].
6. 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.
7. Крапивина, Н.В., Коробкин, Д.М., Фоменков, С.А. Автоматизация фильтрации электронных первоисточников по признаку знаний о нанотехнологиях и выявление описаний нанотехнологий // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 14. № 10 (97). С. 161–166.
8. 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.
9. Коробкин, Д.М., Фоменков, С.А., Мармура, А.С., Болдырев, В.А. Методика предварительной обработки патентного массива для задач извлечения структурированных физических знаний // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 3 (182). С. 40–47.
10. Tomita parser. Название с экрана. [https://cs.hse.ru/data/2015/04/27/1098338342/Tomita\\_hse\\_20\\_04\\_15.pdf](https://cs.hse.ru/data/2015/04/27/1098338342/Tomita_hse_20_04_15.pdf)
11. Тузов, В. А. Компьютерная семантика русского языка. – СПб.: Изд-во СПб ГУ, 2004. 400 с.

УДК 004.514.64

*А. Г. Кравец<sup>1</sup>, С. А. Левитин<sup>1</sup>, Н. О. Шумейко<sup>1</sup>, Д. М. Коробкин<sup>1</sup>, Н. А. Сальникова<sup>2</sup>***WEB-ИНТЕРФЕЙС ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ  
ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
И ЭКСПЕРТИЗЫ ЗАЯВОК НА ПОЛУЧЕНИЕ ПАТЕНТОВ\***<sup>1</sup> Волгоградский государственный технический университет<sup>2</sup> Волгоградский институт управления – филиал Российской академии  
народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФagk@gde.ru, selevit@gmail.com, nikitashumeyko92@gmail.com,  
dkorobkin80@mail.ru, ns3112@mail.ru

В данной статье представлен подход к реализации Web-интерфейса интеллектуальной платформы поиска новых технических решений и экспертизы заявок на получение патентов на изобретения. Основные функции этого интерфейса – отправка заявок на получения патента и просмотр информации по новизне заявок. Заявки на получение патента обрабатываются в фоне через асинхронную очередь посредством отдельно разрабатываемой программы. Разработана архитектура реализации алгоритмов параллельной мультисерверной обработки входящей информации и Web-интерфейса автоматизированной системы анализа патентной информации с поддержкой многоязычности. Реализация алгоритма поиска похожих патентов выходит за рамки данной работы.

*Ключевые слова:* патентный поиск, web-интерфейс, поиск по уровню техники, экспертиза заявок на патент, новые технические решения.

*A. G. Kravets<sup>1</sup>, S. A. Levitin<sup>1</sup>, N. O. Shumeiko<sup>1</sup>, D. M. Korobkin<sup>1</sup>, N. A. Salnikova<sup>2</sup>***WEB-BASED INTELLECTUAL PLATFORM OF SEARCH FOR NEW TECHNICAL  
SOLUTIONS AND EXAMINATION OF PATENT APPLICATIONS**<sup>1</sup> Volgograd State Technical University<sup>2</sup> Volgograd Institute of Management – branch of the Russian Presidential  
Academy of National Economy and Public Administration

This article presents an approach to the implementation of Web-based intellectual platform of search new technical solutions and examination of applications for patents for inventions. The main functions of this interface are processing the application for a patent and viewing information on the novelty of applications. Applications for patents are handled in the background through the asynchronous queue by separately developed program. The architecture of the parallel implementation of multiserver inbound information processing algorithms and Web-based automated system of patent information analysis to support multilingualism were developed. The implementation of the similar patents search algorithm is beyond the scope of this work.

*Keywords:* patent search, web-interface, prior art search, applications for patents examination, new technical solutions

**Введение**

Обработка и верификация патентов – очень трудоемкая задача с точки зрения требуемого объема анализируемой информации – около нескольких миллионов патентов. Если человек или компания хочет получить патент на свое изобретение, то чтобы удостовериться в актуальности этого изобретения, нужно проанализировать огромное количество информации по уже существующим патентам в этой и смежных областях. Такой анализ порой занимает очень много времени и человеческих трудовых затрат у работников патентного ведомства. Да и самим авторам патента необходимо убедиться, что патент не дублирует уже существующие, перед отправкой заявки на получение нового патента.

Для того, чтобы частично автоматизировать эту задачу, была спроектирована система поиска новых технических решений и экспертизы заявок на получение патентов на изобретения [1]. Основные компоненты этой системы – непосредственно семантический анализатор текстов, который реализует алгоритмы сравнения патентов и занимается поиском похожих патентов по уже существующей базе [2], и Web-интерфейс, необходимый для взаимодействия пользователей с основным ядром системы [3].

Таким образом, целью данного исследования было создание Web-интерфейса интеллектуальной платформы поиска новых технических решений с применением алгоритмов параллельной мультисерверной обработки.

### 1. Анализ существующего алгоритма патентного поиска в электронных базах данных

Существующие методики [4, 5, 6] анализа заявки на патент можно свести к следующим пяти шагам.

ШАГ 1: Определение предмета и объекта поиска.

Предмет поиска – определенный аспект объекта, являющийся целью поиска (предмет поиска определяет его вид). Примеры предмета поиска: новизна, патентная чистота, уровень техники, патентоспособность. Объект поиска – (чаще всего) техническое решение, характеризующееся структурой, свойствами и применением.

Факторы, влияющие на регламент поиска:

- 1) функциональное назначение объекта;
- 2) отраслевое применение объекта;
- 3) характер отличительных признаков объекта;
- 4) (словесные, количественные, специальные);
- 5) дополнение к уровню техники;
- 6) наличие функционально самостоятельных признаков.

ШАГ 2: Определение регламента поиска

Регламент патентного поиска включает элементы:

- 1) географический охват документов;
- 2) глубина ретроспекции документов;

3) виды документов, подлежащих поиску (патенты, заявки, полезные модели);

4) область поиска;

5) вид поисковой информации (технические признаки, имена и названия, даты, номера);

6) документов, юридический статус документов.

ШАГ 3: Выбор базы данных для проведения поиска (или последовательности использования нескольких баз данных)

Покрытие базы данных и ее поисковые возможности должны соответствовать регламенту поиска. Свойства поисковых баз данных:

- 1) покрытие данных;
- 2) возможности по составлению поисковых запросов;
- 3) представление результатов поиска;
- 4) дополнительные инструменты.

ШАГ 4: Составление стратегии поиска

Стратегия компьютерного поиска составляется с учетом возможностей выбранной базы данных. Стратегия поиска включает:

- 1) выбор очередности обращения к поисковым массивам;
- 2) составление поисковых запросов;
- 3) корректировка поисковых запросов в зависимости от получаемых результатов;
- 4) принятие решения о завершении поиска.

ШАГ 5: Анализ результатов

Общая схема поиска похожего патента представлена ниже [4] (рис. 1).

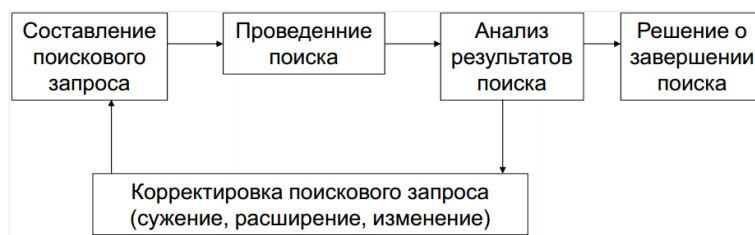


Рис. 1. Общая схема поиска

### 2. Сравнительный анализ аналогов системы

Был проведен поиск аналогов системы, которые используются в качестве Web-интерфей-

са для патентного поиска. Ниже в таблице представлены результаты анализа и сравнения этих систем [7, 8, 9].

Сравнение аналогов системы

| Название системы                                             | Патентный поиск Google | US Patent and Trademark Office | IBM's Patent-Server |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Поддержка асинхронной очереди задач                          | Нет                    | Нет                            | Да                  |
| Просмотр списка ранее обработанных заявок пользователя       | Нет                    | Нет                            | Да                  |
| Возможность интеграции собственного модуля патентного поиска | Нет                    | Нет                            | Нет                 |
| Возможность поиска по полному тексту заявки                  | Нет                    | Да                             | Да                  |
| Возможность подсветки найденных совпадений                   | Да                     | Да                             | Да                  |

### 3. Концепция Web-интерфейса интеллектуальной платформы

Необходимо создать Web-интерфейс, с помощью которого пользователь может отправить заявку на поиск патентов-аналогов и получить информацию о новизне этой заявки. Результатом обработки заявки будет список релевантных патентов [10].

В рамках разработки должны быть реализована поддержка цветового выделения совпадений между исходной заявкой и найденными патентами.

Для обработки патентов будут использованы библиотеки алгоритмов статистического анализа и семантического анализа патентов из [11, 12].

Необходимо также предусмотреть возможность простой интеграции синтаксического и морфологического анализатора для поиска патентов-аналогов. Основные функции, предоставляемые пользователю для взаимодействия с системой – отправка заявки на патент, просмотр краткого и полного списка обрабатываемых заявок с возможностью постраничной навигации по списку. Кроме того, у пользователя должна быть возможность увидеть текущий статус своих заявок («в процессе» / «выполнена») и просмотреть детальную информацию по результату ее обработки [13].

Доступ к сервису предоставляется по логину и паролю. Для получения реквизитов для авторизации, пользователю необходимо пройти регистрацию в системе. В том случае, если пользователь забыл свой пароль, он должен иметь возможность восстановить его, используя электронную почту.

Для того чтобы найти похожие патенты среди 10 миллионов документов, необходимо провести ресурсоемкий семантический анализ этих документов с исходной заявкой. Это может занимать значительное время, учитывая то, что в очереди на обработку заявок могут стоять одновременно сотни заявок [14, 15]. В связи с этим Web-интерфейс, с которым взаимодействует пользователь, должен предусматривать

возможность фоновой обработки заявок, в то время, как пользователь будет просматривать результаты обработки других заявок или подавать новые.

### 4. Реализация Web-интерфейса автоматизированной системы анализа патентной информации

Для реализации бекенд-части был выбран высокоуровневый Web-фреймворк Django, написанный на Python.

Для работы всей системы требуется работа порядка 5–6 различных сервисов (Django, Redis, RabbitMQ, Postgresql, Postfix (для отправки почты), а также Nginx в качестве фронтенда для боевого окружения и Memcached для кеширования данных и шаблонов на уровне Django [16]. Это вносит определенные трудности в развертывание и настройку всех этих сервисов на машине разработчика, а также в боевом окружении. Для того чтобы упростить задачу развертывания окружения, была использована контейнерная архитектура. Каждый сервис запускается в своем Docker-контейнере, каждый из которых содержит изолированное Unix-подобное окружение. Контейнеры объединяются между собой во внутреннюю сеть и могут обмениваться данными друг с другом.

В качестве сервера базы данных для хранения заявок был выбран PostgreSQL. Это свободно распространяемый высокопроизводительный и легко масштабируемый сервер управления базами данных. По стабильности и способности обработки больших объемов данных он может составить неплохую конкуренцию таким коммерческим решениям, как Oracle DB или MSSQL.

### Заключение

Был разработан Web-интерфейс для управления патентными заявками (рис. 2), полностью готовый для интеграции с основной системой обработки заявок и поиска патентов [17]. Этот интерфейс поддерживает многоязычность и готов к переводу на другие языки без изменения кода продукта.

Управление патентными заявками

Главная > Мои заявки

Мои заявки (20)

| Number    | Категория                         | Дата создания           | Статус     |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------|------------|
| Заявка 20 | Устройства дополненной реальности | 30 января 2016 г. 14:20 | Готово     |
| Заявка 19 | Дискретная математика             | 30 января 2016 г. 14:07 | Готово     |
| Заявка 18 | Дискретная математика             | 5 января 2016 г. 6:17   | В процессе |
| Заявка 17 | Тяжелая промышленность            | 4 января 2016 г. 21:06  | В процессе |
| Заявка 16 | Устройства дополненной реальности | 4 января 2016 г. 21:05  | Готово     |
| Заявка 15 | Автомобили                        | 4 января 2016 г. 21:04  | В процессе |
| Заявка 14 | Тяжелая промышленность            | 4 января 2016 г. 21:04  | В процессе |
| Заявка 13 | Дискретная математика             | 4 января 2016 г. 21:04  | В процессе |
| Заявка 12 | Теория вероятностей               | 4 января 2016 г. 21:04  | В процессе |
| Заявка 11 | Дискретная математика             | 4 января 2016 г. 21:03  | В процессе |
| Заявка 10 | Тяжелая промышленность            | 4 января 2016 г. 21:03  | В процессе |
| Заявка 9  | Автомобили                        | 4 января 2016 г. 21:02  | В процессе |
| Заявка 8  | Устройства дополненной реальности | 4 января 2016 г. 21:02  | В процессе |
| Заявка 7  | Телефоны                          | 4 января 2016 г. 21:02  | В процессе |
| Заявка 6  | Планшеты                          | 4 января 2016 г. 21:01  | В процессе |

« 1 2 »

Рис. 2. Полный список заявок на патент

В ходе работы были получены следующие результаты:

1. Проведен анализ современных механизмов патентования и процесса поиска патентов-аналогов.

2. Исследован алгоритм патентного поиска в электронных базах данных и проведен сравнительный анализ существующих систем патентного поиска с точки зрения реализации их интерфейсов.

3. Разработана концепция и архитектура реализации алгоритмов параллельной мультисерверной обработки входящей информации

4. Выполнено проектирование Web-интерфейса интеллектуальной платформы поиска новых технических.

5. Реализован Web-интерфейс интеллектуальной платформы поиска новых технических с поддержкой многоязычности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированная система принятия решений при патентной экспертизе / М.А. Дыков, А.Г. Кравец, Д.М. Коробкин, С.М. Укустов, М.Ю. Сальников // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 20. № 6 (133). С. 35–41.

2. Евдошенко, О.И. Разработка онтологии и базы данных для эффективного поиска научно-технической документации / О.И. Евдошенко, А.Г. Кравец, И.Ю. Петрова // Прикладная информатика. – 2015. – Т. 10, № 5. – С. 85–92.

3. Three-Steps Methodology for Patents Prior-Art Retrieval and Structured Physical Knowledge Extracting / Д.М. Коробкин, С.А. Фоменков, А.Г. Кравец, С.Г. Колесников, М. Dykov // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2015 : First Conference (Volgograd, Russia, September 15-17, 2015) : Proceedings / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, O. Shabalina. – [Switzerland] : Springer International Publishing, 2015. – P. 124–136. – (Ser. Communications in Computer and Information Science. Vol. 535).

4. Методика патентного поиска [В Интернете]. – [http://it4b.icsti.su/itb/ps/ps\\_all.html](http://it4b.icsti.su/itb/ps/ps_all.html).

5. Патент [В Интернете] // Википедия – свободная энциклопедия. – 2015 г. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Патент>.

6. Saltykov, S. Typology of Scientific Constructions as an Instrument of Conceptual Creativity / S. Saltykov, E. Rusyayeva, А.Г. Кравец // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2015 : First Conference (Volgograd, Russia, September 15–17, 2015) : Proceedings / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, O. Shabalina. – [Switzerland] : Springer International Publishing, 2015. – P. 41–57. – (Ser. Communications in Computer and Information Science. Vol. 535).

7. Google – поиск по патентам [В Интернете]. – 2016 г. – <https://google.com/patents>.

8. Intellectual Property Licensing [В Интернете]. – IBM. – 2016 г. – <http://www.ibm.com/patents>.

9. Postfix Documentation [В Интернете]. – 2016 г. – <http://www.postfix.org/documentation.html>.

10. Представление документа в виде вектора ключевых фраз для решения задачи поиска по уровню техники в описаниях патентов / М.А. Дыков, А.Г. Кравец, Д.М. Коробкин, С.С. Укустов, О.И. Стрелков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 148–154.

11. Автоматизированная методика семантического анализа патентного массива / Д.М. Коробкин, А.С. Мармура, М.А. Фоменкова, С.А. Фоменков, А.Г. Кравец // Из-

вестия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2 (157). С. 159–163.

12. Combining statistical and semantic features for patents prior-art retrieval / М.А. Дыков, А.Г. Кравец, Д.М. Коробкин, С.С. Укустов, О.И. Стрелков // *Innovation Information Technologies : mater. of the 3rd Int. scienc.-pract. conf.* (Prague, April 21–25, 2014). Part 2 / МИЭМ ВШЭ, Рос. центр науки и культуры в Праге. – М., 2014. – С. 609–616.

13. Cross-thematic modeling of the world prior-art state: rejected patent applications analysis / А.Г. Кравец, А.Д. Кравец, В.А. Порачев, I.P. Medintseva // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. – 2016. – Vol. 8, No. 3S. – С. 2442–2452.

14. *Кравец, А.Г.* E-patent examiner: Two-steps approach for patents prior-art retrieval / А.Г. Кравец, Д.М. Коробкин, М.А. Дыков // *IISA 2015 – 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications* (Corfu, Greece, 6 July 2015 – 8 July 2015) : Conference Proceeding / Ionian University, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) [Piscataway, USA]. – 2015. – DOI: 10.1109/IISA.2015.7388074.

15. Patent Application Text Pre-processing for Patent Examination Procedure / А.Г. Кравец, А.Г. Мироненко, С.С. Назаров, А.Д. Кравец // *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2015 : First Conference* (Volgograd, Russia, September 15–17, 2015) : Proceedings / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, O. Shabalina. – [Switzerland] : Springer International Publishing, 2015. – P. 105–114. – (Ser. Communications in Computer and Information Science. Vol. 535).

16. Django documentation [В Интернете]. – 2016 г. – <https://docs.djangoproject.com/en/1.9/>.

17. Система автоматического позиционирования заявочных материалов на получение патента на изобретение в глобальном патентном пространстве на основе статистико-семантических подходов E-patent Examiner / А.Г. Кравец, Д.М. Коробкин, С.С. Укустов, М.А. Дыков // *Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе : мат-лы XLII Междунар. конф. и XII междунар. конф. молодых ученых IT + SE'2014* (майская сессия), Крым, Ялта – Гурзуф, 22 мая – 1 июня 2014 г. : прил. сетевого науч. журнала «Образовательные ресурсы и технологии», № 2'2014 / ИПУ РАН, ГУ – ВШЭ, Моск. техн. ун-т связи и информатики [и др.]. – [Запорожье : Изд-во Запорож. нац. ун-та]. – С. 14–17.

УДК 004.5

*М. Б. Кульцова<sup>1</sup>, А. О. Усов<sup>1</sup>, Д. С. Матюшечкин<sup>1</sup>, С. А. Карпова<sup>2</sup>*

# МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ «TRAVEL AND COMMUNICATION ASSISTANT» ДЛЯ ЛЮДЕЙ С КОГНИТИВНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

<sup>1</sup> Волгоградский государственный технический университет

<sup>2</sup> ГБСУ СО ОРИДИ «Надежда»

poas@vstu.ru, centrnadezda2015@mail.ru

Статья посвящена вопросам разработки вспомогательного мобильного приложения «Travel and Communication Assistant» для поддержки независимого передвижения и коммуникаций людей с когнитивными нарушениями. Разработанное приложение позволяет наставнику отслеживать перемещение подопечного по заданному маршруту, а также осуществлять коммуникации с использованием текста, голоса и сообщений из пиктограмм. Для перевода текстовых сообщений на русском языке в пиктограммы было реализовано русскоязычное расширение веб-сервиса Text2Picto.

**Ключевые слова:** вспомогательные компьютерные технологии, когнитивные нарушения, альтернативные коммуникационные системы, отслеживание перемещений, мобильное приложение.

*M. B. Kultsova, A. O. Usov, D. S. Matiushechkin, S. A. Karpova*

# ASSISTIVE MOBILE APPLICATION «TRAVEL AND COMMUNICATION ASSISTANT» FOR PEOPLE WITH INTELLECTUAL AND DEVELOPMENTAL DISABILITIES

<sup>1</sup> Volgograd State Technical University,

<sup>2</sup> Regional Rehabilitation Center for disabled children «Nadezhda»

This paper describes the mobile application 'Travel and Communication Assistant' which supports the mobility and communication of people with Intellectual and Developmental Disabilities (IDD). This application provides the possibility to people with IDD to independently perform a known route (for example a route from home to the day care center, from home to the baker's, etc.) under the remote supervision of their caregivers and to communicate with them using text, voice and pictogram messages.

**Keywords:** assistive technologies, intellectual and developmental disabilities, alternative communication systems, mobile application.

## Введение

Когнитивные нарушения – это нарушения познавательных (когнитивных) функций мозга. К когнитивным функциям относят наиболее

сложные функции головного мозга, с помощью которых осуществляется процесс рационального познания мира и обеспечивается целенаправленное взаимодействие с ним. К когнитив-

ным нарушениям относят нарушения таких процессов, как память, речь, мышление, восприятие и осуществление целенаправленных движений [1]. Люди с когнитивными нарушениями являются инвалидами и относятся к маломобильной группе населения (МГН). Одним из приоритетных направлений социальной политики РФ является создание доступной среды для инвалидов и МГН, государство выделяет средства из бюджета для финансирования программ по улучшению социальной среды для инвалидов и МГН [2]. По данным Волгоградской области, каждый пятый житель Волгоградской области относится к инвалидам и МГН, а система социальной защиты населения Волгоградской области представлена 142 учреждениями, что говорит о большом числе людей, нуждающихся в активной поддержке государства и общества [2].

Проблема социализации людей инвалидов является одной из наиболее критичных [3]. Большинство существующих мобильных приложений по организации коммуникаций между людьми ориентированы на широкий круг пользователей и не учитывают особенности инвалидов и МГН. Существуют специализированные мобильные приложения для людей с когнитивными нарушениями, однако они не могут учесть индивидуальные особенности каждого человека, что делает невозможным их широкое использование. Для учета этих особенностей был разработан подход к созданию программных продуктов на основе ориентации на конечного пользователя (UserCenteredDesign, UCD), детально описанный в ISO 9241-201:2010 [4]. Данный подход предполагает активное вовлечение конечных пользователей в процесс разработки программных продуктов на всех этапах разработки. Однако, вовлечение людей с когнитивными нарушениями в процесс проектирования и реализации специализированных приложений осложнено природой заболеваний, поэтому применение некоторых особенностей подхода с ориентацией на конечного пользователя невозможно или затруднительно.

Данная статья описывает специализированное мобильное приложение для поддержки независимого передвижения и коммуникаций людей с когнитивными нарушениями, разработанное на основе технологии USD. Представленная работа направлена на повышение социальной адаптации людей с когнитивными нарушениями нивелирование для них социального и информационного барьеров.

## 1. Архитектура и реализация мобильного приложения

Существует множество мобильных приложений, поддерживающих передвижение и обеспечивающих коммуникацию людей с когнитивными нарушениями: приложение для поддержки независимого передвижения людей с когнитивными нарушениями DigitalTravel-Assistant; AAC speech communicator; Autism Speech DiegoSays; «Говори Молча: Аутизм Диалог» и др. Однако все существующие приложения имеют ряд существенных недостатков: они не являются кроссплатформенными; не обеспечивают адаптацию пользовательского интерфейса в процессе работы с пользователем, вместо этого предлагается только минимальная настройка интерфейса пользователя; размеры элементов интерфейса фиксированы, цвета элементов и фона не настраиваются; нет возможности организации группового общения наставника с подопечными. Кроме того ни одно приложение не предоставляет пользователю с когнитивными нарушениями комплексную поддержку передвижения и коммуникаций.

Разработанное приложение расширяет возможности существующих приложений и устраняет эти недостатки, оно позволяет создавать адаптивный интерфейс, то есть настраивать элементы и доступные функции в процессе построения пользовательского интерфейса и во время работы с ним, поддерживает создание и редактирование пиктограмм и категорий пиктограмм, текстовых и пиктограммных сообщений, а также осуществляет перевод текста на русском языке в пиктограммное сообщение и обратно.

Мобильное приложение «Travel and Communication Assistant» состоит из серверной части и двух клиентских частей (рис. 1) – для пользователя с когнитивными нарушениями (далее – подопечный), и для человека, ответственного за него (далее – наставник). Сервер отвечает за передачу сообщений между пользователями, хранение их данных и рассылку обновлений пользователям. Клиентская часть для наставника позволяет настраивать интерфейс подопечного, создавать маршруты движения для подопечного и отслеживать его перемещение по выбранному маршруту, а также общаться с подопечным и группами подопечных. Клиентская часть для подопечного отображает настроенный наставником интерфейс и позволяет подопечному общаться с наставником, родителями и другими людьми, используя текстовые, голосовые сообщения и сообщения из пиктограмм.

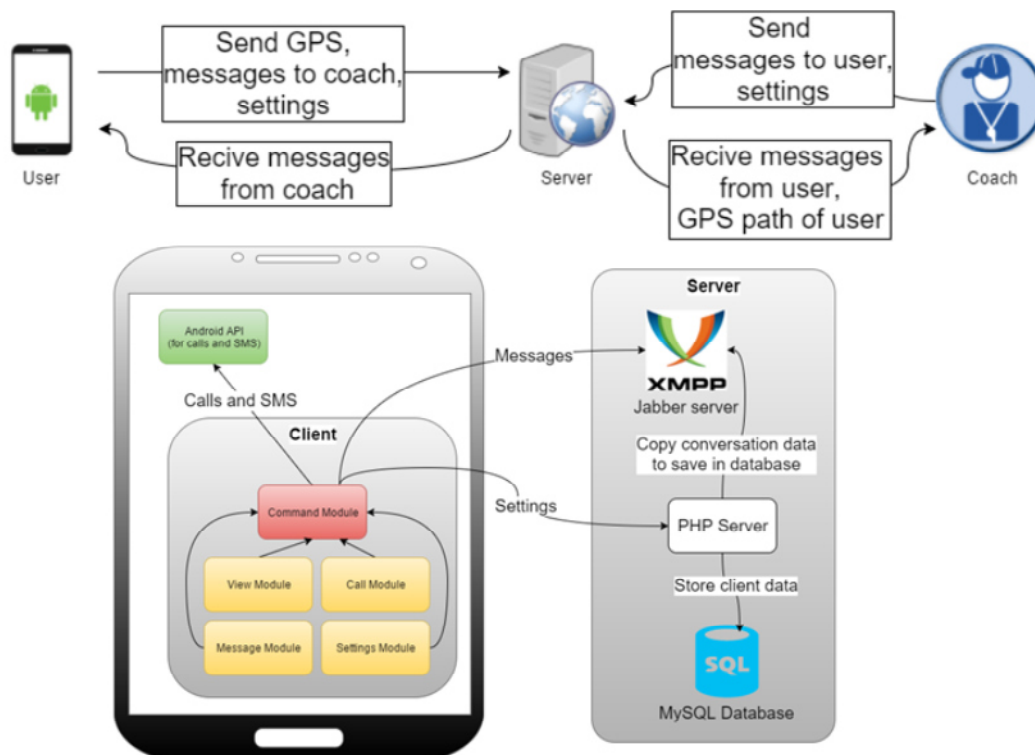


Рис. 1. Клиент-серверная архитектура мобильного приложения

На рис. 2 представлена диаграмма классов клиентской части приложения.

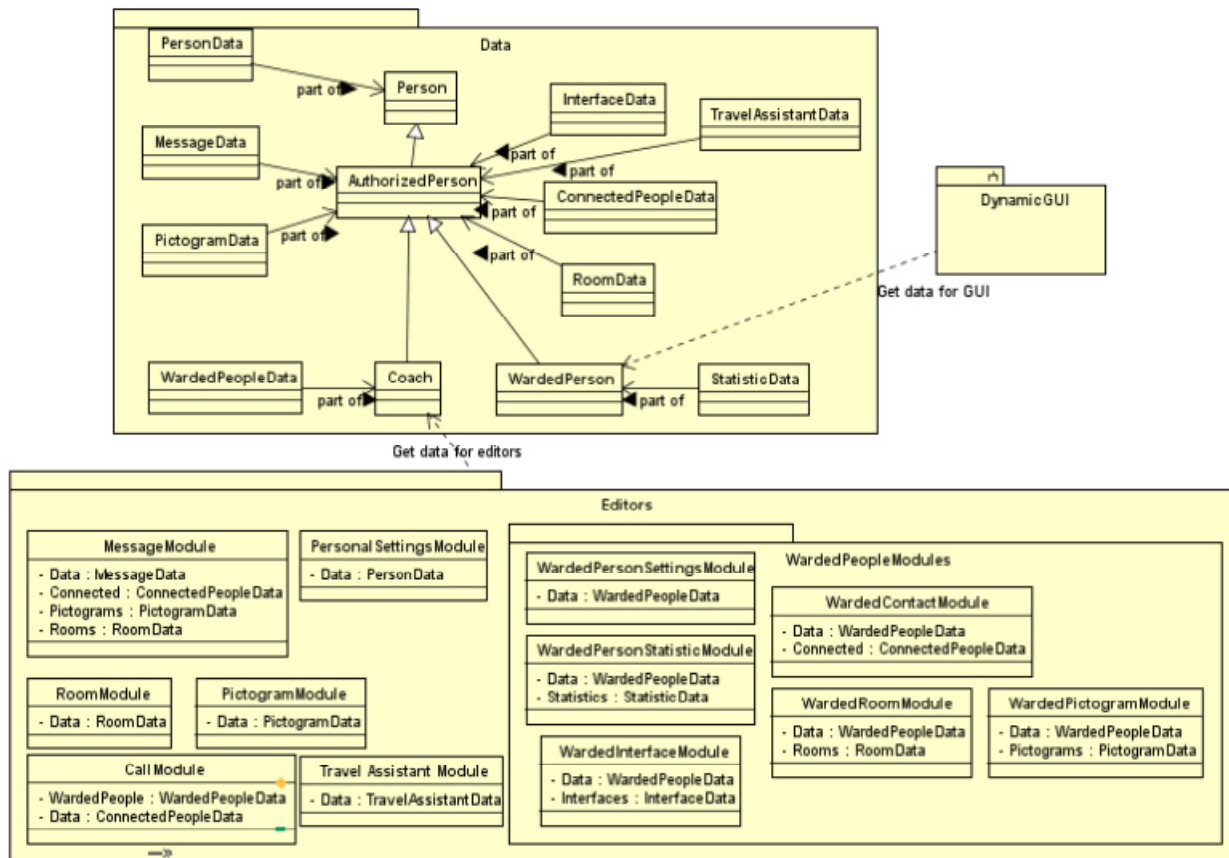


Рис. 2. Диаграмма классов клиентской части мобильного приложения

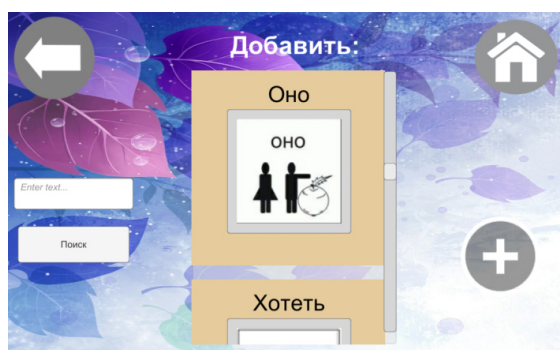
Клиентская часть для наставника реализует следующие функции:

1. Создание и редактирование профилей пользователей с когнитивными нарушениями.
2. Создание маршрутов и их настройка.
3. Отслеживание местоположения подопечного и его передвижения по выбранному маршруту.
4. Общение с подопечным с помощью сообщений из пиктограмм, текстовых сообщений и звонков.
5. Создание и редактирование категорий пиктограмм и пиктограмм в категориях.
6. Создание и управление группами пользователей, которые могут включать несколько тренеров и подопечных (например, в условиях реабилитационного центра).
7. Настройка интерфейса подопечного в соответствии с его возможностями.

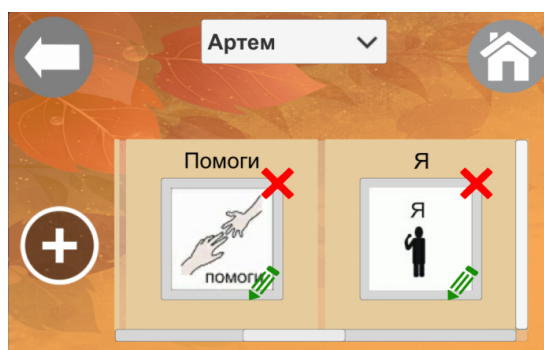
Возможности людей с когнитивными нару-

шениями могут серьезно различаться в зависимости от конкретных заболеваний. Одни не могут набирать текстовые сообщения, другие могут иметь проблемы с манипулированием объектами на экране и речью. Мобильное приложение включает в себя адаптивный интерфейс для пользователя с когнитивными нарушениями, который может изменяться в соответствии с возможностями конкретного пользователя. Данная настройка интерфейса включает в себя следующие компоненты: выбор типа сообщений для пользователя (текстовые, голосовые или с использованием пиктограмм), быстрые сообщения, выбор доступных экранов приложения, создание и настройка пиктограмм и категорий пиктограмм, настройка размеров элементов интерфейса, цвета элементов и фона.

На рис. 3 показаны экраны добавления пиктограмм (а) и настройки пиктограмм для конкретного пользователя (б) в приложении для наставника.



а



б

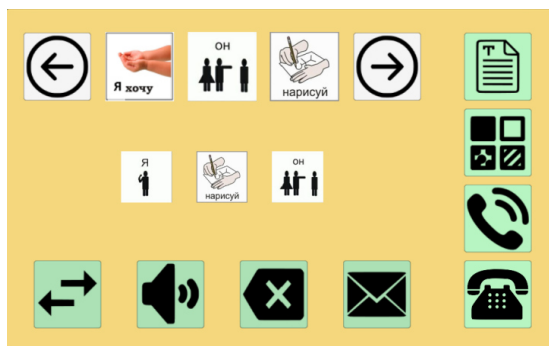
Рис. 3. Экраны приложения для наставника

Для обеспечения коммуникаций для людей с когнитивными нарушениями клиентская часть для подопечного реализует следующие функции:

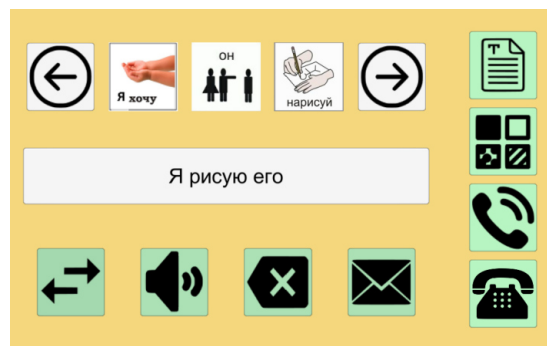
1. Звонки тренеру в случае опасности.
2. Набор сообщений с помощью текста и пиктограмм.
3. Отправка/получение быстрых сообщений.
4. Звонки другим пользователям.

5. Отображение полученных сообщений.
6. Перевод текстовых сообщений в пиктограммы и обратно.
7. Озвучивание сообщений из текста или пиктограмм.

На рис. 4 представлены экраны набора сообщений из пиктограмм (а) и перевода в текст на русском языке (б) в приложении для подопечного.



а



б

Рис. 4. Экраны приложения для подопечного

При разработке приложения были использованы следующие сервисы и технологии: Unity3d, C#, GoogleMapsAPI для клиентской части приложения, PHP, MySql и XMPP для серверной части приложения, сервис Text2Picto для перевода текстовых сообщений в наборы пиктограмм и обратно, а также базы пиктограмм Sclera, Beta и PECS.

## **2. Перевод текстовых сообщений на русском языке в пиктограммы**

При разработке клиентской части приложения для подопечного возникла проблема перевода текстовых сообщений на русском языке в пиктограммные сообщения и обратно. В настоящее время существует ряд систем и веб-сервисов, реализующих данную функцию для различных европейских языков, можно упомянуть следующие программные продукты: Communicator, Pictograph Chat Communicator III, VIL, Visual Inter Lingua, SymbolChat и др. [5–8]. В частности, в университете KU Leuven в Бельгии была создана система для перевода текста на естественном языке в последовательность пиктограммных изображений для людей с интеллектуальными и речевыми нарушениями и реализован соответствующий веб-сервис «Text2Picto» [9], который позволяет переводить текст на голландском, английском и испанском языках. Гибкая архитектура проекта «Text2Picto» дает возможность добавлять поддержку перевода любого естественного языка, для которого существует тезаурус в формате WordNet и электронная словарная база с описанием частей речи и возможностью осуществлять лемматизацию словоформ языка. Поэтому было решено реализовать расширение веб-сервиса «Text2Picto» для русского языка и использовать это расширение в разрабатываемом мобильном приложении.

Основной идеей проекта «Text2Picto» является использование технологии WordNet. WordNet – это формат электронного тезауруса, который содержит синсеты (группы синонимов), объединяющие несколько лемм. Таким образом, можно связать пиктограмму не с одним конкретным словом, а с одним или несколькими синсетами. Существует большое количество баз WordNet для различных языков, которые имеют такую структуру [10].

Разработчики «Text2Picto» вручную связали 5710 пиктограмм системы Sclera и 2760 пиктограмм системы Beta с синсетами для голландского языка [11]. База WordNet для голландского языка, которая носит название «Cornetto»,

устроена таким образом, что в ней содержатся связи между ее синсетами и синсетами Принстонской базы WordNet для английского языка, которую иначе называют центральной базой WordNet. При создании электронных тезаурусов для многих языков обозначаются связи между синсетами исходного языка и эквивалентными им по семантическому значению синсетами на английском языке центральной базы WordNet [10]. На рис. 5 показано, как используются связи баз WordNet для голландского и испанского языков с центральной базой WordNet в проекте «Text2Picto».

Использование связей с центральной базой WordNet в голландской базе позволило разработчикам системы «Text2Picto» достаточно быстро реализовать поддержку английского языка в проекте. Для этого не требовалось создавать связи между пиктограммами и синсетами английского языка, так как для них можно определить соответствующие голландские синсеты, для которых уже известны пиктограммы. Подобным образом можно осуществить в проекте поддержку любого другого языка, для которого есть WordNet с имеющимися в нем связями с центральной WordNet. Таким образом в «Text2Picto» был добавлен испанский язык.

Поиск пиктограмм, соответствующих синсетам испанского языка, происходит также через голландскую базу WordNet, с использованием базы для английского языка в качестве связующего промежуточного звена [11].

В настоящее время существует несколько тезаурусов для русского языка, собранных различными университетами или компаниями, однако они несколько уступают базам для голландского или испанского языка. Основной сложностью разработки WordNet для русского языка является его богатый лексикон и сложная грамматика. При обработке русского языка возникают такие проблемы, как сложная морфология слов, неологизмы, омонимия, свободный порядок слов в синтаксисе и раскрытие анафор. В силу того, что язык пиктограмм является упрощенным языком для людей с ментальными и речевыми нарушениями, можно опустить семантический анализ концептов языка в контексте. Достаточно использовать наиболее часто употребляемые значения каждой леммы языка. Главной проблемой реализации русскоязычного расширения является то, что ни одна из существующих баз WordNet для русского языка не имеет связей с центральной WordNet для английского языка. Это означает, что возможность добавить в «Text2Picto» поддержку русского

языка так, как это было сделано для испанского языка, отсутствует. Существуют следующие пути решения данной проблемы:

1. Создание связей между пиктограммами и синсетами базы WordNet для русского

языка вручную.

2. Создание связей между синсетами базы для русского языка и синсетами центральной базы для английского языка с помощью электронных словарей и систем перевода.

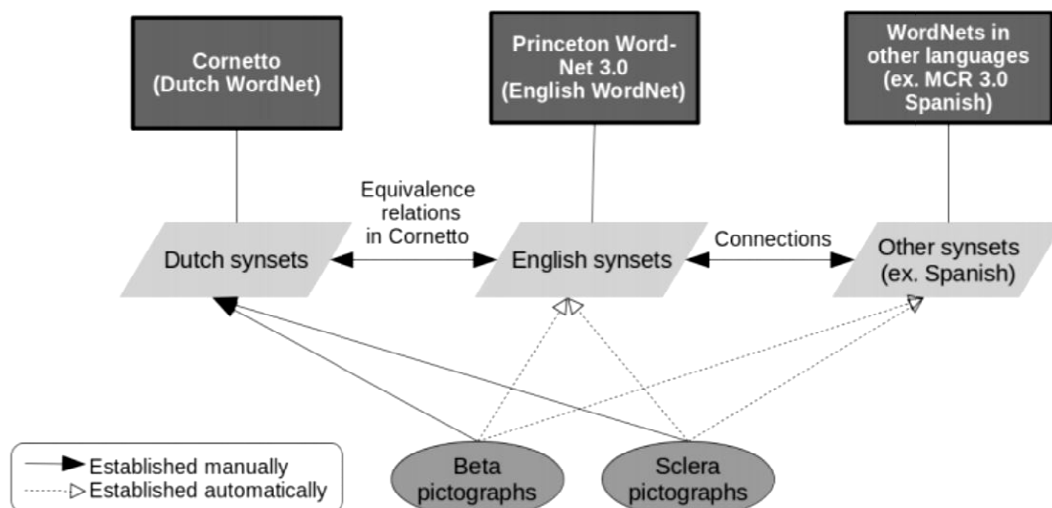


Рис. 5. Связи между базами WordNet для голландского, английского и испанского языков в проекте «Text2Picto»

Первый подход позволяет обеспечить высокое качество перевода, так как все смысловые концепты в синсетах WordNet для русского языка будут анализироваться человеком, что позволит более точно подобрать к ним соответствующие пиктограммы. Однако, данный процесс требует огромных затрат времени в силу большого количества пиктограмм и синсетов в базе, поэтому для реализации русскоязычного расширения «Text2Picto» был выбран второй подход.

Для создания связей между синсетами в базе WordNet для русского языка и центральной базы WordNet для английского необходимо было осуществить перевод лемм с одного языка на другой в одной из WordNet и найти соответствующие леммы в другой WordNet по их переводу. Было принято решение переводить леммы английского языка на русский язык.

В результате перевода многих лемм английского языка на русский может возникнуть несколько вариантов, которые в русском языке могут иметь различное семантическое значение и часть речи. Например, английское слово «sea» можно перевести как «море», что может принадлежать различным синсетам базы WordNet для русского языка. «Море» может относиться к концептам, обозначающим водоем и концептам, обозначающим количество со значением «много». Если переводить на язык

пиктограмм слово «море», то наиболее ожидаемым результатом пользователя будет изображение водоема, так как для обозначения большого количества существуют более точные и часто употребляемые слова. Для решения подобных проблем при создании связей между синсетами для разных языков нужно определять, насколько синсеты схожи по своему составу.

Процесс создания связей между синсетами на разных языках должен включать в себя следующие шаги:

1. Выбрать один из синсетов центральной базы WordNet для создания связей.

2. Перевести все леммы выбранного синсета на русский язык, получив все варианты переводов всех лемм синсета. Найти все синсеты в базе WordNet для русского языка, в которых присутствуют в качестве лемм хотя бы некоторые из вариантов переводов, найденных на предыдущем шаге.

3. Подсчитать количество вхождений вариантов перевода в каждом из синсетов, найденных на предыдущем шаге.

4. Выбрать те синсеты базы WordNet для русского языка, в которых было найдено наибольшее количество вхождений вариантов переводов.

Таким образом, только наиболее семантически близкие концепты будут связаны между собой в базах WordNet для разных языков. По-

мимо этого, данный подход позволяет избежать проблем омонимии в русском языке в некоторой степени. Это происходит благодаря тому, что даже если в синсете для русского языка будет найдено вхождение одного из вариантов перевода, то количество таких вхождений будет мало, и синсет не будет выбран в качестве наиболее семантически близкого с анализируемым концептом на английском языке.

Процесс перевода текстового сообщения на русском языке в последовательность пикто-

грамм нотации Beta представлен на рис. 6. После ввода текстового сообщения на естественном языке производится лемматизация всех слов в тексте для получения последовательности лемм (начальных форм). После этого начинается процесс поиска входных лемм в составе синсетов базы WordNet для русского языка. Те леммы, которые не были найдены в WordNet, необходимо игнорировать, так как далее найти соответствующие им пиктограммы будет невозможно.

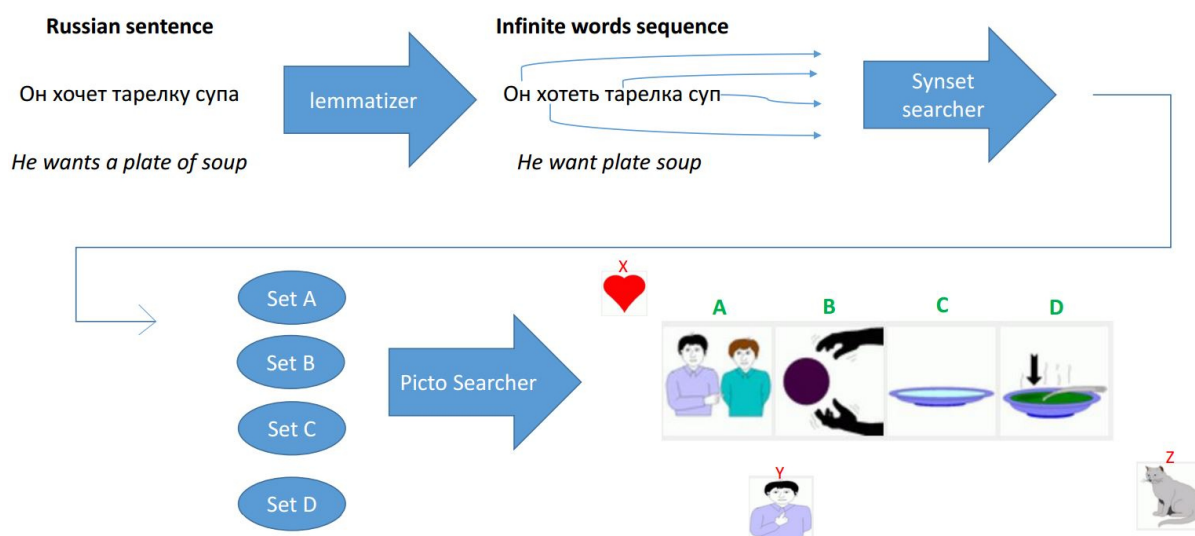


Рис. 6. Схема процесса перевода текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм

Далее происходит поиск пиктограмм, соответствующих найденным синсетам, с использованием английской базы WordNet в качестве промежуточного звена, как было описано выше.

Для реализации описанного выше подхода в базу данных «Text2Picto» были добавлены 143505 лемм русского языка, которые сгруппированы в 73051 синсетов базы WordNet. В процессе создания связей между синсетами центральной базы WordNet для английского языка и базы WordNet для русского языка было добавлено 85148 записей, описывающих пары соответствующих друг другу синсетов из баз для разных языков. Это позволило реализовать удовлетворительный перевод предложений на русском языке в последовательность пиктограмм и дало возможность использовать данный сервис при разработке мобильного приложения «Travel and Communication Assistant» на русском языке.

### Заключение

Разработанное мобильное приложение «Travel and Communication Assistant» предназначено

для людей с когнитивными нарушениями и лиц, работающих с ними (членов семьи, опекунов, социальных работников, коррекционных педагогов, логопедов, психологов) для поддержки независимого передвижения и коммуникаций. Приложение также может быть использовано в качестве понятного и доступного средства общения людей с когнитивными нарушениями между собой и в общественных местах, таких как магазины, больницы, библиотеки и др.

Приложение «Travel and Communication Assistant» тестировалось в Областном реабилитационном центре для детей-инвалидов «Надежда» (г. Волжский) в группе детей дошкольного возраста с расстройствами аутистического спектра (РАС). По результатам тестирования специалисты центра отметили, что использование приложения дало возможность детям с РАС и другими нарушениями сообщить о своих желаниях или состоянии здоровья с помощью предложений из пиктограмм, что значительно повлияло на уменьшение проявления различных форм нежелательного поведения. У детей

совершенствуются произвольные процессы внимания и памяти, расширяется объем восприятия, активизируется импрессивная и экспрессивная сторона речи, появляется опыт составления и проговаривания простой фразы из отдельных слов.

В ближайшем будущем планируется реализовать адаптацию интерфейса во время взаимодействия с пользователем, а также провести серию тестовых испытаний разработанного приложения в различных целевых группах пользователей с когнитивными нарушениями в Бельгии и России.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Волгоградского реабилитационного центра для детей-инвалидов «Надежда», а также профессору Я. Декелверу, координатору инклюзивных исследований в университете Томаса Мора (Гель, Бельгия), за помощь в разработке и тестировании приложения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. "Definition of intellectual disability," Definition of intellectual disability. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aaidd.org/intellectual-disability/definition/#>.
2. Об утверждении государственной программы Волгоградской области «Формирование доступной среды жизнедеятельности для инвалидов и маломобильных групп населения в Волгоградской области» на 2014–2016 годы

[Электронный ресурс] : Постановление Правительства Волгоградской обл. от 30.12.2013 N 805-п. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/410800964>.

3. World Health Organization. 2015. World Health Statistics. (2015). – Режим доступа : [http://apps.who.int/gbo/publications/world\\_health\\_statistics/2015](http://apps.who.int/gbo/publications/world_health_statistics/2015).

4. ISO 9241-210 2010. Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centered design for interactive systems. Standard. International Organization for Standardization, Geneva, CH.

5. R. Mihalcea and C. Leong, Toward Communicating Simple Sentences Using Pictorial Representations, Machine Translation, vol. 22, no. 3, pp. 153173, 2009.

6. P. Leemans, VIL: A Visual Inter Lingua. Dissertation. Worcester Polytechnic Institute, 2001.

7. R. Patel, S. Pilato and D. Roy "Beyond Linear Syntax: an ImageOriented Communication Aid," ACM Journal of Assistive Tech

8. T. Keskinen, T. Heimonen, M. Turunen, J. Rajaniemi, and S. Kauppinen, "SymbolChat: A Flexible Picture-based Communication Platform for Users with Intellectual Disabilities," Interacting with Computers, vol. 24, no. 5, pp. 374–386, 2012.

9. Text2Picto [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://webservices.ccl.kuleuven.be/picto/>.

10. P. Vossen, I. Maks, R. Segers, and H. van der Vliet, Integrating Lexical Units, Synsets, and Ontology in the Cornetto Database, in LREC 2008 Proceedings of the 6th International Conference on Language Resources and Evaluation, 2008.

11. L. Sevens, V. Vandeghinste, and F. Van Eynde, Improving the Precision of Synset Links Between Cornetto and Princeton WordNet, in LG-LP 2014 Proceedings of the COLING Workshop on Lexical and Grammatical Resources for Language Processing, 2014.

УДК 502.5 : 004.912

*А. А. Платонов*

#### АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОИСК И СБОР ИНФОРМАЦИИ ИЗ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ

Волгоградский государственный технический университет  
apl@at@mail.ru

Представлена система автоматизированного сбора статей из открытых новостных ресурсов об экологической обстановке городских и пригородных территорий. Проведен анализ новостных интернет-ресурсов по структуре сайта и принципам организации хранения информации. Представлена классификация новостных ресурсов в отношении наличия и объемов информации по экологической обстановке. Выделен набор таких данных для их накопления в базах данных и последующей автоматической обработки. Разработано программное обеспечение для классификации ресурсов на основе статистических данных методом Фишера.

*Ключевые слова:* автоматический сбор информации, классификация источников, фильтрация информации, экология города.

*A. A. Platonov*

#### AUTOMATIC COLLECTION OF URBAN AND SUBURBAN ENVIRONMENTAL INFORMATION FROM ONLINE MEDIA

Volgograd State Technical University

The system for automated collection information from open news resources which contain the environment data is introduced. Analysis of online news sources is made considering the structure information store and navigation. A set of data required for accumulation is defined and their classification is made. Software for classification of documents on basis of statistical data by Fisher algorithm is implemented.

*Keywords:* automatic collection of information, sources classification, information filtering, urban ecology.

С точки зрения экологии современные города и поселки городского типа вместе с прилегающими к ним территориями представляют собой сложные экосистемы. Их специфика определяется не только высокой концентрацией большого количества людей на ограниченном пространстве, но и концентрацией на том же пространстве промышленного производства и производства услуг, а также транспортных средств, включая автотранспорт. Все это ведет к росту антропогенной нагрузки на окружающую городскую среду и усиливает ее загрязнение. Город потребляет из окружающей природной среды огромное количество природных ресурсов, а возвращает в нее отходы своей жизнедеятельности, которые могут в избытке накапливаться в биосфере, если не предусмотрены эффективные меры их вторичной переработки.

Для разработки системы таких мер необходимо постоянное получение и анализ данных о состоянии городской среды, основным инструментом которого является непрерывный экологический мониторинг.

Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов, должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию о состоянии окружающей среды, а также о причинах наблюдаемых и вероятных изменений состояния (т. е. об источниках и факторах воздействия) [1].

Получаемые в результате этих наблюдений и их последующего анализа сводные данные о состоянии городской экологии позволяют прогнозировать экологическую обстановку урбанизированных территорий на несколько лет вперед и принимать меры для устранения неблагоприятных воздействий и явлений [2]. Также следует отметить, что сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством окружающей среды, но является источником информации, которая необходима для принятия экологически значимых решений.

Совокупность структурных элементов, обеспечивающих организацию и осуществление на единой методической основе измерительных

и информационных комплексов для наблюдения за источниками антропогенного воздействия в районе их расположения и воздействием этих источников на окружающую среду, образуют систему мониторинга источников антропогенного воздействия на окружающую среду [3]. Наиболее оперативный и удобный для обработки инструмент для мониторинга информации об экологической обстановке – Интернет.

Данные, публикуемые в сети Интернет, можно назвать неструктурированными из-за специфики структуры каждого ресурса. В основном, такие данные представлены в виде HTML страниц. В настоящее время, в связи с постоянным ростом информации во всемирной паутине, необходимо наличие инструментов, позволяющих использовать ее для решения различных производственных задач. Вследствие этого активно развивается область анализа текстовых данных и неструктурированной информации.

Информация, которую требуется собирать и обрабатывать, представляют собой информационные материалы об экологической обстановке в новостных ресурсах. Объектом для поиска является статья (или новость), у которой есть заголовки, дата появления и сам текст сообщения.

Задача предварительной обработки данных обычно решается в три этапа: консолидация, трансформация и очистка. Самым трудоемким этапом является консолидация данных, которая включает в себя сбор данных: извлечение данных из различных интернет-источников, а также их преобразование к единому формату для последующего использования. Трансформация включает в себя комплекс методов и алгоритмов, направленных на оптимизацию представления информации с точки зрения решаемых задач и целей анализа. Очистка – процесс выявления и исключения различных факторов, мешающих корректному анализу данных, например, дубликаты статей на различных ресурсах. В рамках данной работы рассматривается задача консолидации информации из открытых интернет источников [4].

Существует множество систем для выполнения задач извлечения текстовых данных из интернет-источников. Вот некоторые из них: <https://import.io/>, <http://scraping.pro/>, <http://web-scrapers.io/>. И хотя они предоставляют базовую функциональность по извлечению информации из интернет-ресурсов бесплатно, в основном, они узко специализированы под конкретные задачи, а также не позволяют фильтровать обрабатываемые документы по содержанию.

В процессе анализа новостных ресурсов по экологической обстановке удалось выделить два типа структуры этих источников:

ресурсы с календарем – предоставляют доступ к данным при помощи календаря, т. е. можно выбрать интересующую дату и просмотреть новости за этот день либо в указанном интервале дат;

ресурсы со списком, в которых имеется список всех страниц с новостями, упорядоченный по дате добавления сообщений;

ресурсы, использующие технологию AJAX для поиска и отображения отдельных новостей, при этом адрес запрашиваемой страницы остается неизменным, а ответ от сервера возвращается в формате XML или JSON [5].

Сбор статей из разных источников в Интернете осуществляется с помощью поискового робота (краулера) [6]. Для того чтобы поисковый робот смог обработать информационный источник, ему необходимо предоставить шаблоны ссылок на список с новостями и на сами новости. Производя разбор HTML страницы, он производит извлечение ссылочных тэгов и сопоставление их шаблону, после чего осуществляет переход на нужные страницы и сбор новостей. Таким образом, для каждого источника из

вышеупомянутого списка необходимо указать набор параметров для его обработки: как обходить массив с новостями, какую полезную информацию извлекать из страницы, а также период между запросами, зависящий от частоты появления новых сообщений на сайте.

Для сбора информации используем робота основанного на библиотеке Scrapy, написанной на языке Python [7]. Scrapy имеет широкий спектр встроенных инструментов, среди которых: обработка сессий и куки-файлов, сжатие HTTP трафика, HTTP аутентификация, кеширование HTTP данных, имитация веб-браузера, работа с файлами robots.txt, ограничение глубины поиска.

Сбор информации осуществляется в несколько этапов: выбор источников для мониторинга, определение необходимых данных для накопления, написание паука для извлечения данных, обработка извлеченных данных.

Для примера, в качестве источника информации, предоставляющего разнообразную новостную информацию (включая и ту, что касается экологии Волгограда и области) используем портал v1.ru (сайт <http://v1.ru/>), который является ресурсом со списком. Определим данные для сбора в классе V1Item:

```
from scrapy.item import Item, Field
class V1Item(Item):
    date = Field() # дата публикации статьи
    title = Field() # заголовок статьи
    link = Field() # ссылка на статью
    desc = Field() # текст статьи
```

Архив новостей доступен по ссылке <http://v1.ru/text/newslines/?p=1>, параметр p указывает на номер страницы с новостями, для доступа к архиву будем использовать регулярное выражение: `/newslines/?\d+`.

Мы будем использовать XPath для отбора извлекаемых данных из HTML страницы.

XPath выражение для извлечения даты публикации имеет вид `'div[@class="news-block-left"]/span/text()'`; заголовок статьи находится в разделе `'div[@class="news-block-left"]/a/span[@class="title2"]/text()'`; ссылки на статьи расположены в разделе `'div[@class="news-block-left"]/a/@href'`; описание – `'div[@class="news-block-justify"]/p/text()'`. Для запуска краулера используем следующее выражение:

```
scrapy crawl v1 -o scraped_data.json -t json
```

Загружаемые данные при этом сохраняются в формате json в файл `scraped_data.json`.

Классификатору, который мы построим для определения принадлежности статьи к тематике экологической обстановке, будут необходимы признаки для классификации различных образцов. Поскольку классифицируются документы (новостные статьи), то образцом считается документ, а признаками – встречающиеся в нем слова. При рассмотрении слов в качестве признаков, мы предполагаем, что некоторые слова вероятнее встретить в тематических статьях, чем в остальных сообщениях. Решить, что будет считаться признаками, – это одна из ключевых задач. Признаки должны быть достаточно распространенными, чтобы встречаться часто, но не настолько распространенными, чтобы попадаться в каждом документе.

При выборе слов в качестве признаков возникает ряд вопросов: как выделять слова, какие знаки препинания в них включать и следует ли учитывать информацию в заголовке материала.

Для фильтрации новостных статей воспользуемся методом Фишера [8], названного по имени Р. А. Фишера, – это метод классификации, который дает очень точные результаты. Он часто используется для фильтрации спама, например, в подключаемом модуле к программе почтового клиента Outlook. В отличие от наивной байесовской фильтрации [9], когда для вычисления вероятности всего документа перемножаются вероятности отдельных признаков, по методу Фишера вычисляется вероятность отнесения к той или иной категории для каждого признака документа, после чего эти вероятности комбинируются и проверяется, насколько получившееся множество похоже на случайное. Хотя метод Фишера более сложен, он обеспечивает большую гибкость при настройке параметров классификации как показано в [10].

Для выделения слов из текста статей будем использовать функцию разбиения текста на слова по любому символу, отличному от буквы, преобразовывая их в нижний регистр.

Перед добавлением слов в классификатор текст может подвергаться канонизации. Канонизация текста включает приведение оригинального текста к единой нормальной форме, он очищается от служебных частей речи, которые не должны участвовать в сравнении. Также на этапе канонизации текста предполагается приведение существительных к именительному падежу, единственному числу, для уменьшения избыточности словаря. Другим вариантом уменьшения количества форм слов в словаре является процедура стемминга – нахождения основы слова для заданного исходного слова [11]. Но поскольку при стемминге текста возможны ложные срабатывания в силу специфики морфологии русского языка, для решения многих лингвистических задач используются специальным образом подобранные и структурированные коллекции текстов (текстовые корпуса) [12–14]. Наиболее информативными являются размеченные корпуса, то есть такие, в которых частям текста приписана лингвистическая информация.

Вероятность попадания документа в некоторую категорию при условии наличия у этого документа конкретного признака  $P(\text{Категория} | \text{Признак})$  определяется отношением количества документов с данным признаком в этой категории к общему количеству документов с данным признаком. Например, если слово экосистема

встречается в 500 документах, из которых 499 содержат информацию об экологической обстановке, то оценка этого слова относительно категории «экология» будет очень близка к 1.

Создадим класс для представления классификатора, содержащий информацию о выделяемых системой фактах. В нем будут храниться счетчики признаков при различных классификациях, например: `{'природопользование': {'regular': 0, 'ecology': 6}, 'население': {'regular': 3, 'ecology': 3}}`. Это означает, что слово население трижды появлялось в документах, классифицированных как обычные (regular), и трижды – в документах, классифицированных как относящиеся к экологической тематике (ecology). Слово «природопользование» появлялось только в статьях об экологии. Класс также должен содержать словарь, в котором отражено, сколько раз применялась каждая классификация, а также функцию, с помощью которой из классифицируемых образцов выделяются признаки.

Это соотношение не учитывает, что для одной категории могло быть предъявлено гораздо больше документов, чем для другой. При наличии большого количества статей, не относящихся к экологической тематике и мало принадлежащих к данной теме новостей, то у слова, встречающегося во всех документах из категории «экология», будет высокая вероятность оказаться принадлежащим к данной категории, несмотря на то, что сообщение с равным успехом могло бы и не принадлежать к ней. Методы классификации работают лучше в предположении, что в будущем будет получено равное количество документов из каждой категории, поскольку это позволяет в полной мере воспользоваться признаками, по которым различаются категории. Для выполнения подобной нормализации, в методе Фишера вычисляются три величины:

1.  $P(\text{Признак} | \text{Категория})$  для этой категории.
2. Сумма  $P(\text{Признак} | \text{Категория})$  для всех категорий.
3. Вероятность того, что образец с указанным признаком принадлежит указанной категории, в предположении, что в каждой категории будет одинаковое число образцов (определяется как отношение частоты появления в данной категории к частоте появления во всех категориях).

Полная вероятность получается из вероятностей отдельных признаков. Теоретически их можно просто перемножить и сравнить резуль-

тат для данной категории с результатами для других категорий. Конечно, из-за того, что признаки не являются независимыми, истинной вероятности мы так не получим, но все же этот алгоритм работает гораздо лучше байесовского классификатора. Метод Фишера дает существенно более точную оценку вероятности. По методу Фишера все вероятности перемножаются, затем берется натуральный логарифм, и результат умножается на «-2».

Фишер доказал, что если бы вероятности были независимы и случайны, то результат этого вычисления подчинялся бы распределению хи-квадрат [wikifish]. Следует ожидать, что образец, не принадлежащий некоторой категории, будет содержать слова с различными вероятностями признаков для данной категории (их распределение было бы случайным), а в образце, принадлежащем категории, будет много признаков с высокими вероятностями.

Подав результат вычисления по формуле Фишера на вход обратной функции хи-квадрат, мы получаем вероятность того, что случайный набор вероятностей вернет такое большое число [11].

Определим нижние границы для классификации. Тогда классификатор вернет максимальное значение, укладывающееся в эти границы. Для нашего фильтра минимальную границу для категории «обычный» зададим равной 0,3. А для категории «экология» зададим гораздо меньшую границу, равную 0,7. Это уменьшает шансы попадания в эту категорию обычных сообщений. Любое сообщение, для которого оценка для категории выходит за эти границы, классифицируется как «Неизвестный».

И, наконец, добавим метод вычисления вероятностей для каждой категории и определения наилучшего результата, превышающего заданный минимум:

```
def classify(self, item, default=None):
    best=default
    max=0.0
    # Цикл для поиска наилучшего результата
    for c in self.categories():
        # Вероятность отнесения к заданной категории
        p=self.fisherprob(item,c)
        # Проверяем, что значение больше минимума
        if p>self.getminimum(c) and p>max:
            best=c
            max=p
    return best
```

Для обучения классификатора [15] было выбрано 230 статей, относящихся к экологической тематике, по ключевым словам: экология, мусор, отходы, природопользование, африканская чума, природа, древесина, свалка, Волго-Ахтубинская пойма. Также было выбрано 230 обычных статей по произвольным ключевым словам: культура, живопись, искусство, спорт, астрономия, планетарий, здравоохранение, пикеты, митинги, детское питание, соки, реклама.

При обработке текстов было выделено 20618 слов. После изъятия из словаря слов, встречающихся большое и примерно равное

количество раз в обеих классификациях, а также редко встречающихся слов, его размер составило 15 631 слово. Далее был запущен механизм сбора информации для сайта <http://v1.ru> с глубиной поиска 500 страниц (ресурс выдает по 30 статей на странице), в ходе анализа было обработано 14 970 новостных статей (публикации с мая 2013 года) за 37,33 минуты, из них классификатором выбрано 4113 статей, относящихся к экологической тематике.

На приведенном ниже рисунке показан график, содержащий сведения о количестве собранных текстов по экологической и смежной тематике в день с января 2015 г.

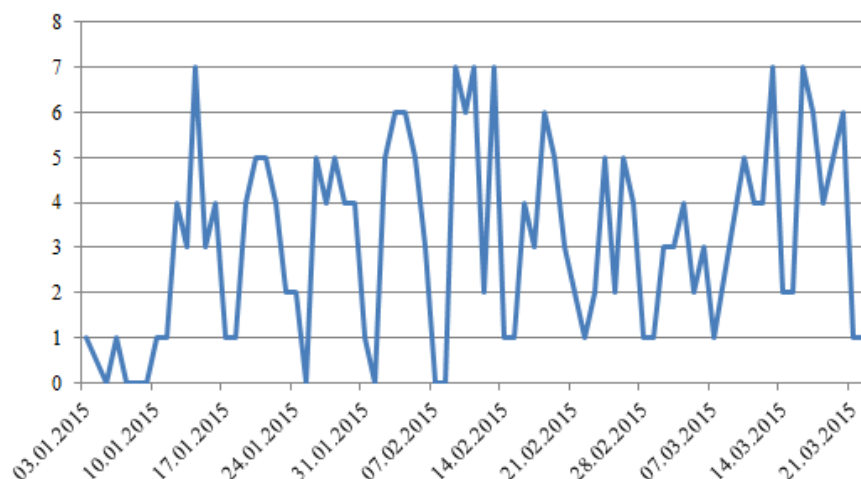


График количеств отобранных статей по экологической тематике с 1 января по 22 марта 2015 г.

В таблице приведены примеры заголовков статей, даты публикаций и ссылки на источник.

#### Заголовки статей, отобранных разработанным классификатором

| Дата публикации  | Заголовок                                                                  | Ссылка                                                                                      |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 марта 2015 г.  | В Волжском при пожаре в многоквартирке эвакуированы 35 человек             | <a href="http://v1.ru/text/newsline/897950.html">http://v1.ru/text/newsline/897950.html</a> |
| 2 марта 2015 г.  | В Волгоградской области вновь обнаружен очаг АЧС                           | <a href="http://v1.ru/text/newsline/897942.html">http://v1.ru/text/newsline/897942.html</a> |
| 2 марта 2015 г.  | В Киквидзенском районе при пожаре пострадал человек                        | <a href="http://v1.ru/text/newsline/897717.html">http://v1.ru/text/newsline/897717.html</a> |
| 3 марта 2015 г.  | Экологов подозревают в торговле разрешениями на хранение опасных отходов   | <a href="http://v1.ru/text/newsline/898374.html">http://v1.ru/text/newsline/898374.html</a> |
| 3 марта 2015 г.  | В Волгограде спасут от вырубki семилетнюю тую                              | <a href="http://v1.ru/text/newsline/898316.html">http://v1.ru/text/newsline/898316.html</a> |
| 3 марта 2015 г.  | В Волгограде сгорел очередной «Франтель»                                   | <a href="http://v1.ru/text/newsline/898172.html">http://v1.ru/text/newsline/898172.html</a> |
| 4 марта 2015 г.  | Экологи не нашли загрязнения воздуха в Кировском районе Волгограда         | <a href="http://v1.ru/text/newsline/898866.html">http://v1.ru/text/newsline/898866.html</a> |
| 4 марта 2015 г.  | В Волгограде при пожаре в частном доме эвакуированы 12 человек             | <a href="http://v1.ru/text/newsline/898853.html">http://v1.ru/text/newsline/898853.html</a> |
| 4 марта 2015 г.  | В Волгограде из-за костра в подвале многоквартирки эвакуировано 48 человек | <a href="http://v1.ru/text/newsline/898585.html">http://v1.ru/text/newsline/898585.html</a> |
| 4 марта 2015 г.  | В Волгоградской области в трех пожарах погибли три человека                | <a href="http://v1.ru/text/newsline/898578.html">http://v1.ru/text/newsline/898578.html</a> |
| 5 марта 2015 г.  | В Волгоградской области выявлен новый очаг АЧС                             | <a href="http://v1.ru/text/newsline/899082.html">http://v1.ru/text/newsline/899082.html</a> |
| 5 марта 2015 г.  | В Волгоградской области стартовали «Вестники весны»                        | <a href="http://v1.ru/text/newsline/899052.html">http://v1.ru/text/newsline/899052.html</a> |
| 6 марта 2015 г.  | В Руднянском районе введен режим чрезвычайной ситуации                     | <a href="http://v1.ru/text/newsline/899769.html">http://v1.ru/text/newsline/899769.html</a> |
| 6 марта 2015 г.  | «ЕПК «Волжский» проверяют на предмет несанкционированных выбросов          | <a href="http://v1.ru/text/newsline/899482.html">http://v1.ru/text/newsline/899482.html</a> |
| 6 марта 2015 г.  | Вокруг памятника Рокоссовскому будут высажены цветы и деревья              | <a href="http://v1.ru/text/newsline/899450.html">http://v1.ru/text/newsline/899450.html</a> |
| 7 марта 2015 г.  | На рынке в центре Волгограда торговали краснокнижными растениями           | <a href="http://v1.ru/text/newsline/899806.html">http://v1.ru/text/newsline/899806.html</a> |
| 10 марта 2015 г. | В Волгограде начался месячник по уборке                                    | <a href="http://v1.ru/text/newsline/900333.html">http://v1.ru/text/newsline/900333.html</a> |

Следует отметить, что в выборку также попали статьи по смежным к экологии темам, например: «Сельская администрация оштрафована за неубранные свалки», «В Волгоградском ботаническом саду началось цветение ирисов». В целом, отношение статей, соответствующих тематике по описанным выше критериям, к общему числу отобранных составляет порядка 0.7

Подобный подход к сбору информации имеет несколько недостатков, поскольку новому ресурсу систему надо заново обучать, а изменение структуры размещения информации на ресурсе необходимо обнаруживать и также переобучать систему. Избавиться от этих недостатков помогает автоматизация системы. Достигается она путем формализации структуры источников, что позволяет краулеру автоматически находить шаблоны ссылок на страницы.

Процесс автоматизации состоит из следующих этапов:

- поиск календаря (списка страниц) на сайте;
- формирование шаблона ссылок на страницы со списком новостей;
- формирование шаблона ссылок на новости;
- извлечение даты, заголовка и текста;
- определение изменения ресурса.

Данный подход позволяет устранить вышеупомянутые проблемы путем использования шаблонов ссылок и страниц новостных ресурсов, что, в свою очередь, также является не всегда тривиальной задачей и требует отдельного изучения.

Фильтрация статей методом Фишера – это один из примеров обучения классификатора с учителем, когда программе предъявляются правильные результаты, и она постепенно улучшает качество вырабатываемых гипотез. Построенный базовый каркас программного обеспечения позволяет определить функцию выделения признаков и настроить классификатор для работы с ней. Он будет классифицировать любой предъявленный образец при условии, что написанная функция способна выделить из него признаки.

Предложенная система позволяет существенно упростить поиск информации по заданным критериям, хотя и не всегда дает одинаково хорошие результаты. Представляется целесообразным ее использования в качестве модуля первичной обработки информации (поисковый модуль в терминах указанной работы) в рамках автоматизированной экспертной системы, описанной в [16].

В свою очередь, такая система позволит оптимизировать и существенно формализовать задачи информационного мониторинга как важно составляющей комплексного экологического мониторинга городских и пригородных территорий, необходимого для достижения устойчивого их развития. В будущем планируется доработка метода путем расширения корпуса ключевых слов и повышения его универсальности в отношении различных форм представления информации в интернет-изданиях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Платонов, А.А., Потапов, Р.Е. Обнаружение дубликатов статей в системе автоматического сбора информации из открытых источников об экологической обстановке // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. Т. 63. № 6(163) С. 79–82.
2. Лосевская, Е. А., Россинская, М. В. Мониторинг как инструмент регулирования устойчивого развития региона // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 20. № 2. С. 555–560.
3. Bogaert, J., Hong, S. K. Landscape ecology: monitoring landscape dynamics using spatial pattern metrics // Ecological issues in a changing world. Springer Netherlands, 2004. P. 109–131.
4. Castillo, C. Effective web crawling // ACM SIGIR Forum. ACM, 2005. Т. 39. № 1. P. 55–56.
5. Pastore, S. Feeds and Mashups: Towards New Web Applications Paradigms and Development for Information Distribution // IADIS International Conference WWW/ Internet. – 2008. – С. 409–413.
6. Heydon, A., Najork, M. Mercator: A scalable, extensible web crawler // World Wide Web. – 1999. – Т. 2. – №. 4. – С. 219–229.
7. Myers, D., McGuffee, J. W. Choosing scrapy // Journal of Computing Sciences in Colleges. – 2015. – Т. 31. – №. 1. – С. 83–89.
8. Segaran, T. Programming collective intelligence: building smart web 2.0 applications. O'Reilly Media, Inc., 2007. 334 p.
9. Зайцев, И. Б. Методика «наивного» Байесовского классификатора для задачи совместной фильтрации в системах рекомендации // Доклады Независимых Авторств. – 2005. – С. 20.
10. Mika, S. et al. Fisher discriminant analysis with kernels // Neural Networks for Signal Processing IX, 1999. Proceedings of the 1999 IEEE Signal Processing Society Workshop. – IEEE, 1999. – С. 41–48.
11. Hull, D. A. et al. Stemming algorithms: A case study for detailed evaluation // JASIS. – 1996. – Т. 47. – №. 1. – С. 70–84.
12. Кипяткова, И. С., Карпов, А. А. Автоматическая обработка и статистический анализ новостного текстового корпуса для модели языка системы распознавания русской речи // Информационно-управляющие системы. 2010. № 4.
13. Холоденко, А. Б. О построении статистических языковых моделей для систем распознавания русской речи // Интеллектуальные системы. 2002. Т. 6. Вып. 1–4. С. 381–394.
14. Moore, G. L. Adaptive Statistical Class-based Language Modeling: PhD thesis. Cambridge University, 2001. 193 p.
15. Ertekin, S. et al. Learning on the border: active learning in imbalanced data classification // Proceedings of the sixteenth ACM conference on Conference on information and knowledge management. ACM, 2007. P. 127–136.
16. Платонов, А. А., Санжапов, Б. Х. Автоматизированная система сбора и анализа данных при планировании развития городских территорий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительная информатика. 2014. Вып. 11(32). Ст. 5. Режим доступа : <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

УДК 504.064.36

*Б. Х. Санжапов, С. В. Молодцова, Н. М. Рашевский, А. А. Сеницын***РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА УНИФИКАЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА****Волгоградский государственный технический университет**

sbkh@mail.ru, svetla.molodtsova@yandex.ru, rashevsky.n@gmail.com, sinicin2008@gmail.com

В статье рассмотрены способы представления данных экологического мониторинга атмосферного воздуха. Предложен новый процесс по организации работы с результатами мониторинга. На основе предложенного процесса разработан веб-модуль, позволяющий повысить эффективность использования и хранения архивных данных.

*Ключевые слова:* экологический мониторинг, представление данных, качество воздуха.

*B. Kh. Sanzhapov, S. V. Molodtsova, N. M. Rashevskiy, A. A. Sinitsyn***DEVELOPMENT OF THE PROCESS OF UNIFICATION  
ENVIRONMENTAL MONITORING DATA REPRESENTATION****Volgograd State Technical University**

Ways of environmental monitoring data representation are discussed in this paper. A new process for the organization of work with the monitoring results is proposed. On the proposed process basis the web module was designed. The module application allows more efficient use of storage and archival data.

*Keywords:* environmental monitoring, data representation, air quality.

**Введение**

В настоящее время стремительными темпами развивается промышленность, возрастает число перерабатываемых отходов, выбросов токсичных веществ и иных вредных загрязнителей, что отрицательно сказывается на состоянии всех сфер Земли. Проводимый мониторинг окружающей среды разбит по отдельным объектам природы, следовательно, образуется значительное количество данных об их параметрах [1]. Наиболее актуальными являются сведения о состоянии атмосферного воздуха. Именно атмосферному воздуху уделяется большое внимание, поскольку он обладает свойством быстрого изменения своего компонентного состава за короткий промежуток времени, а также отличается высокой степенью подвижности по сравнению с другими составляющими.

Данные о результатах экологического мониторинга атмосферного воздуха требуются в различных исследованиях, направленных на моделирование распространения загрязняющих веществ, оценки и прогнозирования качества воздуха и др. В этой статье предлагается процесс работы веб-модуля представления данных экологического мониторинга, который упрощает доступ к данным за счет унификации информации, полученной от различных источников. Обоснование необходимости создания подобного веб-модуля обосновывается в статье [2].

**Доступ к архивным данным результатов  
мониторинга атмосферного воздуха**

Мониторинг атмосферного воздуха – система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, его загрязнением и за происходящими в нем природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха, его загрязнения [3].

Система мониторинга атмосферного воздуха решает вопросы, связанные с контролем качества воздуха, получением объективных исходных данных, информированием граждан о его состоянии и анализом эффективности природоохранных мероприятий [4].

Стоит отметить, что объективная оценка уровня загрязнения атмосферы является важной задачей. Но не менее актуальным является вопрос о хранении и обеспечении доступа к архивным данным о результатах экологического мониторинга атмосферного воздуха.

В России за сбор и хранения данных отвечают государственные органы муниципального (городские и областные комитеты по экологии) или федерального (Росгидромет) значения. Получение информации осуществляется по обращению граждан или юридических лиц в данные организации. Однако, время обработки данных обращений может занимать до 30 дней, а также требует определенных бюрократических процедур, а именно формального ответа от органов

исполнительной власти. Данная форма взаимодействия проблематична как для граждан, т. к. требуется много времени на ожидание результатов запросов, так и для органов исполнительной власти, т.к. необходимо отрывать специалистов от их непосредственной работы. В случае если в определенный момент времени поступит множество заявок, работа ведомства может приостановиться, потому что сотрудники вынуждены будут отвечать на заявки граждан.

За рубежом доступ к данным осуществляется с помощью автоматизированных веб-сервисов [5, 6]. Организации, отвечающие за предоставление данных, один раз загружают данные на сервис, а пользователи могут в любой момент получить необходимый набор информации, а также в дальнейшем ссылаться на данный ресурс как источник данных.

#### Модель запроса данных результатов мониторинга атмосферного воздуха

Рассмотрим процесс запроса данных о результатах экологического мониторинга атмосферного воздуха как одноканальную систему массового обслуживания (СМО) с неограниченной очередью.

Предположим, что поток заявок (запрос данных пользователем), поступающих в СМО, имеет интенсивность  $\lambda$ . Поток обслуживания (результат, получаемый пользователем) –  $\mu$ . Система может находиться в одном из состояний  $A_0, A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$ .  $A_0$  – канал свободен,  $A_1$  – канал обслуживает заявку (очереди нет),  $A_2$  – канал обслуживает заявку (одна стоит в очереди),  $A_3$  – канал обслуживает заявку (две стоят в очереди) и т.д. Граф состояний СМО представлен на рис. 1.

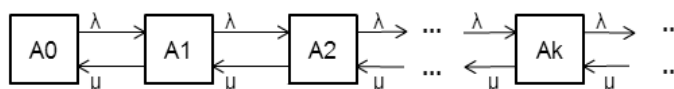


Рис. 1. Граф состояний СМО

Рассмотрим эффективность обработки заявки в двух ситуациях:

- гражданин обращается в орган исполнительной власти (в данной ситуации время выполнения заявки равно 30 дням);
- гражданин обращается к веб-сервису (в данной ситуации время выполнения заявки равно 2 минутам).

Допустим, что интенсивность поступающих заявок  $\lambda$  равна 0.5 в месяц.

Используя методику, предложенную в источнике [7], рассчитаем ожидание заявок для вышеуказанных случаев. Результаты приведены в таблице.

Из расчетов, представленных в таблице, видно, что СМО для автоматизированного сервиса намного эффективней существующего подхода – непосредственного обращения в орган исполнительной власти.

#### Расчет характеристик СМО

| Параметр                                                           | Ситуация 1 | Ситуация 2             |
|--------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|
| Вероятность того, что обработчик свободен                          | 0,5        | 0,999977               |
| Вероятность того, что обработчик занят                             | 0,5        | 0,000023               |
| Вероятность того, что обрабатывается 1 заявка (в очереди 0 заявок) | 0,25       | $2,3 \times 10^{-5}$   |
| Вероятность того, что обрабатывается 2 заявка (в очереди 1 заявка) | 0,125      | $5,28 \times 10^{-10}$ |
| Среднее число заявок ожидающих обработки                           | 0,5        | $5,28 \times 10^{-10}$ |
| Среднее число обрабатываемых заявок                                | 1          | $2,3 \times 10^{-5}$   |

#### Процесс представления данных экологического мониторинга

Авторами разработана модель процесса представления архивных данных с результатами экологического мониторинга атмосферного воздуха, которая устраняет упомянутые выше проблемы по хранению, обработке и передачи

данных. Рассмотрим более подробно декомпозицию основного процесса (рис. 2).

Входными данными подпроцесса являются первичные данные с постов экологического мониторинга в виде текстового файла. В зависимости от организации файл может иметь различную структуру, формат, периодичность

данных и др. Например, файлы, полученные в результате запроса от Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга [8], имеют формат “.html” и содержат только информацию о значениях превы-

шающих среднесуточную предельно допустимую концентрацию, а файлы, полученные от Комитета природных ресурсов и экологии Волгоградской области [9], имеют формат “.xls” и содержат значения загрязнений для всех временных отрезков.

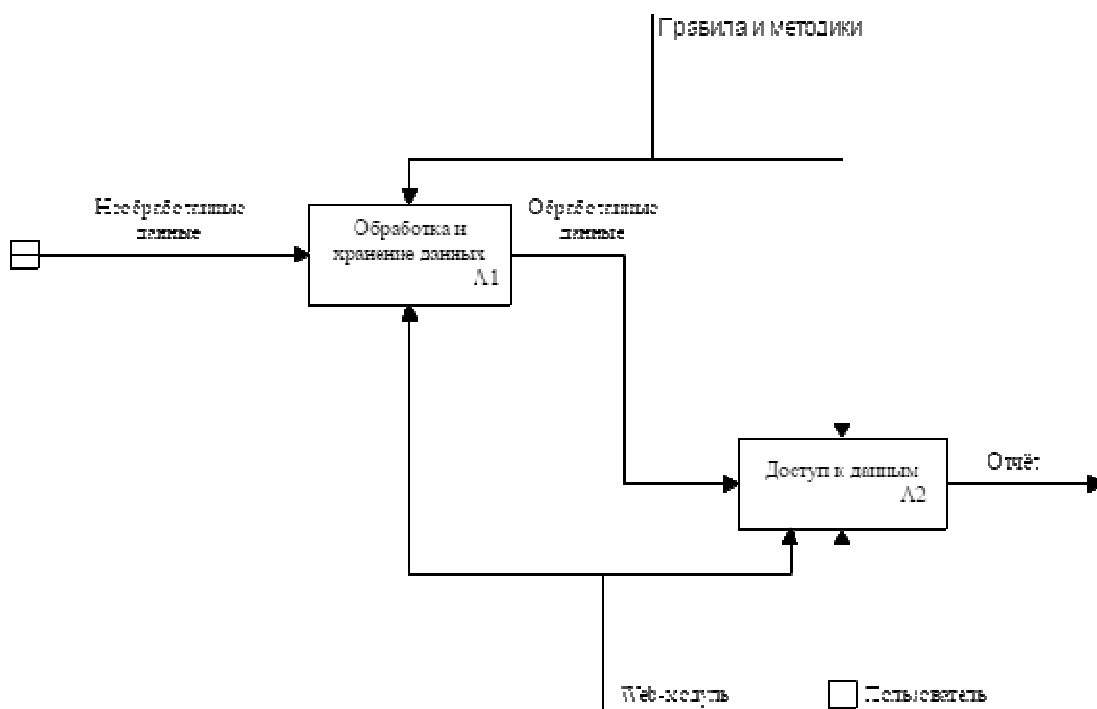


Рис. 2. Представление архивных данных экологического мониторинга

Использование таких данных практически невозможно без предварительной обработки. Унификация формата требует применения различных алгоритмов обработки.

В подпроцессе «Обработка и хранение данных» осуществляется преобразование исходных (нетипизированных) данных к единому формату, хранящихся в файле с расширением “.csv”. По окончании подпроцесса файл помещается на хранение в каталог, доступ с правом на чтение к которому имеют все пользователи модуля. Каталог имеет следующую структуру: страна – город – идентификатор поста – загрязняющее вещество – файл с данными (название содержит год и месяц хранящейся информации). Пример структуры каталога приведен на рис. 3.

Загружать файлы с первичными данными могут только авторизованные пользователи. Это необходимо для предотвращения несанкционированного доступа к информации, ее изменению или блокированию.

Со временем информация будет накапливаться, и ориентироваться в общем каталоге с дан-

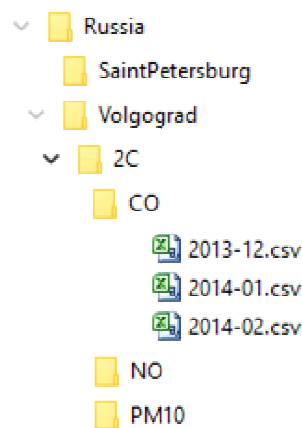


Рис. 3. Пример структуры каталога с унифицированными данными

ными будет проблематично. Для устранения данного недостатка предлагается реализация подпроцесса «Доступ к данным». Данный подпроцесс включает генерацию отчета по запросу пользователей, которая осуществляется через форму на сайте. На рис. 4 приведен пример формы запроса для заданного поста.

## Генерация отчета

с выбором параметров

Выбор диапазона:

С: Первый день ▼

Месяц ▼

Год ▼

По: Последний день ▼

Месяц ▼

Год ▼

Загрязняющее вещество:

☐ CO

☐ NO

☐ CO2

☐ NO2

☐ SO2

Примечания:

Отправить запрос

Рис. 4. Форма генерации пользователем отчета

Помимо пользователей, архивными данными могут пользоваться сторонние модули, установленные на том же веб-сервисе, например, модуль расчета качества воздуха. Взаимодействие осуществляется в автоматическом режиме путем вызова функции с указанием параметров запроса.

### Вывод

В данной статье предложен процесс представления результатов экологического мониторинга, использование которого упростит доступ к данным за счет унификации данных, полученных от различных источников. Предложенный веб-модуль может использоваться как независимый для предоставления информации для посетителей, так и в составе веб-сервиса в качестве препроцессора подготовки данных. Развитие данного модуля возможно посредством внедрения обработчиков новых данных новых, работа с большим набором параметров, отражающих состояние атмосферного воздуха, а также генерации более сложных отчетов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазулина, О.В. Экологический мониторинг атмосферного воздуха / О.В. Мазулина, Я.А. Полонский // Ин-

новации в науке. 2012. № 9. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskiiy-monitoring-atmosfernogo-vozduha> (дата обращения: 29.01.2017).

2. Санжапов, Б.Х. Представление результатов мониторинга атмосферного воздуха в системе поддержки принятия решений при обеспечении экологической безопасности города / Б.Х. Санжапов, А.А. Сеницын, Н.М. Рашевский // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 6(185). С. 40–44.

3. Экологический мониторинг атмосферы : практикум для бакалавров направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» по профилю «Инженерная защита окружающей среды» / сост. Е. Н. Калюкова. – Ульяновск : УлГТУ, 2015. – 131 с.

4. Кузнецова, А.В. Микробиологический мониторинг атмосферного воздуха г. Волгограда / А.В. Кузнецова, И.В. Владимцева // Вестник ВолГУ. Серия 3: Экономика. Экология. – 2011. – № 2. – С. 267–270.

5. NCAR's Research data archive [Электронный ресурс] / National Center for Atmospheric Research. - [2017]. – Режим доступа : <http://rda.ucar.edu/>.

6. NOAA/ESRL Radiosonde Database [Электронный ресурс] / NOAA. – [2017]. – Режим доступа : <http://www.esrl.noaa.gov/raobs/>.

7. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

8. Атмосферный воздух – Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] / Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. – [2017]. – Режим доступа : <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53>.

9. Комитет природных ресурсов и экологии [Электронный ресурс] / Официальный портал Волгоградской области. – [2017]. – Режим доступа : <http://oblkompriroda.volgograd.ru/>.

## УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.9: 32.019.52

*Д. С. Гамалеев, Н. А. Овчар*

### ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КООРДИНАЦИИ ГОРОДСКИХ СООБЩЕСТВ И ПРОЕКТОВ

Волгоградский государственный технический университет

wot.sadler@yandex.ru, onadine@mail.ru

В данной статье рассматривается проблема информационно-аналитической поддержки становления и развития городских сообществ. Предлагается использовать веб-сервис для размещения, обсуждения и продвижения городских проектов, предложенных сообществами или жителями города. Анализируются способы вовлечения жителей в процесс социального управления и участия в планировании развития города, основанные на использовании информационных технологий.

*Ключевые слова:* городское сообщество, управление городом, стратегическое планирование, социальное взаимодействие, веб-приложение, социальное самочувствие, горожане, Open Street Map.

*D. S. Gamaleev, N. A. Ovchar*

### INFORMATION SYSTEM FOR THE COORDINATION OF URBAN COMMUNITIES AND PROJECTS

Volgograd State Technical University

This article deals with the problem of information and analytical support for the formation and development of urban communities. It is proposed to use the web service for discussing and promoting urban projects proposed by communities or residents of the city. Analyzes the ways of involving citizens in the process of social control and participation in the planning of city development and information technology application.

*Keywords:* urban community, city management, strategic planning, social interaction, web application, social well-being, the townspeople, community card, Open Street Map.

#### Введение

Активное развитие информационных технологий ставит новые вопросы построения специфической коммуникационной инфраструктуры для взаимодействия городских властей с горожанами при помощи информационных технологий. Современные концепции развития города основываются на повышении уровня открытости информации и вовлечении жителей в процессы планирования развития.

Активизация гражданского участия, повышение гражданской ответственности за состояние и развитие города, анализ социальных запросов и их отражение в стратегических планах, использование интеллектуального потенциала жителей являются важным условием достижения запланированных результатов в ходе реализации стратегии развития [1].

Для решения городских проблем крупного мегаполиса, средних и малых городов в различных областях и сферах деятельности существуют специальные городские службы. Деятельность такого рода служб связана с осуществлением социального управления, которое может быть реализовано именно государственными структурами в отношении общности горожан или отдельных городских сообществ.

Изучение социальных проблем жителей Волгограда необходимо в силу тех обстоятельств, что, только задав вопросы о социальном самочувствии населения, проблемах, которые являются актуальными для них, степени оптимизма в отношении перспектив на будущее, можно судить о реальном положении вещей в данной территориальной общности.

Зачастую, те проблемы, которые кажутся значимыми с точки зрения органов власти, не представляют особого интереса и не вызывают беспокойства у жителей города. Иногда людей не волнуют глобальные политические события, и большее беспокойство вызывают насущные проблемы, связанные, в том числе, с благоустройством города.

### **1. Социальное управление городом в рамках стратегического планирования**

Наши исследования показывают, что важной задачей является не просто управление городом, а социальное управление, как управление социальной общностью, что имеет существенные отличия от управления технической системой. Поэтому обращение к мнению населения, изучение социального самочувствия жителей города, их видения городских проблем и способов их преодоления является очень важным (подробнее см. [2–5]).

Социальное управление – вид управления и процесс воздействия на общество, социальные группы, отдельных индивидов с целью упорядочения их деятельности, повышения уровня организованности социальной системы.

Основными чертами социального управления являются [6]:

- 1) существует там, где имеет место совместная деятельность людей и их общностей;
- 2) направлено на достижение определенной управленческой цели;
- 3) обеспечивает упорядоченное воздействие на участников совместной деятельности;
- 4) характеризуется наличием субъекта и объекта управления;
- 5) субъект управления наделяется определенным властным ресурсом;
- 6) объект управления является подвластным субъектом, сознательно-волевое поведение которого должно изменяться в соответствии с указаниями субъекта;
- 7) реализуется в рамках определенного механизма.

Специфика социального управления городом должна заключаться в признании особых форм социального взаимодействия внутри местного сообщества, основанных на взаимных интересах и ценностях. Такое социальное управление приобретает особую значимость в контексте целей стратегического планирования города.

Стратегическое планирование позволяет определить характер исполняемых каждым из

членов городского сообщества функций. Кроме того, посредством согласования интересов и соблюдения приоритетных для всех горожан условий развития, становится возможным повысить качество социального управления городом, эффективность функционирования внутригородских структур и участие различных групп в реализации стратегии. Важно, чтобы на каждом уровне планового процесса, при разработке, реализации, корректировке стратегии, реализовывалось участие городского сообщества в лице разных форм деятельности организаций и социальных групп (партнерская модель взаимодействия).

Эффективное построение системы качественного социального управления позволит решить проблемы стратегического планирования в масштабах города и учесть интересы, желания и мнения горожан. К числу значимых результатов воплощения идей такого планирования с элементами обратной связи относятся:

- 1) высокая степень вовлеченности местного сообщества в процедуру разработки и, в особенности, в процесс реализации стратегии;
- 2) ясное понимание со стороны местных органов власти своих функций в процессе стратегического планирования, четкое видение своей роли как организатора;
- 3) соответствие реализуемой стратегии ожиданиям и требованиям различных социальных групп внутри местного сообщества [7, 8].

### **2. Анализ подходов к организации взаимодействия власти, жителей и городских сообществ**

Реализации идей социального управления требует создания современных сервисов на базе информационно-коммуникационных технологий, которые позволят анализировать предпочтения жителей и станут основой для получения согласованных решений. Для этого предлагается создать методику разработки проектов трансформации территорий в системе общественных пространств города. Механизм взаимодействия общественности и органов власти должен являться основой методики и одним из способов реконструкции городской среды. Таким образом, реализуется участие представителей разных социальных групп, слоев, общностей, попытка отойти от узкопрофессионального подхода с целью вовлечения в проект всех заинтересованных слоев городского сообщества.

Примеры реализации описанного механизма в виде сервисов представлены в проектах

«ФиксМайСтрит» (FixMyStreet, Англия), «Популарис» (Popularise, США), «Меш Ситиес» (Mesh Cities, США), «СиКликФикс» (SeeClickFix, США), «СтритДжэрнал» (StreetJournal, Россия) [9]. В России популярность также получили сервисы «Сердитый гражданин» [10] и «Активный гражданин» [11]. В первом, реализована поддержка практически всех городов РФ, создана иерархия популярных разделов для подачи проблемы, а также система консультирования. При подаче заявки, пользователя просят предоставить свои личные данные, составить обращение и выбрать раздел, если таковой существует. Время модерации заявки составляет от 5 до 30 календарных дней. В конечном итоге жалоба отправляется непосредственно уполномоченному органу для ее разрешения.

Система «Активный гражданин» внедрена на территории г. Москвы и используется в основном для организации голосования по различным вопросам жизни города. На сайте проекта можно принять участие в голосовании и ознакомиться с отчетами о проведенных голосованиях. Система «Активный гражданин» имеет мобильные приложения для платформ iOS, Android и Windows Phone, что положительно сказывается на доступности и мобильности. Для пользователей системы существует возможность зарабатывать баллы за прохождение голосований, и в дальнейшем обменивать эти баллы на городские услуги.

Тем не менее, существующие приложения не ориентированы на поддержку становления городских сообществ. В данной статье рассмотреть подход к реализации сервиса, основным отличием которого является применение предложенной методики организации работы над городскими проектами путем создания механизма взаимодействия участников процесса. Создаваемое приложение продуцирует неформальный подход к проблемам конкретной территории и сообществ, заинтересованных в развитии этой территории, обеспечиваемый прозрачностью и открытостью механизмов реализации идей.

### 3. Веб-приложение для координации городских сообществ и проектов

Прототип разрабатываемой системы представляет собой Web-приложение ASP.NET MVC 4, с использованием MySQL, HTML 5,

CSS и технологии OpenStreetMap. В приложении реализован следующий набор функций:

- регистрация пользователя;
- регистрация нового проекта;
- создание сервиса для обсуждения проекта и голосования;
- отображение места локализации проекта на карте;
- создание сервиса для краудсорсинга.

Для работы с сайтом необходимо выбрать типовую категорию обращения (предложение, заявление), описать идею проекта, сопровождающие документы (изображения, схемы, бизнес-план и пр.), указать местоположение на карте, оставить свой комментарий и отправить на рассмотрение. Сообщение должно быть написано на русском языке и содержать всю необходимую дополнительную информацию (не более 700 знаков с пробелами).

Прошедшие модерацию обращения публикуются на портале в соответствии с категорией обращения. Далее эти сообщения могут комментироваться другими пользователями, что позволяет переходить к обсуждению дальнейших действий для организации деятельности по реализации проекта и выявлению средств решения отдельных задач. Кроме того для этого могут создаваться опросы и голосования. Процесс контролируется и управляется администрацией сайта, которая по окончании голосования должна либо организовать сбор средств, либо принять решение об отклонении проекта. Также существует возможность направить заявку для рассмотрения в органы местного самоуправления.

Все обращения хранятся в личном кабинете. По каждой заявке доступна подробная информация: место, категория, комментарии и фотографии. Сформированные, но неотправленные сообщения доступны в разделе «Черновики».

При переходе на сайт пользователь попадает на главную страницу (рис. 1). В личном кабинете есть возможность внести информацию о себе (рис. 2, а) и воспользоваться кнопкой «Подать заявку» (рис. 2, б).

На рис. 3 представлена форма подачи заявки. Кроме того, в личном кабинете пользователь имеет возможность просматривать все актуальные проекты (рис. 4). При этом все проекты отображаются на цифровой карте в виде маркеров, локализующих привязку к местности (рис. 5).

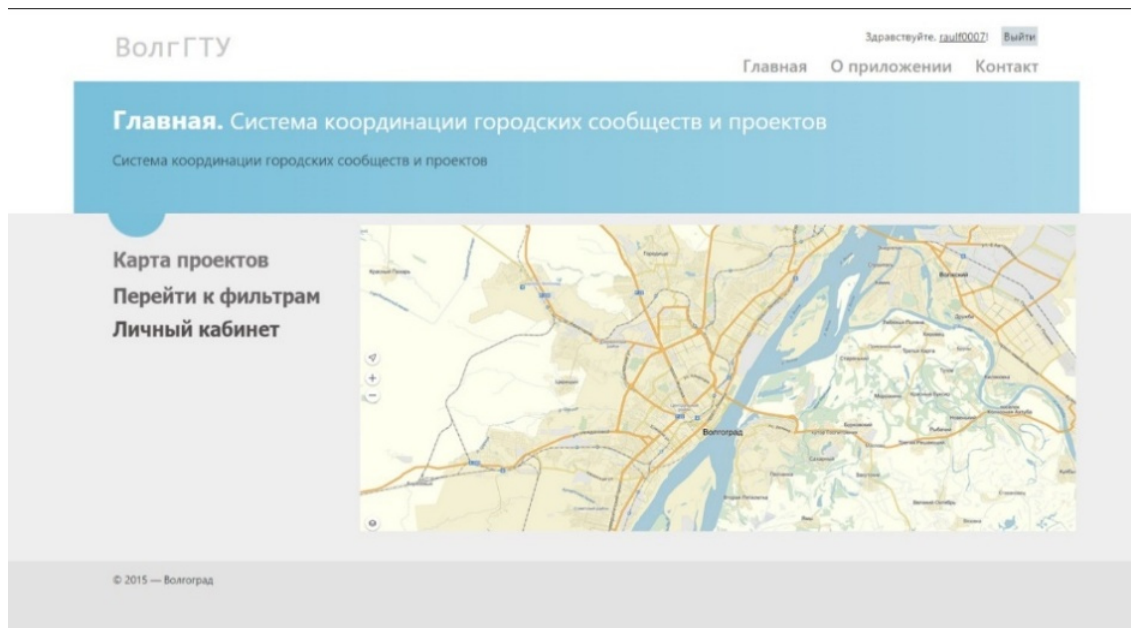


Рис. 1. Главная страница

**Личный кабинет**  
Общая сводка

Подать заявку

© 2017 - My ASP.NET Application

*а*

**Личный кабинет**  
Требуется дополнительная информация

Фотография  

Возраст

Город проживания

Сохранить

*б*

Рис. 2. Личный кабинет:  
*а* – дополнительные данные о пользователе; *б* – кнопка «Подать заявку»

## Подача заявки

Все поля обязательны к заполнению

Название

Указать место

Описание

Подать заявку

Рис. 3. Форма подачи заявки

|          |  |                               |  |
|----------|--|-------------------------------|--|
| ВолгГТУ  |  | Здравствуйте, gdu100071 Выйти |  |
|          |  | Главная О приложении Контакт  |  |
| Проект 1 |  | Участников: 102 Рейтинг: 7.2  |  |
| Проект 2 |  | Участников: 89 Рейтинг: 7.0   |  |
| Проект 3 |  | Участников: 44 Рейтинг: 7.0   |  |
| Проект 4 |  | Участников: 68 Рейтинг: 5.2   |  |
| Проект 5 |  | Участников: 80 Рейтинг: 5.2   |  |
| Проект 6 |  | Участников: 35 Рейтинг: 4.7   |  |

Рис. 4. Перечень проектов в личном кабинете пользователя

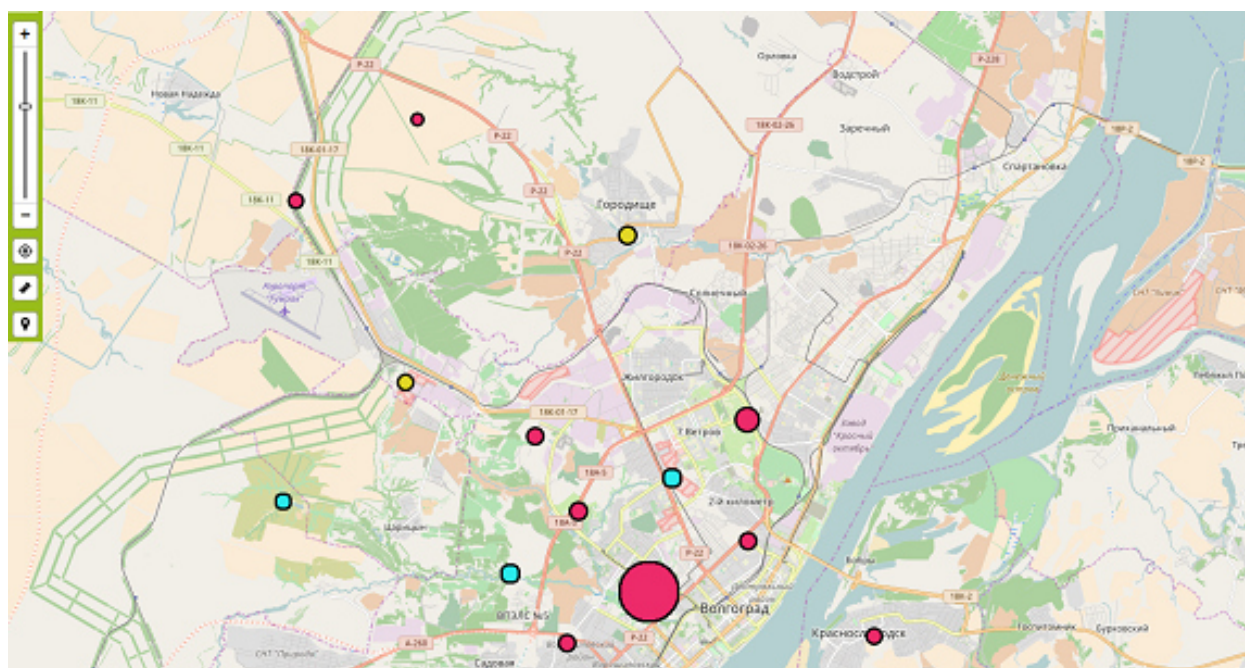


Рис. 5. Карта с маркерами проектов

### Заключение

В числе возможных проблем, которые могут возникнуть при применении предложенного сервиса органами государственной власти или местного самоуправления можно выделить следующие:

- низкая активность населения;
- организационные меры по обеспечению информационной безопасности;

– несовершенство законодательной базы в части вопросов организации и учета результатов краудсерсинга;

– недостаточная осведомленность и подготовленность самих жителей, в том числе отсутствие технической возможности доступа, например, для людей пожилого возраста.

Эти проблемы необходимо анализировать и продумывать решения по их преодолению.

Просветительские мероприятия, программы обучения и вовлечения граждан, принятие нормативно-правовых актов на местном уровне и другие организационные меры должны реализовываться совместно представителями органов власти и местным сообществом для успешной реализации современного подхода разработке проектов трансформации территорий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Партиципативное управление развитием города. Механизмы реализации на основе информационных технологий / Н. П. Садовникова, Б. Х. Санжапов, Д. С. Парыгин, Е. П. Гнедкова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2013. – № 3 (июль – сентябрь). – С. 80–85.
2. Общая оценка степени актуальности основных социально-экономических и социально-политических проблем в регионе / Н. В. Дулина, Н. А. Овчар, О. И. Ситникова, В. В. Токарев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Проблемы социально-гуманитарного знания. 2011. Т. 9. № 7(80). С. 53–64.
3. Овчар, Н. А. Информационное пространство как поле взаимодействия власти и населения / Н. А. Овчар // Модернизация отечественной системы управления: анализ тенденций и прогноз развития : мат-лы Всероссийской науч.-практ. конф. и XII-XIII Дридзеvских чтений. – 2014. – С. 267–271.
4. 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.
5. Овчар, Н. А. Влияние элементов информационного пространства на социальное самочувствие населения / Н. А. Овчар // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Проблемы социально-гуманитарного знания. 2009. Т. 6. № 9(57). С. 39–42.
6. Административное право [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа : [http://www/e-reading.mobi/chapter.php/97336/4/Makareiko\\_-\\_Administrativnoe\\_pravo.html](http://www/e-reading.mobi/chapter.php/97336/4/Makareiko_-_Administrativnoe_pravo.html)
7. Миронова, А. А. Стратегическое планирование в социальном управлении городом: специфика и задачи / А. А. Миронова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 12. Социология. – 2015. – № 3. – С. 177–184.
8. 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)
9. Аксенова, Е. Проверено электроникой: Правительство 2.0 в четырех городах мира [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа : <http://www.the-village.ru/village/situation/abroad/112685-inostranny-opyt-kak-rabotaet-elektronnnoe-pravitelstvo>.
10. Малахова, О. В. Современные информационные технологии и сетевые ресурсы: перспективы использования в гражданском секторе / О. В. Малахова // Среднерусский вестник общественных наук. – 2014. – № 4 (34). – С. 56–59.
11. Перезолова, А. С. Городские электронные референдумы: опыт проекта «Активный гражданин» / А. С. Перезолова // Власть. – 2015. – № 2. – С. 108–113.

## ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 623.618. 621.391

*Н. А. Баштанник, В. И. Лобейко, Е. Н. Луконина, И. С. Погребняк*

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Филиал Астраханского государственного университета в г. Знаменске

bna-kandidat@rambler.ru

В статье предложен метод определения показателей оценки эффективности инфокоммуникационных сетей, по которым можно выбрать сеть, наиболее полно удовлетворяющую требованиям, предъявляемым заказчиком к данным сетям.

*Ключевые слова:* инфокоммуникационная сеть, показатель эффективности сети, достоверность, надежность, скорость обмена информацией.

*N. A. Bashtannik, V. I. Lobeyko, E. N. Lukonina, I. S. Pogrebnyak*

### METHOD OF THE DETERMINATION OF THE FACTORS OF THE ESTIMATION TO EFFICIENCY INFOKOMMUNIKATIONS NETWORKS

The Branch Astrahan State University, Znamensk

In article is offered method of the determination of the factors of the estimation to efficiency infokommunikations networks, on which possible choose that network, which most packed will meet the requirements presented by customer to given networks.

*Keywords:* infokommunikations networks, factor to efficiency to network, validity, reliability, velocity of the exchange by information.

Инфокоммуникационная сеть – это технологическая система, которая включает в себя кроме средств доставки также средства хранения, обработки и поиска информации и предназначена для обеспечения пользователей электрической связью и доступом к необходимой им информации.

Инфокоммуникационные сети (ИС) могут иметь различные варианты построения. Для того чтобы сравнить разные варианты проектируемой системы, ее подсистем и элементов между собой и произвести обоснованный выбор лучшего, необходимо оценивать не только количественные, но и качественные их показатели. Сравнение количественных показателей позволяет говорить о том, насколько (или во сколько раз) одна система лучше (или хуже) другой по тому или иному показателю либо насколько одна система эффективней другой [1].

Обычно под «эффективностью системы» понимают главную, основную характеристику

качества, полезности системы. При этом эффективность выступает как самая общая, полная, основная характеристика системы, которая качественно или количественно определяет ее способность выполнять свою основную функцию, способствующую достижению главной цели ее применения или функционирования. В соответствии с основной целью функционирования систем различают экономическую, техническую, социальную и другие виды эффективности систем [2].

Инфокоммуникационная сеть является сложной системой, функционирующей в условиях большого числа случайных факторов.

К ней обычно предъявляются различные требования, некоторые из которых являются противоречивыми.

Например, стремление уменьшить потери по достоверности передаваемой информации неизбежно приводит к снижению производительности элементов ИС, поскольку повышение

верности сообщений так или иначе связано с увеличением информационной и (или) функциональной избыточностью.

При оценке качества функционирования ИС в ходе проведения испытаний, с одной стороны, необходимо правильно выбрать показатели эффективности различных компонентов системы (частные показатели качества), а с другой стороны, важно установить объективные взаимосвязи между этими частными показателями с тем, чтобы наиболее точно осуществить комплексную оценку эффективности ИС в целом и при необходимости сравнить между собой различные ИС, в которых применяются различные технологии обмена данными (X.25, АТМ и так далее) [3].

Качество ИС является обобщенной характеристикой, показывающей степень пригодности системы к выполнению заданной целевой функции в конкретных условиях работы.

Показатель эффективности (ПЭ) ИС является количественной мерой качества как обобщенной характеристики сети.

При оценке качества ИС в ходе экспериментов необходимо определить:

максимальный или средний объем информации передаваемой в сети за единицу времени (производительность ИС);

достоверность передаваемых сообщений;

среднее количество сообщений, потерянных при передаче в ИС;

время передачи сообщений различной категории срочности;

надежность связи между любой парой абонентов ИС;

устойчивость к случайным и преднамеренным нарушениям структуры ИС;

стоимости эксплуатации как функции объема передаваемых сообщений, задержек в их передаче, достоверности и тому подобное.

Показатель эффективности (ПЭ) должен отвечать следующим требованиям:

достаточно полно отражать эффективность того или иного компонента ИС или ИС в целом и максимально учитывать влияние на данный показатель факторы;

быть количественным, то есть однозначно выражаться некоторым числом, что позволит в ходе эксперимента обеспечить объективность оценок;

быть эффективным в статистическом смысле, то есть обладать достаточно малой дисперсией и определяться с необходимой точностью при допустимых затратах или потерях времени;

основываться на технических параметрах средств обмена данными, используемых в ИС и быть удобным для использования в расчетах показателей;

обеспечить удобство и достаточную простоту проверки в ходе экспериментов.

Также необходимо, чтобы показатель эффективности был достаточно прост, вытекал из самого назначения системы и имел физический смысл, что уменьшает вероятность ошибки при его применении и позволяет найти идеальную характеристику системы и сравнить ее с реальной характеристикой.

Целесообразно также нормировать показатель эффективности с тем, чтобы он принимал значения в пределах от 0 до 1 и позволял сравнить различные информационные сети между собой.

В ходе испытаний для характеристики качества ИС целесообразно использовать совокупность частных показателей эффективности, которые будут частично или косвенно характеризовать качество выполнения общей целевой функции ИС, иметь ясный однозначный физический смысл, быть связанным по возможности функциональными зависимостями с техническими параметрами элементов ИС и носить количественный характер.

При определении большинства показателей эффективности ИС необходимо увеличивать влияние на ее функционирование различных случайных процессов, что усложняет оценку этих показателей.

К таким процессам относятся:

случайные входные потоки сообщений (с переменной интенсивностью, составом, длиной сообщений и длительностью пауз между ними);

случайные потоки отказов-восстановлений элементов ИС;

случайное воздействие помех в трактах передачи данных и других элементах ИС;

случайное время выполнения алгоритмов обработки информации, зависящее как от воздействия помех в трактах, так и от адресности, вида и категорий срочности, поступающих на узлы ИС сообщений.

При воздействии случайных факторов показатели эффективности ИС также приобретают вероятностный характер. Поэтому целесообразно пользоваться понятиями предельного и реального показателя эффективности.

Предельный показатель эффективности (ППЭ)  $\pi_i^{\Pi}$  определяется в предположении от-

сутствия отказов, сбоев и помех в элементах ИС при принятой структуре, выбранных технических средствах и алгоритмах функционирования.

Реальные показатели эффективности (РПЭ)  $\pi_i^P$  являются усредненными характеристиками ИС и определяют ее функционирование в реальных условиях при воздействии помех и отказов-восстановлений элементов.

$$\text{Отношение} \quad \pi_i = \frac{\pi_i^P}{\pi_i^\Pi},$$

где  $0 \leq \pi_i \leq 1$  является нормирующим и может служить мерой оценки качества различных вариантов построения ИС.

В отдельных случаях определение  $\pi_i^P$  (особенно для ИС в целом) связано со значительными трудностями или вообще невозможно.

Поэтому для характеристики потенциальных возможностей того или иного элемента ИС или сети в целом можно использовать предельный показатель эффективности  $\pi_i^\Pi$ .

Наиболее просто частные показатели эффективности можно определить для отдельного элемента ИС (тракта или узла).

Однако такие оценки не представляют самостоятельного интереса для потребителей ИС, поскольку обмен информацией между различными абонентами ИС происходит на направлениях обмена  $(a_i, a_j)$ , обеспечиваемых в каждом отдельном случае различными путями передачи информации, включающими в качестве составных компонентов те или иные тракты передачи данных и коммутационные узлы ИС.

Поэтому показатели эффективности отдельных элементов ИС, имея самостоятельное значение, используются как промежуточные характеристики при оценке показателей эффективности, интересующих пользователей ИС.

В связи с этим в дальнейшем наряду с ПЭ элементов ИС будем использовать показатели эффективности  $\pi_k[a_i, a_j]$  направлений обмена  $[a_i, a_j]$ , соответствующим ненулевым компонентам матрицы  $\|F_{ij}\|$ .

На основе таких показателей эффективности можно при необходимости определить соответствующие показатели ИС в целом как некоторые их средневзвешенные оценки.

Определить группу показателей, определяющие производительность отдельных компонентов ИС и сети в целом, функционирую-

щих в условиях воздействия различных случайных факторов (помех, отказов, сбоев в элементах ИС и другие), а также задержки информации, возникающие в элементах ИС, эффективность выбранных алгоритмов управления потоками сообщений и тому подобное. Другими словами – конструктивные характеристики ИС.

Производительность трактов передачи данных ИС характеризуется предельной и реальной производительностью.

Предельная производительность  $\pi_\Pi^\Pi(b_{ij})$  тракта  $b_{ij} = (a_i, a_j)$  определяется максимальным количеством информации (бит в секунду), передаваемым по тракту без учета помех, отказов и сбоев в предположении отсутствия в информации исходной структурной избыточности.

Показатель  $\pi_\Pi^\Pi(b_{ij})$  можно найти из выражения

$$\pi_\Pi^\Pi(b_{ij}) = \lim \sum_k \rho_{0ij}^{(k)} = \sum_k v_{ij}^{(k)} \log m_{ij}^{(k)}, \quad (1)$$

где  $v_{ij}^{(k)}$  – скорость передачи единичных элементов в  $k$ -м канале тракта  $b_{ij}$ , определяемая используемым в этом канале методом модуляции-демодуляции сигналов;  $\rho_{0ij}^{(k)}$  – предельная производительность  $k$ -го канала тракта  $b_{ij}$ ;  $m_{ij}^{(k)}$  – основание первичного кода, в котором представляются символы передаваемых в  $k$ -м канале тракта  $b_{ij}$  дискретных сообщений (обычно на практике  $m_{ij}^{(k)} = \text{const} = m$ ) [4].

Для трактов, состоящих из  $S_{ij}$  однородных каналов  $v_{ij}^{(k)} = \text{const} = v_{ij}$ ,

при  $m_{ij}^{(k)} = m$  вместо (1) можно записать

$$\pi_\Pi^\Pi(b_{ij}) = S_{ij} v_{ij} \log m \quad (2)$$

Реально производительность тракта можно представить в виде

$$\pi_\Pi^P(b_{ij}) = f[\kappa_\Gamma^{(k)}(b_{ij}), \rho_{ij}^{(k)}], \quad k = \overline{1, S_{ij}} \quad (3)$$

В (3) функционал  $f(\bullet)$  определяется принятой в тракте  $b_{ij}$  дисциплиной резервирования входящих в него каналов передачи данных;  $\kappa_\Gamma^{(k)}(b_{ij})$  – коэффициент готовности  $k$ -го канала тракта;  $\rho_{ij}^{(k)}$  – реальная производительность  $k$ -го канала, связанная с предельной производительностью этого канала  $\rho_{0ij}^{(k)}$  соотношением

$$\rho_{ij}^{(k)} = \gamma_{C.K.}^{(k)} b_{ij} \gamma_{C.П.} b_{ij} \rho_{0ij}^{(k)}, \quad (4)$$

где  $\gamma_{C.K.}^{(k)} b_{ij}$ ,  $\gamma_{C.П.} b_{ij}$  – соответственно эффективности статистического кодирования и защиты от ошибок в  $k$ -м канале тракта  $[0 \leq \gamma_{C.K.}^{(k)} b_{ij} \leq 1, 0 \leq \gamma_{C.П.} b_{ij} \leq 1]$ , смысл которых раскрыт в [5].

Отношение

$$\pi_{\Pi}(b_{ij}) = \frac{\pi_{\Pi}^P(b_{ij})}{\pi_{\Pi}^{\Pi}(b_{ij})},$$

где  $0 \leq \pi(b_{ij}) \leq 1$  можно рассматривать как меру качества построения тракта, характеризующую степень приближения реальной производительности тракта к ее предельному значению.

Для узлов коммутации информации (УК) можно ограничиться только понятием предельной производительности, поскольку реальная производительность УК связана с нагрузкой и режимом работы сети и не характеризует только узел коммутации.

Предельная производительность  $\pi_{\Pi}^{\Pi}(a_{ij})$  узла коммутации информации (УК)  $a_j$  определяется количеством информации, проходящей через УК в предположении, что трафики информации по входящим и исходящим трактам численно равны реальным производительностям этих трактов (без учета их реальной надежности), а в процессе обработки информации на узле реализуется полная совокупность принятых на нем алгоритмов, то есть  $\pi_{\Pi}^{\Pi}(a_{ij})$  можно представить в виде

$$\pi_{\Pi}^{\Pi}(a_j) = \sum_{k,l=j} \pi_{\Pi}^P(b_{kl}), \quad (5)$$

где  $\pi_{\Pi}^P(b_{kl})$  определяется из (3) при  $K_{Г.Т.}(b_{kl}) = 1$ ; при этом необходимо учитывать коэффициент загрузки трактов, которые в отдельных случаях могут значительно отличаться от 1.

Переход от производительности, определяемой (5), к среднему числу сообщений в секунду может быть осуществлен делением  $\pi_{\Pi}^{\Pi}(a_{ij})$  на среднюю длину обрабатываемых сообщений.

При условии, что в процессе эксплуатации ИС предполагается ее дальнейшее развитие, суммирование в (5) следует проводить по некоторому условному максимальному числу трактов, на обслуживание которых должны быть рассчитаны технические средства узла.

Говоря о производительности элементов сети (трактов и узлов), можно воспользоваться понятием реальной производительности ИС в целом.

Однако это понятие трудно применить в ходе эксперимента из-за его зависимости от параметров входящего потока сообщений, состояния элементов ИС и режимов их работы.

Поэтому для количественной оценки реальной производительности сети  $\pi_{\Pi}^P(B)$  можно воспользоваться статистическим экспериментом на самой сети.

Понятие предельной производительности сети является внутренним свойством ИС, определяемым ее структурой и параметрами элементов.

Предельную производительность ИС можно определить как

$$\pi_{\Pi}^{\Pi}(B) = \sum_{b_{ij} \in B} \pi_{\Pi}^P(b_{ij}), \quad (6)$$

где  $\pi_{\Pi}^P(b_{ij})$ , так же, как и в (5), определяется при  $K_{Г.Т.}(b_{ij}) = 1$ .

Оценка (6) не дает исчерпывающей характеристики реальных возможностей ИС по передаче заданной совокупности трафиков  $\|F_{ij}\|$ , поскольку эти возможности в значительной степени зависят от качества принятых алгоритмов управления потоками.

Однако эту оценку совместно с оценкой протяженности трактов  $\|L_{ij}\|$  можно использовать при технико-экономических расчетах ИС, так как стоимость каналов является определяющей в стоимости ИС, а стоимость арендной платы за каналоклометр зависит от требуемой производительности каждого отдельного тракта  $b_{ij}$ .

Для характеристики предельной производительности ИС на определенном направлении обмена  $[a_i, a_j]$  можно воспользоваться оценкой

$$\pi_{\Pi}^{\Pi}[a_i, a_j] = \sum_k P[\mu_k(a_i, a_j)] \min_{b_{rs} \in \mu_k(a_i, a_j)} \sum [\pi_{\Pi}^P(b_{rs})], \quad (7)$$

где  $P[\mu_k(a_i, a_j)]$  – вероятность выбора  $k$ -го пути  $\mu_k(a_i, a_j)$  из возможностей на направлении  $[a_i, a_j]$  совокупности путей  $M_{ij}$ , а  $\pi_{\Pi}^P(b_{rs})$  определяется при  $K_{Г.Т.}(b_{rs}) = 1$ .

Следующий показатель эффективности – время доставки сообщения из узла  $a_i$  в узел  $a_j$  сети, а также зависящее от нагрузки и состояния ИС.

Поэтому и в этом случае можно воспользоваться понятием предельного (оценка сверху) и реального времени доставки.

Предельное (минимальное) время доставки  $\pi_B$  – это время передачи сообщения некоторой стандартной (или произвольной, но заданной) длины из  $a_i$  в  $a_j$  по кратчайшему пути в предположении, что другие сообщения в сети не передаются, а элементы сети находятся в исправном состоянии.

$$M_\tau[\mu_k(a_i, a_j)] = \sum_{(a_k, a_l) \in \mu_k(a_i, a_j)} M_\tau(a_k, a_l) + \sum_{a_m \in \mu_k(a_i, a_j)} M_\tau(a_m). \quad (9)$$

В (9) слагаемое  $M_\tau(a_k, a_l)$  выражает средние задержки в трактах пути  $\mu_k(a_i, a_j)$ , а слагаемое  $M_\tau(a_m)$  – средние задержки на узле коммутации ИС, определяемые для принятых в этих трактах и узлах алгоритмов передачи, защиты от ошибок и коммутации сообщений (пакетов) с учетом воздействия искажений и отказов-восстановлений.

Аналитическая оценка  $\pi_B^p[a_i, a_j]$  связана со значительными трудностями, и поэтому вместо нее можно использовать статистическую оценку на самой сети.

Качество организации процессов управления потоками информации в ИС можно оценить с помощью интегральной оценки  $\pi_y = \pi_y(F, \rho)$  характеризующей степень использования предельной производительности сети  $\pi_\Pi^p(B)$  в условиях реальной нагрузки  $\|F_{ij}\|$  с учетом трафика служебной (управляющей) информации  $\|F_{ij}^y\|$  на каждом направлении обмена  $[a_i, a_j]$ :

$$\pi_y(F, \rho) = \frac{\sum_{i,j} F_{ij}^p - \sum_{i,j} F_{ij}^{(y)}}{\pi_\Pi^p(B)}, \quad (10)$$

где  $F_{ij}^p$  – реальный поток на направлении обмена  $[a_i, a_j]$  определяемый суммой  $F_{ij}^p + F_{ij}^y$ .

При этом предполагается, что синтез сети осуществляется именно по матрице  $\|F_{ij}^p\|$ , то есть между  $\|F_{ij}^p\|$  и  $\pi_\Pi^p(B)$  существует некоторая функциональная связь, заложенная при проектировании ИС.

Реальное время доставки сообщения может быть определено как

$$\pi_B^p[a_i, a_j] = \sum_k P[\mu_k(a_i, a_j)] M_\tau[\mu_k(a_i, a_j)], \quad (8)$$

где  $M_\tau[\mu_k(a_i, a_j)]$  – математическое ожидание времени доставки сообщения по пути  $\mu_k(a_i, a_j)$ , которое можно представить в виде

Поскольку показатель  $\pi_y(F, \rho)$  приведен к предельной производительности сети  $\pi_\Pi^p(B)$ , то его можно применять при сравнении качества организации управления в различных ИС.

При использовании сети для передачи произвольных потоков, когда предельная производительность сети  $\pi_\Pi^p(B)$  не связана с той или иной  $k$ -й совокупностью передаваемых потоков  $\{F_{ij}\}_k$ , оценка (10) не характеризует эффективности управления потоками. В подобных случаях следует применять оценки другого вида.

Если показатели предыдущей группы определяются в предположении, что удовлетворяются определенные требования к качеству доставки информации. Эти требования как раз и раскрываются в содержании показателя эффективности следующей группы показателей ИС, которые оценивают качество передачи информации как в отдельных элементах ИС, так и в системе в целом.

К показателям качества доставки сообщений на произвольном направлении ИС  $[a_i, a_j]$  относятся:

показатель надежности нормальной доставки  $\pi_n[a_i, a_j]$ , определяемый вероятностью правильной передачи  $P_{п.п.}[a_i, a_j]$  некоторого заданного массива информации  $V_o[a_i, a_j]$  за время, не превышающее нормы времени доставки  $\tau > \tau_0[a_i, a_j]$  в реальных условиях работы сети;

показатель надежности нормальной доставки (показатель потерь)  $\pi_{н.п.}[a_i, a_j]$ , определяе-

мый вероятностью  $P_{\Pi}[a_i, a_j]$  того, что при передаче заданного объема информации  $V_0[a_i, a_j]$  часть информации (в результате ошибок в доставке по адресу или потерь части информации) не поступит адресату или поступит через время  $\tau > \tau_0[a_i, a_j]$ ;

показатель достоверности  $\pi_{\Delta}[a_i, a_j]$  или коэффициент потерь достоверности  $g_0[a_i, a_j]$ , определяемый вероятностью не обнаружения ошибки  $P_{H.O.}[a_i, a_j]$  в сообщении заданного объема  $V_0[a_i, a_j]$ , доведенного до абонента в пределах заданного времени  $\tau_0[a_i, a_j]$ ;

показатель живучести  $\pi_{жс}[a_i, a_j]$ , определяемый вероятностью существования  $P_c[a_i, a_j]$  между узлами  $a_i$  и  $a_j$  с учетом ограничений по времени доставки и требований к достоверности.

Первые три показателя имеют самостоятельное значение и характеризуют полную сумму событий, то есть

$$\pi_{\Pi}[a_i, a_j] + \pi_{H.H.}[a_i, a_j] + \pi_{\Delta}[a_i, a_j] = 1. \quad (11)$$

Это можно использовать в ходе эксперимента при их оценке, определяя в первую очередь те два показателя, найти которые наиболее просто.

Показатель живучести обычно применяется для нахождения  $\pi_{\Pi}[a_i, a_j]$  или  $\pi_{H.H.}[a_i, a_j]$ .

В частности  $\pi_{H.H.}[a_i, a_j]$  приближенно можно представить в виде

$$\pi_{H.H.}[a_i, a_j] \geq 1 - \pi_{жс}[a_i, a_j] + [\pi_{жс}[a_i, a_j] \pi_{\Delta}[a_i, a_j]], \quad (12)$$

Откуда с учетом (11)  $\pi_{\Pi}[a_i, a_j]$  определяется как

$$\pi_{\Pi}[a_i, a_j] \leq \pi_{жс}[a_i, a_j] - \pi_{\Delta}[a_i, a_j](1 + \pi_{жс}[a_i, a_j]). \quad (13)$$

что при достаточно малых  $\pi_{\Delta}[a_i, a_j]$  по сравнению  $\pi_{жс}[a_i, a_j]$  (как это и бывает обычно на практике) позволяет считать

$$\pi_{\Pi}[a_i, a_j] \leq \pi_{жс}[a_i, a_j]. \quad (14)$$

Таким образом, прямую оценку показателя  $\pi_{\Pi}[a_i, a_j]$ , связанную с наибольшими трудностями в силу необходимости учета большого числа различных факторов, можно заменить более простыми оценками  $\pi_{\Delta}[a_i, a_j]$  и  $\pi_{жс}[a_i, a_j]$  и на их основе строить косвенные оценки  $\pi_{\Pi}[a_i, a_j]$  в соответствии с (13) или (14).

Показатель живучести  $\pi_{жс}[a_i, a_j]$  является одним из наиболее важных показателей эффективности ИС, определяющих эффективность выбранной структуры (топологии) ИС.

Живучесть отражает способность ИС продолжать выполнение своих функций при выходе из строя отдельных ее элементов и частей и зависит как от структуры ИС, так и от принятых в ней алгоритмов управления потоками сообщений.

Определение живучести реальной ИС представляет собой достаточно трудную задачу. Это объясняется тем, что при задании допустимых задержек  $\tau_0[a_i, a_j]$  и показателей достоверности  $\pi_{\Delta}[a_i, a_j]$  живучесть определяется не только наличием или отсутствием связи между парой узлов  $a_i$  и  $a_j$  сети, но и необходимостью учета только тех прямых и транзитных путей  $\mu_k[a_i, a_j] \in M_{ij}$ , выбор которых обеспечит допустимые задержки и коэффициенты потерь достоверности.

Особенно трудно учитывать задержки в узлах разветвлений ИС при достаточно высокой нагрузке и приоритетном обслуживании сообщений.

Живучесть ИС можно определить по характеристике связности сети, под которой понимается вероятность существования хотя бы одного пути без петель  $\mu_k[a_i, a_j]$  для любых двух узлов  $a_i$  и  $a_j$  (при заданных показателях надежности трактов и узлов ИС). Именно в таком классическом виде задача была поставлена в [6].

Характеристику связности сети  $h[a_i, a_j]$  можно представить в виде

$$h[a_i, a_j] = \sum_{G_X} U_{ij}(G_X) P(G_X), \quad (15)$$

где  $U_{ij}(G_X)$  – элемент матрицы достижимости подграфа  $G_X$  графа  $G(A, B)$ , определяемый по производящей функции  $G_{ij}(Z)$  подграфа [7].

$$U_{ij}(G_X) = \begin{cases} 1, \text{при } G_{ij}(Z) \neq 0 \\ 0, \text{при } G_{ij}(Z) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

$P(G_X)$  – вероятность образования подграфа  $G_X$  из графа  $G(A, B)$ , определяемая вероятностями существования (надежностью) элементов ИС.

Если предположить, что надежность узлов ИС существенно превосходит надежность трактов (что соответствует практике), то  $P(G_X)$  приближенно можно определить как

$$P(G_X) \approx \prod_{b_{kl} \in B_X} p(b_{kl}) \prod_{b_{mn} \in B_X} [1 - p(b_{mn})], \quad (17)$$

где  $p(b_{kl})$  и  $p(b_{mn})$  – вероятности существования ребер  $b_{kl}$  и  $b_{mn}$ ;  $B_X$  – множество ребер подграфа  $G_X$ ,  $B \in M_{ij}$ .

Показатель достоверности  $\pi_\Delta[a_i, a_j]$   $k$ -го пути  $\mu_k[a_i, a_j] \in M_{ij}$  направления обмена  $[a_i, a_j]$  по аналогии с (9) можно представить в виде  $\pi_\Delta^{(k)}[\mu_k(a_i, a_j)] =$

$$= \sum_{(a_i, a_j) \in \mu_k(a_i, a_j)} \pi_\Delta(a_i, a_j) + \sum_{a_m \in \mu_k(a_i, a_j)} \pi_\Delta(a_m). \quad (18)$$

Вид зависимостей (9) и (18) раскрывает смысл ограничений, в условиях которых должна определяться реальная живучесть ИС, а именно среди всех возможных путей между  $a_i$  и  $a_j$ , определяемых для графа  $G_X$ , выбираются только те пути, для которых одновременно выполняются условия

$$M\tau[\mu_k(a_i, a_j)] \leq \pi_{H.B} \quad (19)$$

$$\text{и} \quad \pi_\Delta^{(k)}[\mu_k(a_i, a_j)] \leq \pi_{H.\Delta}, \quad (20)$$

где  $\pi_{H.B}$  и  $\pi_{H.\Delta}$  – заданные нормы времени доставки и достоверности сообщений, и бракуются пути, для которых условия (19) и (20) не выполняются в целом или частично.

Указанные выше показатели эффективности можно представить в виде матриц  $\|\pi_H[a_i, a_j]\|$ ,  $\|\pi_{H.\Delta}[a_i, a_j]\|$ ,  $\|\pi_{ж}[a_i, a_j]\|$ ,  $\|\pi_\Delta[a_i, a_j]\|$ , элементы, которых соответствуют ненулевым компонентам матрицы  $\|F_{ij}\|$ .

Записанные в таком виде показатели эффективности данной группы позволяют оценить качество передачи внешних сообщений в ИС в целом.

Иногда вместо матриц или списков характеристик для оценки того или иного показателя

качества ИС в целом пользуются некоторыми средними оценками.

Например, средний показатель потерь сообщений в ИС  $\pi_H[G(A, B)]$  можно представить в виде

$$\pi_H[G(A, B)] = \sum_{i,j} \pi_{H.H.}[a_i, a_j] \sum_{i,j} \frac{V_H[a_i, a_j]}{V_{ИС}[a_i, a_j]} \quad (21)$$

где отношение  $\sum_{i,j} \frac{V_H[a_i, a_j]}{V_{ИС}[a_i, a_j]}$  характеризует долю информации на направлении  $[a_i, a_j]$  по отношению ко всему объему информации  $\sum_{i,j} V_{ИС}[a_i, a_j]$ , циркулирующей в ИС.

Обобщенные (комплексные или интегральные) показатели эффективности ИС в целом  $\pi_0[G(A, B)]$  часто представляют в виде произведения частных показателей, отражающих наиболее существенные стороны функционирования ИС<sup>^</sup>:

$$\pi_0[G(A, B)] = \prod_j \pi_j. \quad (22)$$

В частности, показатель  $\pi_0[G(A, B)]$  можно записать в виде

$$\pi_0[G(A, B)] = \frac{N}{C}(1 - \beta), \quad (23)$$

где  $N$  – среднее число сообщений, передаваемых в сети за единицу времени;  $C$  – стоимость сети, а  $\beta$  определяется как

$$\beta = \max \beta_{ij}, \quad (24)$$

где  $\beta_{ij}$  – условная вероятность потерь в тракте  $b_{ij}$  в предположении, что сообщение поступило в этот тракт.

Иногда  $\beta$  определяется как математическое ожидание

$$\beta = \sum_{i,j} \beta_{ij} \frac{V(\beta_{ij})}{V(B)}, \quad (25)$$

где  $V(\beta_{ij})$  – объем информации, подлежащий передаче по тракту  $b_{ij}$ ;  $V(B)$  – общий объем информации, циркулирующий по всем трактам ИС.

Отношение  $N/C$  трактуется как некоторый показатель использования сети  $\pi_1$  характеризующий сеть в целом, а разность  $1 - \beta$  рассматривается как показатель сети  $\pi_2$ .

Недостаток оценки (23) заключается в том, что она не учитывает такие важные частные характеристики сети, как время и достоверность передачи информации, структуру сети и связанную с ней живучесть.

Общим недостатком комплексных показателей типа (22) является то, что они не имеют определенного физического смысла.

Это затрудняет их использование на практике, особенно в тех случаях, когда перемножаются нормированные и ненормированные частные показатели, как например, в оценке (23).

Последнее существенно осложняет сравнительную оценку сетей различного назначения.

Поэтому в качестве интегрального показателя эффективности ИС желательно выбрать такую обобщенную характеристику сети, которая с одной стороны имела бы ясный физический смысл, а с другой стороны, по возможности, была бы функционально связана с наиболее важными частными показателями эффективности ИС.

Таким единственным интегральным показателем качества ИС может служить норма надежности нормальной доставки.

Поскольку в общем случае сеть предназначена для передачи сообщений различных категорий срочности  $g$ , то для характеристики качества обслуживания сообщений каждой категории в отдельности можно воспользоваться понятием категории надежности нормальной доставки [4, 5].

При этом каждой категории нормальной доставки будут соответствовать своя норма надежности нормальной доставки  $\pi_H^g$ . Показатель  $\pi_H^g$  вводится на сети в целом независимо от того, на каком из направлений обмена  $[a_i, a_j]$  рассматривается передача сообщений.

Поэтому при оценке пригодности некоторого пути  $\mu_k(a_i, a_j)$  направления  $[a_i, a_j]$  для передачи сообщений  $g$ -й категории срочности необходимо осуществить проверку условия

$$\pi_H^g[a_i, a_j] \geq \pi_H^g, \quad (26)$$

Интегральный показатель качества системы  $\pi_H$  связан почти со всеми частными показателями эффективности сети, явными или неявными функциональными зависимостями и, обладая вполне определенным физическим смыслом, отвечает тем требованиям, которые предъявляются обычно к обобщенному показателю эффективности ИС в целом.

Для произвольного направления обмена информацией  $[a_i, a_j]$  можно записать [6, 7]^:

$$\pi_\Delta[a_i, a_j] = E\pi_H[a_i, a_j] \left\{ 1 - R(\tau_0[a_i, a_j]) \right\} + \pi_\Delta^*[a_i, a_j], \quad (27)$$

где  $\pi_\Delta^*[a_i, a_j]$  – показатель достоверности, определенный из (18), в предположении, что входящие в путь  $\mu_k(a_i, a_j) \in M_{ij}$  элементы ИС имеют абсолютную надежность, на действующие в них помехи и сбои имеют реальные статистические характеристики;  $\pi_\Delta[a_i, a_j]$  – реальный показатель достоверности, определенный с учетом фактической надежности элементов ИС;  $R(\tau_0[a_i, a_j])$  – коэффициент надежности, определяемый вероятностью того, что входящие в путь  $\mu_k(a_i, a_j) \in M_{ij}$  элементы ИС, работоспособные в произвольный достаточно удаленный момент времени  $t$ , проработают еще в течение интервала времени  $\tau_0[a_i, a_j]$ ;  $R(\tau_0[a_i, a_j])$  непосредственно связан с характеристикой связности ИС  $h[a_i, a_j]$ , определяемой из (15)–(17), и показателями надежности элементов ИС;  $E$  – некоторый коэффициент пропорциональности.

Из (27) имеем

$$\pi_H[a_i, a_j] = \frac{\pi_\Delta[a_i, a_j] - \pi_\Delta^*[a_i, a_j]}{E \left\{ 1 - R(\tau_0[a_i, a_j]) \right\}}, \quad (28)$$

что и подтверждает наличие явной функциональной зависимости между  $\pi_H[a_i, a_j]$  и важнейшими частными показателями эффективности ИС – показателем достоверности, живучести и времени доставки сообщений.

Таким образом, рассмотренные частные показатели эффективности дают количественную оценку эффективности использования ИС, отражают различные стороны функционирования сети обмена информацией, позволяют сформулировать конкретные требования к различным компонентам данной сети, что особенно важно в ходе проведения экспериментов, и позволяют упростить испытания (исследования) ИС в целом.

Частные показатели могут быть использованы как для оценки опытных ИС, так и для оценки качества ИС различного назначения, уже созданных и находящихся в эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баштанник, Н. А., Лобейко, В. И. Метод оценки телекоммуникационной сети обмена данными перспективных АСУ с использованием технико-экономических показателей : Доклад на Международной научной конференции «АСТИНТЕХ-2010» // Материалы Международной научной конференции 11–14 мая 2010 г. Т. 1. – Астрахань : Астраханский университет, 2010. – С. 6–8.
2. Баштанник, Н. А., Лобейко, В. И., Поляков, С. В. Оценка пропускной способности телекоммуникационной сети обмена данными АСУ методом Монте-Карло : Доклад на Международной научно-практической конференции «ИНФО-2010» // Материалы Международной научно-практической конференции «ИНФО-2010». – Сочи, 2010. – С. 320–323.
3. Баштанник, Н. А., Лобейко, В. И. Оптимизация путей обмена информацией между элементами АСУ методом динамического программирования // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 7. № 12(60). С. 8–11.
4. Bashtannik, N. A., Lobeyko, V. I. Model Of The Network Method Of Optimization Of the Routers For Exchange Of The Information Between Elements of Automated Control Systems. // International Journal Of Applied Engineering Research. Volume 10, Number 15. Page 35328-35331. ISSN 0973-4562 (2015). © Research India Publications. <http://www.ripublication.com>.
5. Баштанник, Н. А., Лобейко, В. И., Михолап, Л. А. Оптимизация потоков и маршрутов обмена информацией между элементами автоматизированной системы управления // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. Т. 7. № 13(177). С. 42–44.
6. Старусев, А. В., Лобейко, В. И., Поляков, С. В. Применение интервальных оценок для анализа характеристик испытываемых сложных технических систем // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. Т. 7. № 13(177). С. 85–88.
7. Лобейко, В. И. Современные подходы к организации испытаний сложных систем. – Астрахань : Астраханский университет, 2006. – 367 с.

УДК 004.942, 519.213, 519.872.4

**С. В. Гаевой, В. М. А. Ахмед, Д. В. Быков, С. А. Фоменков**  
**АППРОКСИМАЦИЯ ПОТОКА ЗАДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА UNILU-GAIA**  
**Волгоградский государственный технический университет**  
 gaevserge@mail.ru

В настоящее время актуальна необходимость анализа обслуживания заданий вычислительными кластерами. В работе рассматривается вопрос перехода от лога работы вычислительного кластера (список всех пришедших заданий) к его аппроксимации. Аппроксимируются стохастические параметры: время выполнения заданий, интервалы между их поступлениями. Результат проверяется имитационным моделированием.

**Ключевые слова:** метод моментов, метод наибольшего (максимального) правдоподобия, функция распределения, параллельные нагрузки, немасштабируемые задания, время выполнения заданий, имитационное моделирование, стохастическая аппроксимация.

**S. V. Gaevoy, W. M. A. Ahmed, D. V. Bykov, S. A. Fomenkov**  
**THE APPROXIMATION OF TASK STREAM BY USING**  
**THE COMPUTING CLUSTER UNILU-GAIA**  
**Volgograd State Technical University**

At present the need for the analysis of the job execution on computing clusters is necessary. In this paper the conversion of input cluster logs (lists of all incoming jobs) into their approximations. The stochastic parameters (job execution time, inter-arrival ) are approximated. The result is verified through simulation model.

**Keywords:** method of moments, maximum likelihood, cumulative distribution function, parallel workloads, rigid jobs, job length, simulation, stochastic approximation.

**Введение**

В настоящей работе осуществляется построение стохастической модели нагрузки. В кластерную систему поступают задания для выполнения. Кластера построены из вычислительных машин равной производительности [1–4]. Каждое задание может исполняться параллельно на нескольких машинах. Будем использовать терминологию [1–4]. Количество вычис-

лительных машин, требуемое заданием, прописано в нем в момент создания и называется шириной. Длиной задания назовем время его выполнения. Площадью задания назовем произведение длины на ширину. Шириной/площадью очереди/системы назовем сумму ширин/площадей, входящих в нее заданий. Длиной очереди/системы назовем число заданий в ней.

В [6] предоставлены логи работы реальных вычислительных систем. Описание потока заданий содержит время прихода задания, его ширину и длину. Это нагрузка вычислительной системы. Целью ставится аппроксимация стохастических величин: интервалов между приходами заданий, длин (или площадей) и ширин заданий для последующего моделирования работы вычислительной системы.

Необходимо построить модель, которая дает возможность перейти от логов работы к законам распределения случайных величин, к способам генерации стохастических параметров заданий. Этот переход позволит сократить объем информации необходимый для хранения нагрузки, увидеть закономерности в ней, предсказать возможные варианты нагрузки, получить материал для моделирования обслуживания и т. д.

Качество результата оценивается путем моделирования обслуживания сгенерированных нагрузок. В качестве модели используется модель из [2–4], а в качестве эталона моделируется детерминированная нагрузка из [6] на тех же средствах.

$$\overline{E(X)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad \overline{VAR(X)} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \overline{E(X)})^2 = \frac{N}{N-1} (\overline{E(X^2)} - \overline{E(X)}^2),$$

где  $N$  – число наблюдений;  $X_i$  – конкретное наблюдение №  $i$ .

Также нам потребуют  $pdf(x)$  и  $cdf(x)$  – дифференциальная и интегральная функции распределения.

Использовать ММ можно лишь для распределений, у которых не более четырех параметров, так как на практике определение моментов выше четвертого порядка затруднено из-за большой доли случайности.

Метод наибольшего правдоподобия (МНП) лишен этого недостатка, но потребует больших вычислительных ресурсов [1, 3].

Функция правдоподобия имеет вид:

$$L = \prod_{j=1}^N pdf(X_j),$$

где  $N$  – число наблюдений;  $X_j$  – конкретное наблюдение №  $j$ .

В соответствии с методом необходимо проинвестировать максимизацию этой функции. Аналитическое решение в общем случае может быть затруднительно.

## Аппроксимация входного потока

### 1. Используемые распределения

В работе будут рассмотрены несколько распределений, которые дали относительно хорошие результаты. После работ [1, 3] было проведено уточнение различных моментов аппроксимации и набор законов был изменен.

Методами аппроксимации как и ранее являются метод моментов (ММ) и метод наибольшего правдоподобия (МНП).

Вариант ММ предполагает определение параметров распределения по моментам, то есть количество оценок моментов должно равняться количеству параметров распределения.

Обозначим моменты так:  $E(X)$  – математическое ожидание величины  $X$ ;  $VAR(X)$  – ее дисперсия;  $stDev(X)$  – среднее квадратичное отклонение;  $cov(X) = \frac{stDev(X)}{E(X)}$  – коэффициент вариации. Если мы имеем дело с оценкой момента, то будем писать над ней горизонтальную черту.

Необходимые оценки можно по формулам:

Функция может принимать значения очень близкие к нулю, и это может привести к серьезным проблемам из-за округления чисел в ЭВМ, поэтому максимизацию функции надо заменить максимизацией ее логарифма  $\ln L$  (или минимизацией  $-\ln L$ ).

В качестве метода численной оптимизации возьмем метод Хука-Дживса. Для аналитического решения может быть использован необходимый признак экстремума функции нескольких переменных.

### 2. Используемые законы распределения

Исследования показывают, время выполнения задания обычно является случайной величиной с большим коэффициентом вариации [7]. Также очевидно, что она не может быть отрицательной.

В качестве законов распределения случайных после уточнения выводов [1, 3] величин были взяты следующие (в различных источниках встречаются различные обозначения) [5]:

#### 1) $M$ – экспоненциальное распределение:

$$pdf(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}, \quad cdf(x) = 1 - e^{-\lambda x},$$

$$E(X) = stDev(X) = \frac{1}{\lambda}.$$

Для этого распределения оценки ММ и МНП совпадают и дают

$$\lambda = \frac{1}{E(X)}.$$

Решение для МНП возможно аналитически;  
2)  $\Gamma$  – гамма-распределение:

$$pdf(x) = \lambda \cdot \frac{(\lambda x)^{v-1}}{\Gamma(v)} \cdot e^{-\lambda x},$$

$$cdf(x) = \frac{\gamma(v, \lambda x)}{\Gamma(v)} = P(v, \lambda x),$$

$$E(X) = \frac{v}{\lambda}, \quad VAR(X) = \frac{v}{\lambda^2},$$

где  $\Gamma(x)$  – гамма-функция Эйлера;  $\gamma(x, y)$  – неполная нижняя гамма-функция;  $P(x, y)$  – нормированная нижняя гамма-функция.

Оценки ММ ( $\Gamma_\mu$ ) имеют вид:

$$\lambda = \frac{E(X)}{VAR(X)}, \quad v = \lambda \cdot \overline{E(X)}.$$

Оценки МНП ( $\Gamma_\lambda$ ) найти труднее. Из равенства частных производных логарифмической функции правдоподобия нулю удалось получить

$$\lambda = \frac{v}{E(X)}, \quad \Psi(v) = \overline{E(\ln X)} - \ln(\overline{E(X)}) + \ln v,$$

где  $\Psi(v)$  – дигамма-функция;  $\overline{E(\ln X)}$  – оценка среднего значения логарифма случайной величины.

Стоит отметить, что обе оценки дают одно и то же математическое ожидание, которое совпадает с оценкой ( $E(X) = \overline{E(X)}$ ), но остальные моменты будут различаться в общем случае.

Все вышеуказанные распределения будем считать простыми в противоположность гипер-распределениям, которые следуют далее.

3)  $H(n)$  – гиперэкспоненциальное распределение:

$$pdf(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \lambda_i e^{-\lambda_i x} \quad cdf(x) = 1 - \sum_{i=1}^n \alpha_i e^{-\lambda_i x},$$

$$1 \geq \alpha_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad cov(X) \geq 1.$$

где  $n$  – число ветвей, веток распределения (задается перед аппроксимацией как часть вида распределения).

Из условия  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$  следует, что одна из  $\alpha_i$

задается по остаточному принципу, поэтому число параметров этого распределения равно  $2n-1$ . Будут использованы распределения с двумя и тремя ветками, значит, необходимо определить до пяти параметров. ММ не применим, поэтому будет использован МНП с численной оптимизацией;

4)  $HG(n)$  – гипергамма-распределение:

$$pdf(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \lambda_i \frac{(\lambda_i x)^{v_i-1}}{\Gamma(v_i)} e^{-\lambda_i x},$$

$$cdf(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i P(v_i, \lambda_i x), \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad 1 \geq \alpha_i \geq 0,$$

$$cov(X) \in (0; \infty).$$

где  $n$  – число ветвей, веток распределения (задается перед аппроксимацией как часть вида распределения).

Число параметров этого распределения дается формулой  $3n-1$ . В данной работе будет использовано распределение с двумя ветками  $n=2$ , которое имеет  $3n-1=3 \cdot 2-1=5$  параметров.

3. Модели аппроксимации нагрузки

В данной статье нами представлены значительные модификации и уточнения пяти основных моделей нагрузки [1, 3] с вариациями. Для описания моделей будет использована предложенная нами модификация нотации Кендалла. В [6] предоставлены логи работы реальных вычислительных систем, где указываются времена прихода заданий, длины и ширины. Будет использован лог UniLu-Gaia-2014-2.swf, который принадлежит кластеру шириной 2004.

Начнем с самого простого варианта  $A/B/2004$ , где  $A$  и  $B$  – законы распределения, которыми осуществлена аппроксимация. Сразу же уберем из нотации количество узлов, так как оно нигде не будет меняться и смысла его указывать нет. То есть будем писать  $A/B$ .

Здесь у нас сразу же появляется то, чего нет в классической модели. Ширина задания может принимать конечное число значений. Вероятность того, что задание обладает некоторой шириной, можно определить в виде массива значений на основе статистики из лога. Площадь и длину нельзя рассматривать как независимые величины: вместе с шириной они связаны соотношением. Значит, надо аппроксимировать либо длину, либо площадь, а вторая опре-

делится через ширину. Добавим знак «^» после тех законов распределения, которые аппроксимируют длину. То есть  $A/B^{\wedge}$  аппроксимирует длину, а  $A/B$  – площадь.

Задания различной ширины могут иметь весьма различные характеристики распределения длины/площади, поэтому имеет смысл попробовать выделить отдельные законы на интервалы ширины. В самом простом случае мы выделяем для каждой ширины свое распределение длины/площади задания. Обозначим это значком «\$» перед обозначением закона распределения длины/площади, например,  $A/ \$B$ . Второй вариант разделения – выделить в отдельную группу каждую ширину, равную степени двойки. Это имеет смысл, так как согласно [7] в логарифмах доминируют именно задания, ширина которых является степенью двойки, даже тогда, когда к этому нет технических предпосылок [7]. Интервалы ширин между степенями двойки выделим тоже в отдельные группы: по одной группе на каждый интервал. Обозначим такое выделение групп знаком «&», например,  $A/ \&B$ . Очевидно, что модели  $\$B$  и  $\$B^{\wedge}$  неразличимы, так как здесь длина и площадь всегда пропорциональны друг другу.

Аналогичное разделение можно провести и для входных времен заданий: выделим несколько входных потоков, в каждом из которых приходят задания с ширинами из определенного интервала. Возьмем те же принципы разби-

ния и те же обозначения. Получится, например, так  $\$A/ \&B$ .

Работа [7] предлагает анализировать входной поток как нестационарный. В данной работе будет рассмотрено изменение интенсивности потока заявок в течение недели. На рис. 1 видны явные колебания интенсивности в течение семи дней. За начало недели мы взяли полночь с воскресенья на понедельник. Будем полагать, и что интенсивность остается постоянной в течение получаса (как в [7]).

Под приведенной интенсивностью подразумевается

$$\tilde{\lambda}(t) = \frac{\lambda(t)}{\bar{\lambda}},$$

где  $\tilde{\lambda}(t)$  – приведенная интенсивность;  $\lambda(t)$  – интенсивность;  $\bar{\lambda}$  – средняя интенсивность в течение недели.

Для генерации интервала между событиями нестационарного потока искадим временную шкалу. Интервалом времени между реальными точками  $t_0$  и  $t_1$  временной шкалы будем считать значение интеграла  $\int_{t_0}^t \tilde{\lambda}(t) dt$ . Назовем ее

случайным приведенным временем между приходами заданий. Такой поток будет стационарным и его можно аппроксимировать обычным способом, а потом сделать возврат к изначальной шкале времени.

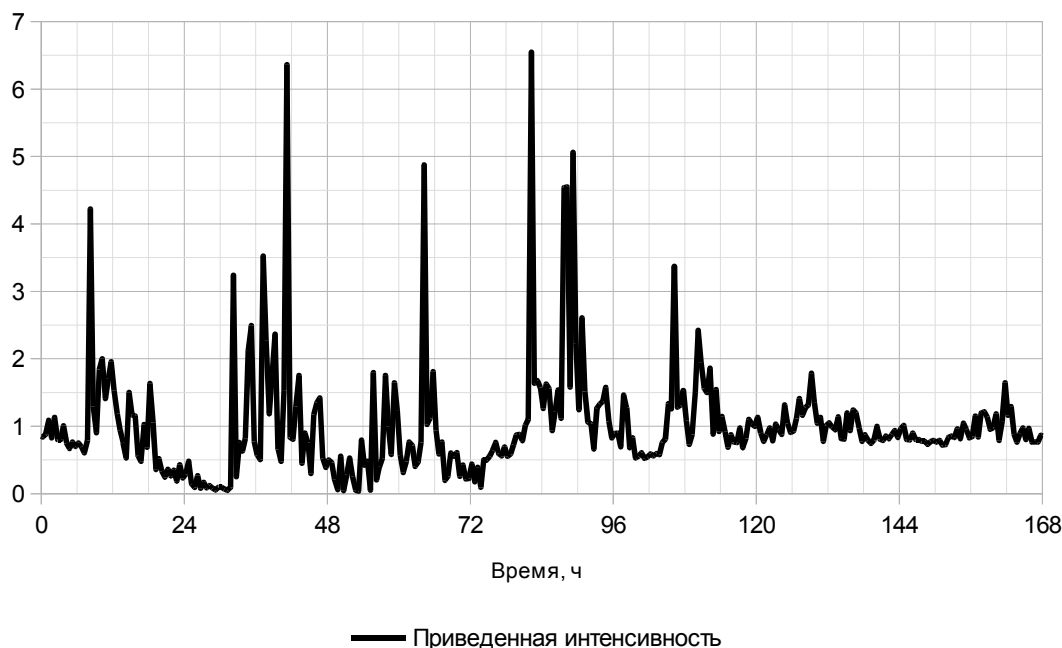


Рис. 1. Изменения интенсивности заданий в течение недели

Обозначим такую модель знаком « $\sim$ » перед обозначением входного потока, например,  $\sim A/B$ . Здесь сразу же надо оговорить одну важную особенность. Обозначения  $\sim A/B$  и  $A/\sim B$  не одинаковы. В первом случае мы подразумеваем введение единой интенсивности для всех входных потоков, а во втором каждый поток получает свою собственную интенсивность.

#### 4. Аппроксимация лог кластера UniLu-Gaia

Пример аппроксимации эмпирической функции распределения (ЭФР) времени между при-

ходами заданий изображены на рис. 2 и 3. Гиперраспределения более точно описывают случайную величину.

Мы отказались от использования лог LANL-CM5-1994-4.1-cln из [3] (там ширины заданий только степени двойки) и от LPC-EGEE-2004-1.2-cln из [1] (там лишь задания единичной ширины). Эти логи были хороши для проверки модели и демонстрации ее работоспособности. Кроме того, используемый здесь лог UniLu-Gaia является одним из самых последних на момент написания статьи.

Аппроксимация времени между приходами заданий

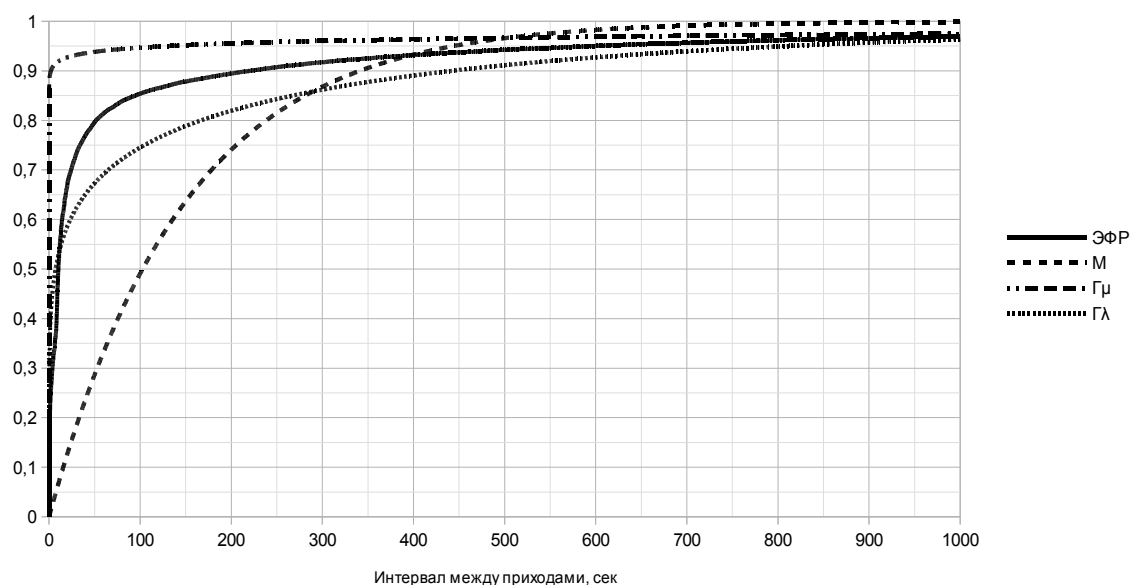


Рис. 2. Аппроксимация времени между приходами заданий простыми распределениями

Аппроксимация времени между приходами заданий

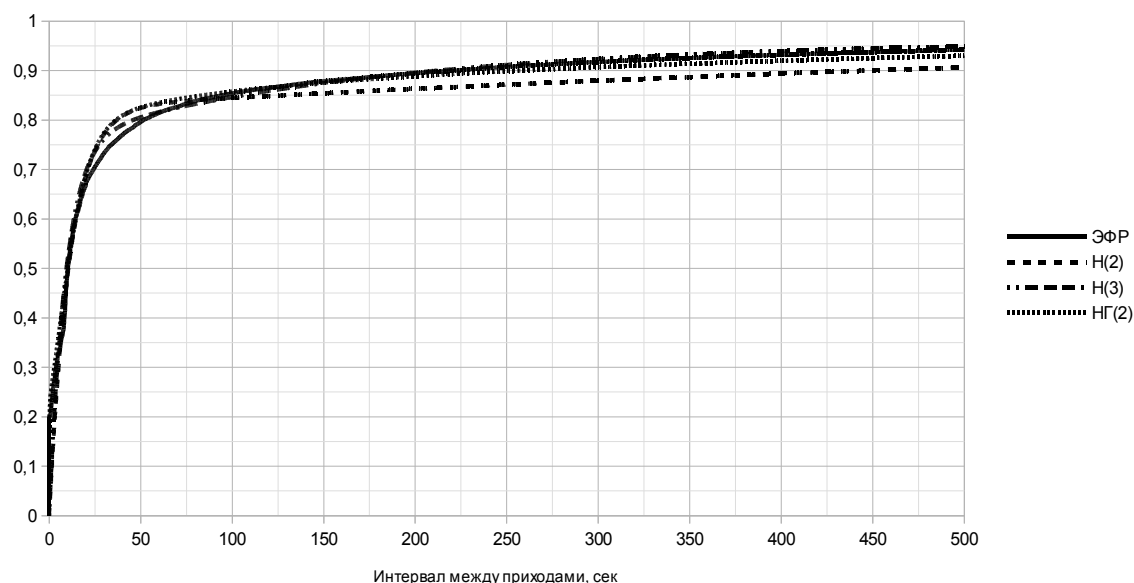


Рис. 3. Аппроксимация времени между приходами заданий гиперраспределениями

Очевидно, что гиперраспределения дают гораздо более качественную аппроксимацию, так как имеют большее число параметров (у графика больше число степеней свободы). Но большее число параметров означает более долгий поиск МНП.

#### 5. Моделирование аппроксимаций

Для оценки качества аппроксимации проведено стохастическое имитационное моделирование предложенных моделей. Промоделированы все возможные комбинации входных потоков и обслуживаний. Для входного потока:  $A$ ,  $\sim A$ ,  $\$A$ ,  $\&A$ ,  $\sim \$A$ ,  $\sim \&A$ ,  $\$ \sim A$ ,  $\& \sim A$  (для шести законов распределения это 48 вариантов). Для обслуживания:  $B$ ,  $\$B$ ,  $\&B$ ,  $B^\wedge$ ,  $\&B^\wedge$  (30 вариантов). Итого здесь 1440 комбинаций.

Для моделирования было усовершенствовано средство, разработанное в [2–4], что позволило сократить время моделирования и таким образом рассмотреть гораздо больше количество моделей.

Погрешность имитационного моделирования была задана как 5 %. Это потребовало по

ЦПТ [5] более 40 испытаний на каждый случай. Это уже свыше 70 тыс. испытаний.

Чтобы выбрать лучший вариант используется критерий отклонения

$$Dev = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\tilde{P}_i - P_i}{P_i} \right)^2},$$

где  $N$  – число параметров;  $P_i$  – эталонное значение параметра;  $\tilde{P}_i$  – значение по стохастической модели.

Модели с самым малым значением этого параметра представлены в табл. 1, а с самыми плохими – в табл. 2. Стоит обратить внимание, что в таблице указаны два средних времени ожидания. Отмеченное штрихом не учитывает нулевое время ожидания заданий, не попавших в очередь.

Отличия между самыми хорошими моделями укладываются в погрешность моделирования, поэтому нет смысла говорить о том, какая из них лучше. Еще около 20 моделей дают очень близкий к этому результат.

Таблица 1

Самые хорошие аппроксимации

|                                       | $\&\sim N(2)/\Gamma\lambda^\wedge$ | $\sim \&N\Gamma(2)/N(2)^\wedge$ | $\$ \sim N(2)/\&N\Gamma(2)^\wedge$ | $\&\sim N\Gamma(2)/N(2)^\wedge$ | $\sim \&N(3)/\&\Gamma\lambda^\wedge$ | Эталон   |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------|
| Среднее время выполнения, с           | 14257                              | 14274                           | 14313                              | 14274                           | 14325                                | 14329    |
| Среднее число выполняемых             | 96,114                             | 96,71                           | 96,556                             | 95,641                          | 96,813                               | 93,067   |
| Среднее число занятых каналов         | 959,93                             | 963,36                          | 926,74                             | 958,65                          | 917,9                                | 872,26   |
| Среднее время ожидания, с             | 75,776                             | 68,331                          | 66,145                             | 65,643                          | 84,703                               | 72,41    |
| Среднее время ожидания', с            | 2193,1                             | 2250,5                          | 2293,6                             | 2264                            | 2224,2                               | 2259,7   |
| Доля попавших в очередь               | 0,031249                           | 0,02806                         | 0,026674                           | 0,025697                        | 0,034756                             | 0,032044 |
| Средняя длина очереди                 | 0,51156                            | 0,46544                         | 0,44823                            | 0,43867                         | 0,57612                              | 0,4703   |
| Средняя ширина очереди                | 14,185                             | 14,686                          | 14,941                             | 15,439                          | 14,8                                 | 15,31    |
| Среднее время пребывания в системе, с | 14332                              | 14343                           | 14379                              | 14340                           | 14410                                | 14402    |
| Средняя длина системы                 | 96,625                             | 97,176                          | 97,004                             | 96,08                           | 97,39                                | 93,537   |
| Средняя ширина системы                | 974,12                             | 978,05                          | 941,68                             | 974,09                          | 932,7                                | 887,57   |
| Отклонение                            | 0,070089                           | 0,072419                        | 0,063817                           | 0,082707                        | 0,083977                             | 0        |

Таблица 2

## Самые плохие аппроксимации

|                                       | $\sim G_{\mu}/M^{\wedge}$ | $\$-G_{\mu}/M$ | $\$-G_{\mu}/T\wedge^{\wedge}$ | $\&-G_{\mu}/M^{\wedge}$ | $\$-G_{\mu}/M^{\wedge}$ | Эталон   |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|
| Среднее время выполнения, с           | 14325                     | 56811          | 14283                         | 14310                   | 14308                   | 14329    |
| Среднее число выполняемых             | 96,733                    | 380,995        | 98,239                        | 96,642                  | 96,238                  | 93,067   |
| Среднее число занятых каналов         | 987,85                    | 897,96         | 989,46                        | 965,61                  | 990,86                  | 872,26   |
| Среднее время ожидания, с             | 3728,6                    | 4251,7         | 4567                          | 4823,6                  | 6432,1                  | 72,41    |
| Среднее время ожидания', с            | 10529                     | 12231          | 12958                         | 12680                   | 15277                   | 2259,7   |
| Доля попавших в очередь               | 0,35257                   | 0,34175        | 0,34638                       | 0,37595                 | 0,41614                 | 0,032044 |
| Средняя длина очереди                 | 25,337                    | 28,934         | 31,795                        | 32,898                  | 43,713                  | 0,4703   |
| Средняя ширина очереди                | 501,79                    | 415,39         | 529,4                         | 493,02                  | 766,05                  | 15,31    |
| Среднее время пребывания в системе, с | 18055                     | 61077          | 18854                         | 19138                   | 20745                   | 14402    |
| Средняя длина системы                 | 122,07                    | 409,93         | 130,03                        | 129,54                  | 139,95                  | 93,537   |
| Средняя ширина системы                | 1489,6                    | 1313,3         | 1518,9                        | 1458,6                  | 1756,9                  | 887,57   |
| Отклонение                            | 22,329                    | 23,824         | 26,663                        | 27,257                  | 37,556                  | 0        |

В самых плохих результатах фигурируют  $G_{\mu}$  и  $M$ , так как эти законы распределения дают очень грубую аппроксимацию.

## Заключение

Таким образом, была предложена усовершенствована методика аппроксимации потока заданий вычислительной системы. Из нее были удалены не оправдавшие себя законы распределения, а затем за счет этого и за счет оптимизации вычислений было рассмотрено большее число моделей. В этот раз было получено около 25 хороших моделей, хотя в предыдущих работах [1, 3] это число составляло всего лишь несколько единиц. Полученные модели позволяют воссоздать случайную нагрузку вычислительной системы и использовать ее вместо лог в дальнейших исследованиях с целью получить показатели качества обслуживания, оптимизировать его параметры, найти способы балансировать нагрузку.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаевой, С.В. Аппроксимация времени выполнения заданий на примере вычислительного кластера LPC EGEE 2004 / С.В. Гаевой, Ф.А.Х. Аль-Хадша, С.А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12(139). С. 135–141.

2. Гаевой, С.В. Детерминированная имитационная модель кластеров грид-системы, обслуживающих задания / С.В. Гаевой, Ф.А.Х. Аль-Хадша, В.С. Лукьянов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 6. – С. 39–43.

3. Гаевой, С.В. Моделирование работы вычислительного кластера на примере LANL CM5 [Электронный ресурс] / С.В. Гаевой, Ф.А.Х. Аль-Хадша // SCI-ARTICLE.RU : Электронный периодический научный журнал. – 2013. – № 3 (ноябрь). – С. 304–313. – Режим доступа : [http://sci-article.ru/stat.php?i=modelirovanie\\_raboty\\_vychislitelnogo\\_klastera\\_na\\_primere\\_LANL\\_CM5](http://sci-article.ru/stat.php?i=modelirovanie_raboty_vychislitelnogo_klastera_na_primere_LANL_CM5)

4. Детерминированная имитационная модель кластеров грид-системы для сравнения эффективности использования эвристик распределения заданий / С.В. Гаевой, Ф.А.Х. Аль-Хадша, С.А. Фоменков, В.С. Лукьянов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 148–157.

5. Фоменков, С.А. Математическое моделирование системных объектов : учеб. пособие / С.А. Фоменков, В.А. Камаев, Ю.А. Орлова ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 336 с.

6. Logs of Real Parallel Workloads from Production Systems [Электронный ресурс] // The Rachel and Selim Benin School of Computer Science and Engineering. – [2013]. – Режим доступа : <http://www.cs.huji.ac.il/labs/parallel/workload/logs.html>

7. Lublin, U. The Workload on Parallel Supercomputers: Modeling the Characteristics of Rigid Jobs [Электронный ресурс] / U. Lublin, D. G. Feitelson // The Rachel and Selim Benin School of Computer Science and Engineering. – [2013]. – Режим доступа : <http://www.cs.huji.ac.il/~feit/papers/Rigid01TR.pdf>

УДК 621.371.3:628.518

*Н. Б. Догадин***ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО РАСЧЕТА ГРАНИЦЫ  
САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ  
БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ WI-FI В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ****Муниципальное учреждение «Центр по работе с подростками  
и молодежью «Ровесник» Краснооктябрьского района Волгограда»**

dogadin@vspu.ru

Рассмотрены особенности прогнозирующего расчета санитарно-защитной зоны, устанавливаемой вокруг передающих антенн базовых станций сети Wi-Fi внутри закрытых помещений. Указаны основные факторы, влияющие на протяженность санитарно-защитной зоны. Выработаны практические рекомендации, позволяющие предотвратить неблагоприятное влияние на здоровье человека электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями сети Wi-Fi внутри закрытых помещений.

*Ключевые слова:* прогнозирующий расчет, сети Wi-Fi, базовая станция, электромагнитное поле, плотность потока энергии, антенны Wi-Fi, распространение радиосигналов, санитарно-защитная зона.

*N. B. Dogadin***PECULIARITIES OF THE PREDICTED CALCULATION  
OF HYGIENIC PROTECTIVE ZONE BOUNDARIES IN LOCATIONS  
OF BASE STATIONS OF WI-FI NETWORKS IN THE CLOSED PREMISES****Municipal institution «Center for the teenagers and young people  
«Rovesnik» of Krasnooktyabsky district, Volgograd»**

The peculiarities of the predicted calculation of the hygienic protective zone set around transmitting antennas of base stations of the Wi-Fi network in the closed premises are considered. The main factors influencing the length of the hygienic protective zone are given. The recommended practices providing to prevent the adverse influence of the electromagnetic field on human health, which the base-stations of the Wi-Fi network in the closed premises build up, are produced.

*Keywords:* predicted calculation, Wi-Fi networks, Base Station, electromagnetic field, flux density of electromagnetic energy, Wi-Fi antenna, radio signal propagation, hygienic protective zone.

В настоящее время широкое распространение для обмена данными получили беспроводные сети различных спецификаций стандарта IEEE 802.11, часто называемых сетями Wi-Fi. Это во многом связано с возможностью использования в качестве их абонентских станций (АС) широко распространенных мобильных устройств: планшетных компьютеров, устройств сети подвижной радиотелефонной связи (смартфонов и коммуникаторов), ноутбуков и т. д. Такие сети часто применяют локально, обеспечивая доступ к сети Интернет внутри отдельных закрытых помещений зданий различного назначения (общественных, производственных и жилых), размещая внутри комнат, лабораторий, аудиторий базовую станцию (БС) сети (часто называемую точкой доступа) и ее приемопередающую антенну (в данном контексте рассмотрено использование антенны только как передающей).

Размещение излучающего оборудования в непосредственной близости от расположения

людей может оказать на их здоровье неблагоприятное влияние, особенно если оборудование установлено на небольшом удалении от преимущественного расположения человека. Однако очень часто в качестве критерия при выборе места размещения БС и ее антенны используют лишь удобство проводного подключения БС к локальной сети, что может не обеспечить исполнение гигиенических требований, поэтому рассмотрение условий их выполнения актуально, и это позволит оптимизировать проектирование и построение сети Wi-Fi.

Безопасность людей при эксплуатации оборудования, служащего источником воздействия на их здоровье, обеспечивает санитарно-защитная зона (СЗЗ), устанавливаемая вокруг такого оборудования, и ее граница указывает пространство, за пределами которого значение воздействия физических факторов на человека не превышает предельно допустимые уровни (ПДУ). Эти уровни установлены в Государственных санитарно-эпидемиологических прави-

лах и нормативах (СанПиН), исполнение которых обязательно на территории РФ гражданами и организациями.

В настоящее время при построении сети Wi-Fi в закрытых помещениях используют оборудование, в котором для обмена данными применены радиосигналы диапазонов частот 2,4 ГГц и 5 ГГц. В действующих в настоящее время редакциях СанПиН установлено значение плотности потока энергии (ППЭ) в таких диапазонах, создаваемое антеннами БС на территории жилой застройки, внутри общественных, производственных и жилых помещений (включая балконы и лоджии), не превышающим предельно допустимый уровень  $P_{\text{ПДУ}} = 10,0 \text{ мВт/см}^2$  [1, 2]. Этим значением ограничена и суммарная ППЭ одновременно используемых нескольких источников излучения. Согласно указанным документам, СЗЗ должна быть ограждена и/или обозначена предупредительными знаками.

Расстояние от центра передающей антенны до границы СЗЗ зависит от многих факторов (выходной мощности радиопередатчика, параметров фидера и передающей антенны, условий распространения радиоволны и т. д.), и реальное значение этого расстояния определяют инструментальным контролем уровней ППЭ. Однако для минимизации затрат целесообразно уже на стадии проектирования сети выполнить прогнозирующий расчет расстояния до границы СЗЗ и с его учетом оптимизировать выбор места размещения передающей антенны или БС с непосредственно подключенной антенной (что часто применяют на практике).

Известны методики расчета расстояния от центра передающей антенны до границы СЗЗ, позволяющие прогнозировать распределение уровней ППЭ рассматриваемых диапазонов частот в различных зонах излучения (например, [3]). Однако они достаточно сложны для непрофильных специалистов и учитывают конкретные конструктивные особенности различных типов антенн, которые, как правило, не приведены в технических описаниях антенн, предлагаемых торговыми организациями для применения в сетях Wi-Fi. Кроме того, рассмотренные в этих методиках типы антенн

преимущественно предназначены для использования в составе различных радиорелейных систем, спутниковых систем передачи данных, радиолокационных станций, и в сетях Wi-Fi в закрытых помещениях их обычно не применяют. Все это затрудняет использование таких методик при проектировании сетей Wi-Fi, особенно специалистами, обладающими ограниченным уровнем подготовки в области радиотехники.

Однако введение уточнений, характеризующих особенности технических параметров оборудования сетей Wi-Fi, позволяет значительно упростить прогнозирующий расчет расстояния до границы СЗЗ, сделав его более широкодоступным. Рассмотрим это подробнее.

Все пространство вокруг антенны обычно разделяют на ряд характерных областей, подробно рассмотренных в [3], которые укрупнено можно сгруппировать в области ближней и дальней зон излучения. Обычно упрощенно считают, что начало дальней зоны излучения расположено от центра антенны на расстоянии  $r_{\text{ДЗ}} = 2d^2/\lambda$ , где  $d$  – наибольший геометрический размер антенны;  $\lambda$  – длина волны излученного колебания.

Очень часто в качестве передающей антенны БС сети Wi-Fi, предназначенной для обслуживания одного или нескольких расположенных рядом помещений, применяют полуволновой симметричный вибратор. В этом случае начало дальней зоны излучения от центра антенны для излученного колебания диапазона частот 2,4 ГГц будет расположено ориентировочно на расстоянии 6,2 см, а для колебаний диапазона 5 ГГц – на расстоянии 2,8 см. Как показывают приведенные ниже расчеты, граница СЗЗ расположена на расстояниях, превышающих эти значения, поэтому для ее ориентировочного расчета можно использовать параметры антенн для дальней зоны излучения, именно те, которые приводят в технических описаниях, сопровождающих продаваемые изделия.

При распространении радиосигнала в условиях закрытого помещения значение ППЭ в дальней зоне излучения можно рассчитать по формуле

$$P = P_{\text{ПЕР}} G_{\text{ПЕР}} F_{\text{ПЕР}}(\alpha) F_{\text{ПЕР}}(\varphi) \eta_{\text{ПЕР}} k_{\text{Ф}}^2 / (4\pi R^2 \text{ ППЭ}), \quad (1)$$

где  $P_{\text{ПЕР}}$  – выходная мощность радиопередатчика БС;  $G_{\text{ПЕР}}$  – коэффициент усиления по мощности передающей антенны относительно

изотропного излучателя;  $F_{\text{ПЕР}}(\alpha)$  – нормированное относительно максимального значения диаграммы направленности (ДН) антенны по мощ-

ности в вертикальной плоскости для угла, образованного направлениями на точку наблюдения и главного лепестка ДН;  $F_{\text{ПЕР}}(\varphi)$  – нормированное относительно максимального значения ДН антенны по мощности в горизонтальной плоскости для угла, образованного направлениями на точку наблюдения и главного лепестка ДН;  $\eta_{\text{ПЕР}}$  – коэффициент, характеризующий потери в антенно-фидерном тракте радиопередатчика (в отсутствии потерь  $\eta_{\text{ПЕР}} = 1$ );  $k_{\text{Ф}}$  – коэффициент, учитывающий изменение ППЭ при распространении сигнала в закрытом помещении относительно излучения в свободном пространстве (для последнего  $k_{\text{Ф}} = 1$ );  $R_{\text{ППЭ}}$  – расстояние от антенны до места определения ППЭ.

Из этой формулы можно определить расстоя-

$$R_{\text{СЗЗ,дБ}} (\text{исх. 1 см}) = P_{\text{ПЕР,дБм}} + G_{\text{ПЕР,дБи}} + F_{\text{ПЕР,дБ}}(\alpha) + F_{\text{ПЕР,дБ}}(\varphi) + \eta_{\text{ПЕР,дБ}} + k_{\text{Ф,дБ}} + 9 \text{ дБ}. \quad (2)$$

В ней для конкретизации использования логарифмических единиц индексы соответствующих величин приведены составными, и их вторая часть указывает общепринятое базовое значение для этой величины, т.е. то обозначение единицы, которое обычно приводят при указании параметров величины в технических описаниях продаваемых изделий. Для  $P_{\text{ПЕР,дБм}}$  – это значение 1 мВт,  $G_{\text{ПЕР,дБи}}$  обычно измеряют относительно изотропной антенны (для которой принимают  $G = 1$ ),  $F_{\text{ПЕР,дБ}}(\alpha)$ ,  $F_{\text{ПЕР,дБ}}(\varphi)$  и  $\eta_{\text{ПЕР,дБ}}$  нормируют относительно их максимальных значений ( $F_{\text{ПЕРМАХ}}(\alpha) = F_{\text{ПЕРМАХ}}(\varphi) = 1$  и  $\eta_{\text{МАХ}} = 1$ ). Значение  $k_{\text{Ф,дБ}}$  определено относительно излучения в свободном пространстве  $k_{\text{Ф,дБ}} = 20 \lg k_{\text{Ф}}$ . Напомним, что для перевода расстояния из логарифмической к единице длины – сантиметр используют формулу  $R_{\text{СЗЗ}} = 10^{R_{\text{СЗЗ,дБ}}/20}$ .

Расстояние до границы СЗЗ, рассчитанное по (2) в различных направлениях от центра антенны (как в направлении максимального излучения –  $R_{\text{СЗЗ МАХ}}$ , так и в других), позволит прогнозировать форму СЗЗ. Построение сети Wi-Fi в закрытых помещениях имеет особенности, учет которых необходим при проектировании такой сети.

Как известно, определенные радиоэлектронные средства и высокочастотные устройства подлежат в нашей стране регистрации, и их перечень установлен Постановлением Правительства РФ [4]. Применяемые в сети Wi-Fi базовые станции относят к устройствам малого радиуса действия, основные технические пока-

затели которых и условия использования в сетях беспроводной передачи данных установлены в [5]. Совокупность требований, приведенных в [4] и [5], позволяют определить диапазон частот и допустимую мощность излучения передатчика пользовательского (оконечного) оборудования, не требующего регистрации в государственных органах и оформления отдельных разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов.

Для аппаратуры стандартов IEEE 802.11, IEEE 802.11.b, IEEE 802.11.g, IEEE 802.11.n (Wi-Fi), работающей в полосе радиочастот 2400...2483,5 МГц, допустимая мощность излучения передатчика не должна превышать 100 мВт (20 дБм). Для аппаратуры стандартов IEEE 802.11.a, IEEE 802.11.n (Wi-Fi), использующей полосы радиочастот 5150...5350 МГц и 5650...5850 МГц, допустимая мощность излучения передатчика ограничена также значением 100 мВт (20 дБм). Но для такого оборудования в [5] уточнено: «условие применения устройств малого радиуса действия внутри закрытых помещений должно обеспечивать дополнительное ослабление радиосигнала от указанных устройств в направлении других РЭС, функционирующих в соответствии с Таблицей распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации».

Таким образом, величина  $P_{\text{ПЕР}}$  ограничена значением 100 мВт (20 дБм), и при использовании в оборудовании нескольких одновременно работающих передатчиков это значение огра-

ничивает их суммарную допустимую мощность излучения. В реальных условиях для обеспечения оптимальности двухстороннего обмена данными между БС и АС, целесообразно выходную мощность передатчика БС соотносить с техническими показателями АС, поэтому часто  $P_{\text{пер}}$  меньше приведенных выше максимально допустимых значений, и это сужает площадь СЗЗ.

Значительное влияние на расстояние до границы СЗЗ оказывают технические показатели передающей антенны, основными из которых, определяющими как расстояние, так форму СЗЗ, служат коэффициент усиления по мощности и диаграмма направленности (ДН) антенны. Приводимое в техническом описании значение коэффициента усиления антенны соответствует направлению ее максимального излучения. Для антенны ДН иллюстрирует зависимость коэффициента усиления по мощности антенны (обычно нормированного относительно его максимального значения) от направления на антенну в заданной плоскости.

Однако очень часто в техническом описании антенны приводят не ее ДН, а лишь для каждой из плоскостей (горизонтальной и вертикальной) указывают ширину ДН, границы которой определяют двойным уменьшением излучаемой мощности. При этом считают, что ширину ДН в каждой из плоскостей определяют два одинаковых угла, расположенных симметрично относительно направления максимального излучения и составляющих с ним значения  $\pm \theta_{0,5}$ . Сумма этих углов ( $2\theta_{0,5}$ ) соответствует значению ширины ДН антенны, на ее границах  $F_{\text{пер,дБ}}(\theta_{0,5}) = -3$  дБ, и расстояние, определяющее СЗЗ, составит  $R_{\text{СЗЗ } 0,5} = 0,707 R_{\text{СЗЗ MAX}}$ .

Если ДН отсутствует, то форму СЗЗ целесообразно выбрать из простых геометрических фигур, например, если указано, что антенна в какой-либо плоскости излучает равномерно по всем направлениям, то целесообразно принять, что в этой плоскости СЗЗ имеет форму круга с радиусом  $R_{\text{СЗЗ MAX}}$ . Если ширина диаграммы направленности ограничена углами  $\pm \theta_{0,5}$ , то форму СЗЗ можно выбрать прямоугольной, у которой расстояние от центра антенны до границы СЗЗ в направлении максимального излучения составит  $R_{\text{СЗЗ MAX}}$ . Половину каждой из боковых сторон прямоугольника будет определять расположение границы ширины ДН (угол  $\theta_{0,5}$ ), и ее отклонение от направления максимального излучения рассчитывают по формуле  $l_{\text{откл}} = R_{\text{СЗЗ } 0,5} \sin \theta_{0,5}$ . Такая идеализация

может привести к определенному завышению расчетной площади СЗЗ по сравнению с реальной, однако это создаст гигиенический запас, снижающий неблагоприятное воздействие излучения антенны БС на здоровье человека.

Как правило, БС сети Wi-Fi в закрытых помещениях соединяют с антенной непосредственно. В этом случае потерями в антенно-фидерном тракте радиопередатчика можно пренебречь, и считать  $\eta_{\text{пер}} = 1$  ( $\eta_{\text{пер,дБ}} = 0$  дБ).

Особенностью радиоволн рассматриваемых диапазонов служит их многолучевое распространение в закрытых помещениях, связанное с многократным отражением от различных поверхностей. Это изменяет распределение электромагнитного поля в пространстве, а значит, влияет на расстояние до границы СЗЗ, что в (1) учтено коэффициентом  $k_{\text{ф}}$ . Такое влияние особенно значительно при размещении антенны в непосредственной близости к отражающей поверхности. В зависимости от соотношения длины волны излученного колебания и расстояния до отражающей поверхности, материала поверхности, угла падения на нее и других факторов отраженное колебание влияет на распределение электромагнитного поля по-разному, и обычно такое влияние предсказать трудно.

При выборе места размещения передающей антенны материалы близко расположенных отражающих поверхностей (стен, оборудования, крупной мебели), как правило, известны, но расстояние до них во многом зависит от удобства реального крепления антенны, и часто в процессе ее монтажа может варьироваться. В таких условиях целесообразно прогнозировать, что отражение от поверхностей увеличит излучение в направлении границы СЗЗ. Укрупнено отражающие поверхности можно разделить на диэлектрические и металлические. На основании результатов, приведенных в [6], можно принять для диэлектрической поверхности  $k_{\text{ф}} = 1,2$  ( $k_{\text{ф,дБ}} = 1,5$  дБ), а для металлической поверхности –  $k_{\text{ф}} = 1,41$  ( $k_{\text{ф,дБ}} = 3$  дБ).

Рассчитаем ориентировочное значение расстояния от центра антенны до границы СЗЗ. Допустим, что выбрана БС, выходная мощность радиопередатчика которой соответствует максимально разрешенной и составляет 100 мВт (20 дБм). При выборе антенны учтем существующую сейчас тенденцию производителей поставлять в продажу антенны с коэффициентом усиления по мощности, значительно превышающим значения, присущие полувол-

новому симметричному вибратору, и будем считать, что коэффициент усиления по мощности  $G_{\text{ПЕР,дБ}} = 8$  дБи, что близко к обобщенному типовому значению. Предположим, что ширина ДН в горизонтальной плоскости составляет  $360^\circ$  (антенна излучает равномерно по всем направлениям), а в вертикальной плоскости –  $18^\circ$ . Антенны с такими или близкими параметрами производят для диапазонов 2,4 ГГц и 5 ГГц. Подключение их к БС, как правило, непосредственное ( $\eta_{\text{ПЕР,дБ}} = 0$  дБ).

При расположении антенны в свободном пространстве СЗЗ в горизонтальной плоскости имеет форму круга, радиус которого, рассчитанный по (2), составит 70,8 см (37 дБ). При расположении вблизи отражающей поверхности будем считать, что СЗЗ имеет форму сектора круга, ограниченного этой поверхностью (прохождение излучения сквозь отражающую поверхность выходит за рамки этого материала). Радиус такого круга при диэлектрической отражающей поверхности составит 84,1 см (38,5 дБ), а металлической поверхности – 100 см (40 дБ).

В вертикальной плоскости СЗЗ имеет форму прямоугольника, у которого расстояние от центра антенны до границы СЗЗ в направлении максимального излучения составит приведенные выше значения, а половина каждой из его боковых сторон для антенны, расположенной в свободном пространстве, составит 7,8 см, вблизи диэлектрической поверхности – 9,4 см, а металлической поверхности – 11,1 см.

Таким образом, при расчете расстояния от центра антенны до границы СЗЗ, выполненном по (2), использованы параметры оборудования, приведенные в его технических описаниях, расчет несложен и доступен людям, имеющим лишь начальную подготовку в области радиотехники. Этот расчет, проведенный на стадии проектирования сети, создает условия прогнозирования границы СЗЗ и подготовки меро-

приятий по ограждению и/или обозначению ее предупредительными знаками, проводимых после инструментального контроля уровней ППЭ.

Если возможность инструментального контроля отсутствует, то выполненный расчет целесообразно использовать для указания границы СЗЗ, рассматривая возможное удаление границы от реальной как гигиенический запас. Все это позволит снизить неблагоприятное влияние излучения на здоровье людей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов (ред. от 19.12.2007 г.) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12131290/#ixzz4Zcfy8JGr> (дата обращения: 26.02.17).
2. СанПиН 2.1.2.2645-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях (ред. от 27.12.2010 г.) [Электронный ресурс]. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/12177273/paragraph/8:5> (дата обращения: 26.02.2017).
3. МУК 4.3.1167-02 Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц. Методические указания [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/MUK43116702Opredelenieplo.html> (дата обращения: 26.02.17).
4. Постановление Правительства РФ от 12.10.2004 N 539 (ред. от 01.11.2016) «О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=206754&rnd=244973.311311778&from=171744-0#0> (дата обращения: 26.02.2017).
5. Решение ГКРЧ при Мининформсвязи России от 07.05.2007 N 07-20-03-001 (ред. от 29.02.2016) «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=652036&rnd=244973.107286463&from=527972-0#0> (дата обращения: 26.02.2017).
6. Догадин, Н. Б. Экспериментальное исследование некоторых особенностей многолучевого распространения радиоволн сетей Wi-Fi в закрытых помещениях / Н. Б. Догадин // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей : Международный сборник научных трудов. Вып. 12 / под ред. В. В. Филаретова. – Ульяновск : УлГТУ, 2015. – С. 235–243.

## РОБОТОТЕХНИКА

УДК 629.1.03

*Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов, Ю. С. Кваша, М. О. Скобелев*

### О ВЫБОРЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАКЛИНИВАЮЩЕ-ПОВОРОТНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Волгоградский государственный технический университет

dtm@vstu.ru

Рассматривается задача определения усилия заклинивания втулок как функции конструктивных параметров заклинивающе-поворотного движителя. Приводится метод решения, и анализируются полученные результаты.

*Ключевые слова:* движитель, мобильный робот.

*E. S. Briskin, N. G. Sharonov, Y. S. Kvasha, M. O. Skobelev*

### ON CHOICE OF THE GEOMETRIC PARAMETERS WEDGING-ROTARY TYPE OF MOBILE ROBOTS

Volgograd State Technical University

The problem of determining the effort of the jamming of the sleeves of the propulsive device of the wedging-rotary type is considered. The method of solution is presented and the obtained results are analyzed.

*Keywords:* propulsive device, mobile robot.

Традиционными типами движителей для наземных мобильных роботов, как правило, являются колесные и гусеничные движители [1]. Известны и шагающие движители различных типов [2, 3]. Преимущества шагающих движителей проявляются в существенно более высокой профильной и грунтовой проходимости [4, 5], а недостатки в большей сложности кинематических схем механизмов шагания и сравнительно малой скорости. В некоторых эксплуатационных ситуациях движители, дискретно взаимодействующие с опорной поверхностью вообще и шагающие в частности, обеспечивают и более высокую экологичность [4]. Это актуально в сельском и лесном хозяйстве (рис. 1).

матических схем механизмов шагания и сравнительно малой скорости. В некоторых эксплуатационных ситуациях движители, дискретно взаимодействующие с опорной поверхностью вообще и шагающие в частности, обеспечивают и более высокую экологичность [4]. Это актуально в сельском и лесном хозяйстве (рис. 1).



*а*



*б*

Рис. 1. Шагающая лесозаготовительная машина Plustech (*а*) и шагающая опора для дождевальной машины «Кубань» (*б*)

Однако наиболее экологичные движители, обеспечивающие щадящее воздействие на почву, – это движители вообще не взаимодействующие с почвенным покровом. К таким движителям могут относиться заклинивающе-поворотные движители, являющиеся естественным развитием заклинивающе-скользящих движителей [6, 7] (рис. 2).



Рис. 2. Заклинивающе-скользящий движитель

При соответствующих массо-геометрических параметрах и алгоритмах управления одним приводом этот движитель может перемещаться по вертикальному или наклонному столбу как вверх, так и вниз за счет периодического заклинивания одной из втулок и скольжения другой. Если теперь предусмотреть поворот втулок вокруг своей оси, то стрела движителя может вращаться вокруг оси опорной поверхности, например столба. Актуальность разработки и исследования таких движителей обусловлена такой их важной особенностью, как отсутствие необходимости непосредственно взаимодействовать с опорной поверхностью при перемещении по ней. Естественными объектами, жестко связанными с опорной поверхностью (грунтом), которые для этой цели могут быть использованы, являются, например, деревья, а областью применения таких движителей – лесозаготовки. Тогда отсутствует необходимость иметь тяговые движители (например, колеса и гусеницы) для такой машины. Вместо опор используются неповаленные деревья. Поэтому снимаются задачи обеспечения устойчивости машины при перемещении по грунту, решаемые, как правило, за счет габаритов и веса шасси, экологические проблемы взаимодействия движителей с грунтом, и задачи профильной и грунтовой проходимости, появляется возможность работы на крутых склонах (рис. 3).

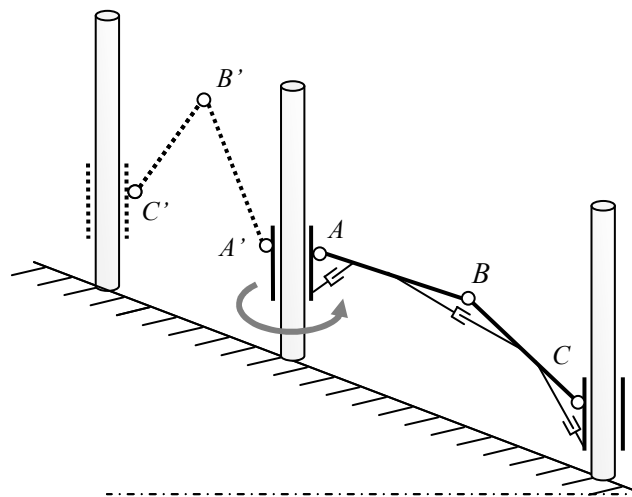


Рис. 3. Схема работы заклинивающе-поворотного движителя

Подобные движители, используемые как модули, допускают соединение в сеть, которая может оказаться эффективнее одиночного движителя. Пример соединения модулей в звез-

дообразную сеть представлен на рис. 4. Такая сеть для обеспечения большей устойчивости может иметь и точку опоры на грунт (точка А на рис. 4).

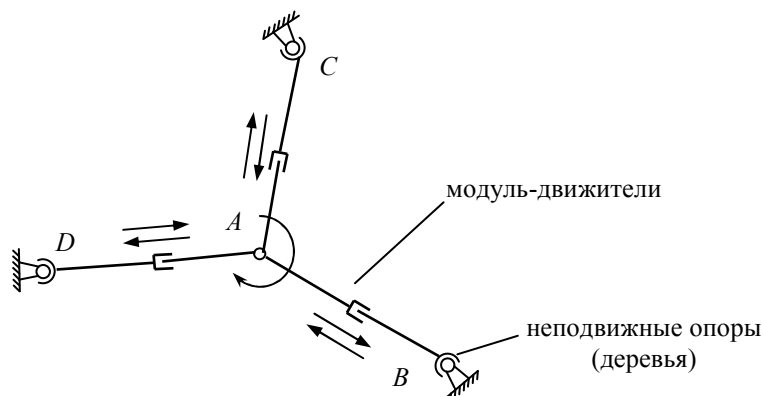


Рис. 4. Пример соединения модулей в звездообразную сеть

### Постановка задачи

Ставится задача определения усилия  $P$  обеспечивающего надежное заклинивание втулок (рис. 2) в зависимости от их геометрических параметров и стрелы двигателя ( $h, \alpha, \beta$ ), диаметра опорной стойки (дерева)  $d$ , его веса совместно с весом поворотной части стрелы  $G$  (рис. 5).

### Метод решения

Метод решения основан на составлении уравнений равновесия втулки стрелы двигателя с учетом сил трения между стойкой и втулкой. Расчетная схема для решения поставленной задачи представлена на рис. 5.

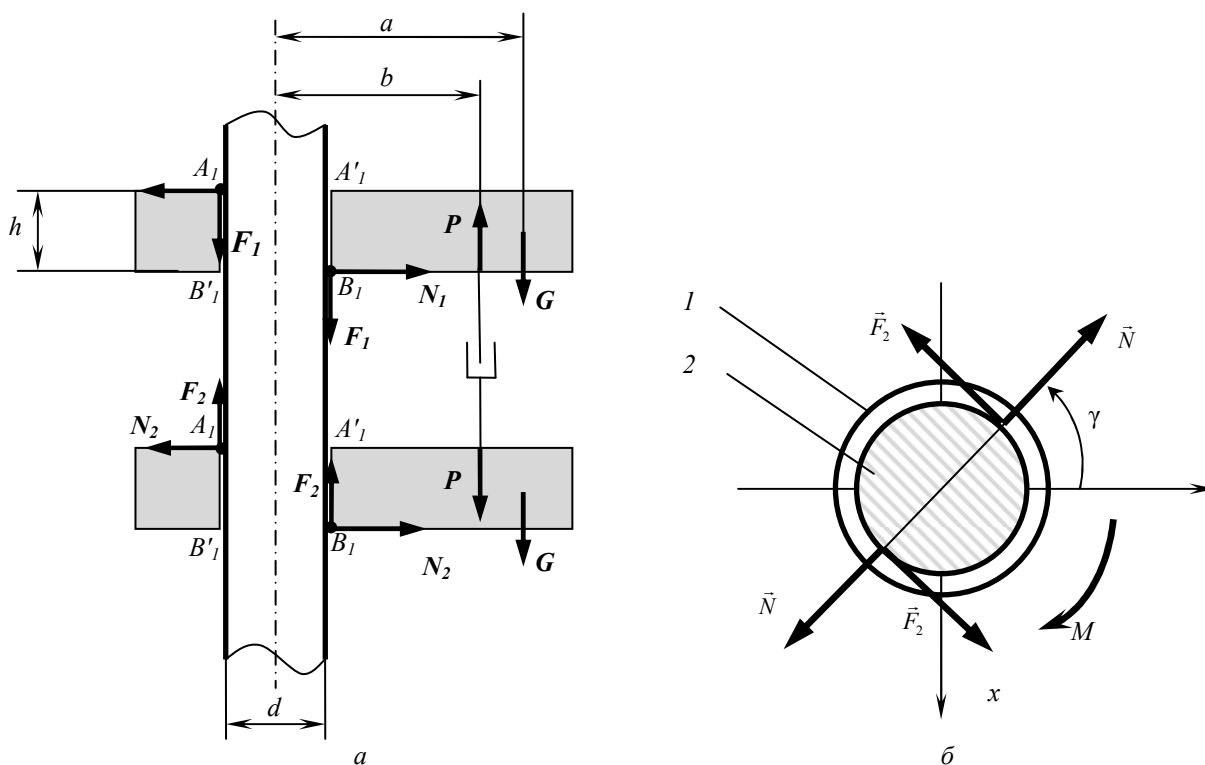


Рис. 5. Расчетная схема заклинивающе-скользящего двигателя (а); расчетная схема (б):  
1 – скользяще-заклинивающие втулки; 2 – горизонтальное сечение вертикальной опоры

Рассматривается равновесие верхней втулки. Содержательными уравнениями равновесия являются

$$\begin{cases} \sum F_2 = P - G - 2F_{mp1} = 0; \\ \sum M_x = -Ga + Pb - Nh \cos \gamma + F_{mp2}h \sin \gamma = 0; \\ \sum M_y = -F_{mp2}h \cos \gamma - Nh \sin \gamma = 0; \\ \sum M_z = -M + F_{mp2}d = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Из полученных уравнений (2) определяются  $N$ ,  $F_{тр1}$ ,  $F_{тр2}$ ,  $\gamma$  как функции распорного усилия  $P$  и момента  $M$ . Условием существования решения системы уравнений (2) является

$$F_{мп1}^2 + F_{мп2}^2 \leq f^2 N^2, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения между втулкой и вертикальной стойкой.

С учетом решения системы уравнений (2) неравенство (3) сводится к неравенству относительно функции заклинивания  $\Phi(M, G)$ :

$$\Phi = (4f^2\beta^2 - 1)P^2 - 2PG(4f^2\alpha\beta - 1) + G^2(4f^2\alpha^2 - 1) - 4\frac{M^2}{d^2}(1 + f^2) \geq 0, \quad (4)$$

которое определяет минимальное допустимое усилие  $P_{кр}$ , обеспечивающее надежное закли-

нивание втулки стрелы движителя.

При  $4f^2\beta^2 - 1 > 0$  и  $4f^2\alpha^2 - 1 > 0$

$$P_{кр} = \frac{G(4f^2\alpha\beta - 1)}{4f^2\beta^2 - 1} + 2\sqrt{\frac{G^2f^2(\alpha - \beta)^2 + (4f^2\beta^2 - 1)\frac{M^2}{d^2}(1 + f^2)}{4f^2\beta^2 - 1}}. \quad (5)$$

На рис. 6, 7 представлены зависимости функции  $\Phi(a, b, h, d, f, M, G)$  и  $P_{кр} = P_{кр}(M, G)$  при различных геометрических параметрах за-

клинивающе-поворотного движителя. Рис. 6 иллюстрирует зависимость (4)  $\Phi(M, G)$ , из которой при  $\Phi=0$  можно определить значение  $P_{кр}$ .

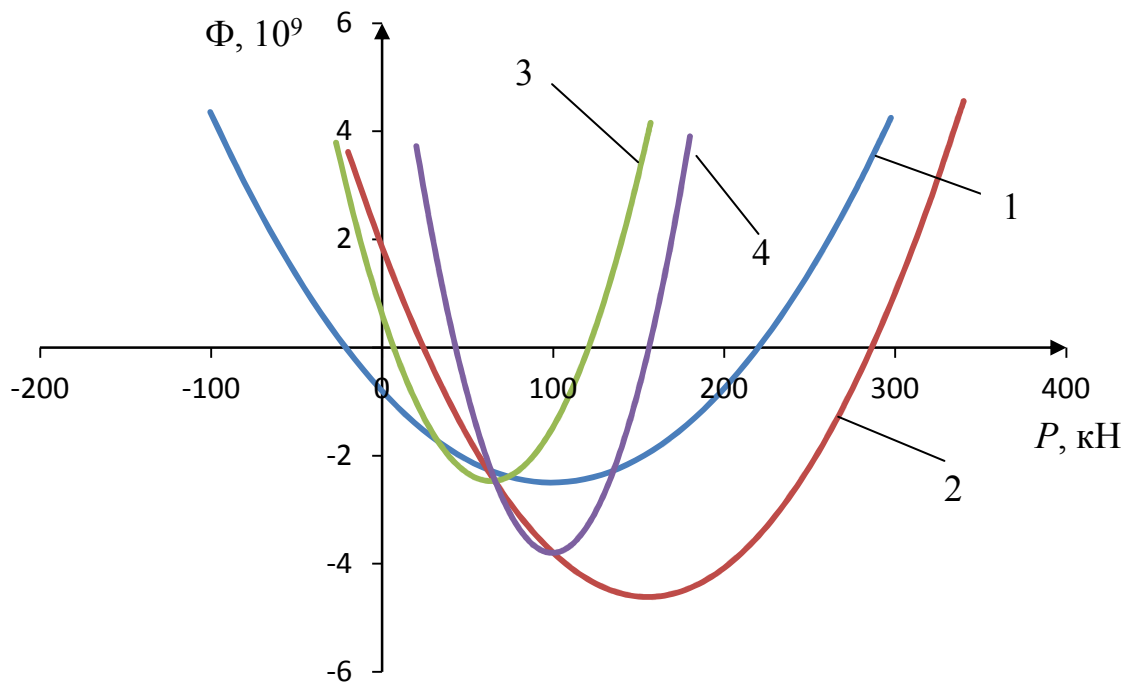


Рис. 6. Зависимость функции заклинивания  $\Phi$  от геометрических параметров:

$a=8\text{м}$ ;  $b=0,6\text{м}$ ;  $h=0,25\text{м}$ ;  $M=20\text{кН}\cdot\text{м}$ ;

1 –  $G=4000\text{Н}$ ,  $d=0,4\text{м}$ ,  $f=0,3$ ;

2 –  $G=6250\text{Н}$ ,  $d=0,5\text{м}$ ,  $f=0,3$ ;

3 –  $G=4000\text{Н}$ ,  $d=0,4\text{м}$ ,  $f=0,5$ ;

4 –  $G=6250\text{Н}$ ,  $d=0,5\text{м}$ ,  $f=0,5$

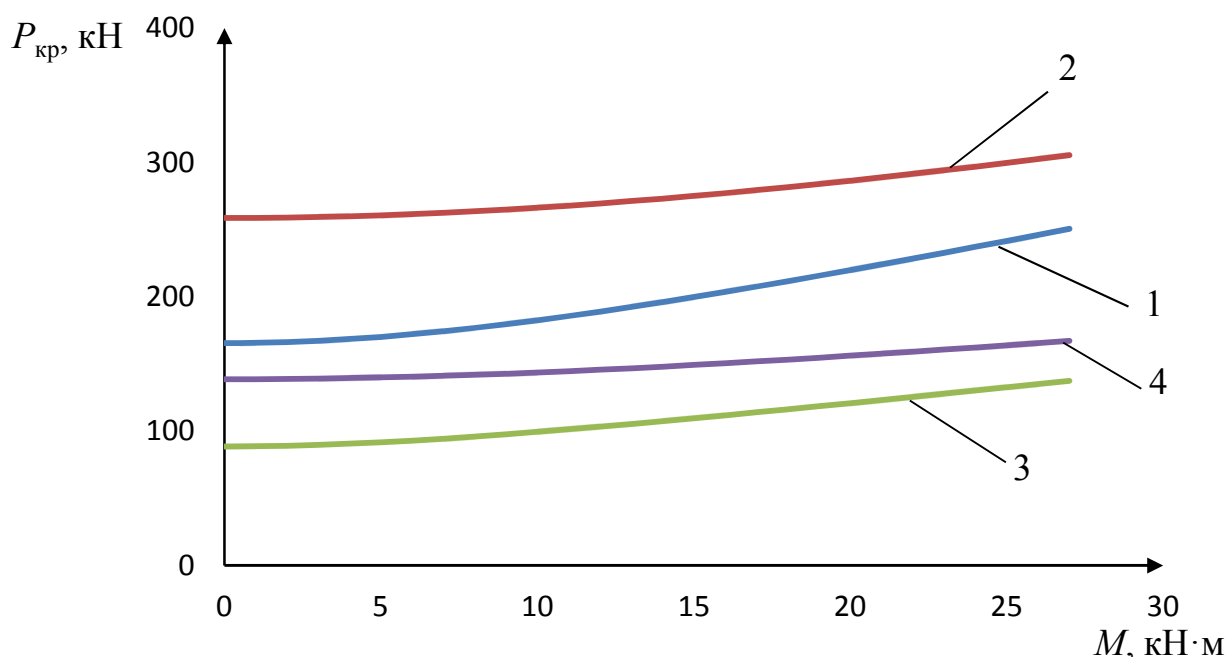


Рис. 7. Зависимость допустимого распорного усилия  $P_{кр}$  от момента  $M$ :

- 1 –  $G=4000\text{Н}$ ,  $d=0,4\text{м}$ ,  $f=0,3$ ;
- 2 –  $G=6250\text{Н}$ ,  $d=0,5\text{м}$ ,  $f=0,3$ ;
- 3 –  $G=4000\text{Н}$ ,  $d=0,4\text{м}$ ,  $f=0,5$ ;
- 4 –  $G=6250\text{Н}$ ,  $d=0,5\text{м}$ ,  $f=0,5$

#### Анализ результатов

Анализ полученных результатов показывает:

- с ростом момента  $M$  приложенного к втулке стрелы движителя минимальное допустимое распорное усилие  $P_{кр}$  возрастает;

- с ростом веса  $G$  определяемого как весом стрелы движителя, так и перемещаемого груза, например поваленного дерева, минимальное допустимое распорное усилие  $P_{кр}$  также возрастает;

- с увеличением диаметра  $d$  опорной стойки, например, опорного дерева минимально допустимое распорное усилие  $P_{кр}$  убывает.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 416 с.
2. Разработки, исследования и проблемы управления движением мобильных роботов с шагающими движителями / Е.С. Брискин, В.В. Жога, В.Е. Павловский, А.К. Платонов, В.А. Шурыгин // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики : сб. тр. / КФУ [и др.]. – Казань, 2015. – С. 582–584.

3. О разработках шагающих машин / В.Е. Павловский // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2013. – № 101. – 32 с.

4. Экспериментальные исследования динамики многоопорной шагающей машины с движителями лямбдаобразного вида / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев // Изв. вузов. Машиностроение. – 1999. – № 4. – С. 32–37.

5. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 3. Алгоритмы управления движением шагающих машин серии «Восьминог» и экспериментальные исследования / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, В.В. Жога, А.В. Малолетов, Н.Г. Шаронов, Н.Е. Фролова // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 7. – С. 13–18.

6. Исследование условий равновесия робота с заклинивающим движителем при движении по стержню / Д.К. Азарян, А.В. Малолетов // Нелинейная динамика машин : сб. тр. / ИМАШ РАН. – М., 2017. – С. 107–112.

7. Лазающий робот с движителем, работающим на эффекте периодического «динамического заклинивания» / В.С. Майстренко, Р.А. Темин, А.В. Малолетов // МИКМУС-2016 : сб. тр. конф. / ИМАШ РАН. – М., 2017. – С. 260–263.

8. Оптимизация структуры, параметров и режимов движения шагающих машин со сдвоенными движителями / А.В. Малолетов, Е.С. Брискин ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 174 с.

УДК 004.5

*А. С. Стешенко, А. С. Горобцов, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова***МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА  
ДЛЯ ПОМОЩИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТА С ЧЕЛОВЕКОМ****Волгоградский государственный технический университет**

vladimir.rozaliev@gmail.com

В работе описывается разработанный метод для построения пространственной модели головы человека с использованием RGB-D камеры Microsoft Kinect, инструмента для реконструкции объемной сцены Kinect Fusion и программы MeshLab для визуализации результатов в формате .ply.

*Ключевые слова:* реконструкция лица, ICP, воксельная модель, человеко-машинное взаимодействие.

*A. S. Steshenko, A. S. Gorobtsov, V. L. Rozaliev, Y. A. Orlova***METHOD OF CONSTRUCTION THE SPATIAL MODEL  
OF HUMAN HEAD FOR MAN-MACHINE INTERACTION****Volgograd State Technical University**

The paper describes the developed method for construction the spatial model of human head with the use of RGB-D camera (Microsoft Kinect), a tool for reconstruction the 3D-scene (Kinect Fusion) and program for visualizing the results in .ply format (MeshLab).

*Keywords:* facial reconstruction, ICP, voxel model, man-machine interaction.

Реконструкция пространственной сцены широко применяется в кинематографе и роботостроении. Реконструироваться в частности могут такие объекты, как голова человека и различные предметы быта (дверная ручка, стакан, нож и другие). Реконструкция предмета может помочь роботу распланировать свои действия и решения. Так при построении маршрута передвижений робота важной информацией для определения двери может быть дверная ручка или замок.

Был разработан метод для построения пространственной модели головы человека с использованием Microsoft Kinect. Одной из сфер его использования может стать помощь при взаимодействии робота с человеком. Метод позволяет строить 3D модель со средним качеством, что дает возможность производить построение в реальном времени. Камера Kinect может быть установлена на роботе, что позволит применить метод для взаимодействия с человеком. Может быть выполнена идентификация человека, определение эмоционального состояния и повышена реалистичность коммуникации.

Kinect должен быть установлен на высоте 1–2 метров над поверхностью, лицо должно быть не дальше 3 метров от сенсора во фронтальном положении относительно него (с отклонением не более 30 градусов).

Математическая последовательность этапов разработанного метода схематически представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема разработанного метода

После получения данных глубины и цвета от Kinect, начинается работа этапа сегментирования, в процессе которого сцена очищается от ненужных объектов, отсеивая все, кроме головы. Фильтрация сегментированных данных сглаживает модель билатеральным фильтром, передавая результат работ в модуль преобразования карты глубины, где на основе карты глу-

бины вычисляются вершины и нормали. Регистрация выравнивает текущий фрейм и предшествующий, используя итерационный алгоритм ICP. На этапе интеграции производится вокселизация модели, после чего она готова к рендерингу при помощи стандартных средств или MeshLab [1], для чего требуется сохранение модели в формате .ply. [2]

Ниже представлено описание метода на основе сквозного примера с использованием модели головы автора.

На этапе сбора данных сенсор собирает данные глубины и цвета. На рис. 2 представлен пример карты глубины, которую получает Kinect и с которой впоследствии работают другие этапы метода. Данные о цвете используются только на этапе сегментации.



Рис. 2. Данные с камеры глубины

Как видно из рис. 2, карта глубины содержит шумы, дыры и некоторые данные об объектах сцены (слева сверху рисунка). Для избавления от зашумленности и разрывов, удаления неиспользуемых в дальнейшем данных применяется сегментация и фильтрация карты глубины. Для детектирования ключевых точек лица (особенностей, или feature points) используется API Kinect Fusion [3]. На рис. 3 показаны ключевые точки, которые определяет инструмент. За всеми точками закрепляются метаданные, сохраняющие номер точки и ее характеристики.

На данный момент карта глубины содержит как данные о лице человека, так и его торс и, если есть, других объектов сцены. Следовательно, следующим этапом производится отделение данных о голове человека от сцены – сегментация.

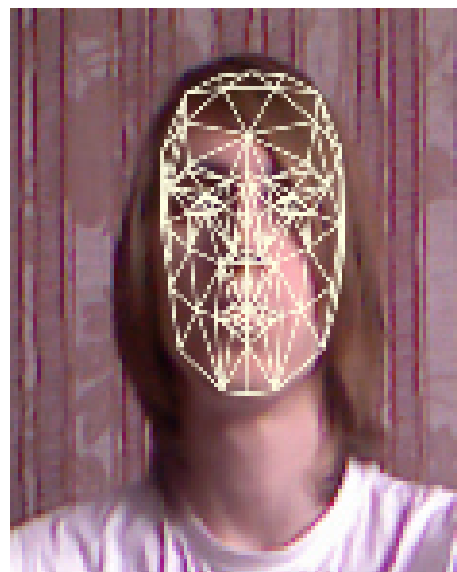


Рис. 3. Детектирование особенных точек на лице при помощи Kinect Fusion

Алгоритм сегментации начинает работу сразу после получения данных. В начале из полученных сырых данных цвета извлекаются четыре ключевые точки – глаза, кончик носа и подбородок [4]. Далее координаты с RGB изображения переносятся на карту глубины, где при помощи алгоритма заливки происходит отделение головы от остальных элементов сцены.

Карту глубины после использования алгоритма сегментации можно увидеть на рис. 4.



Рис. 4. Сегментированные и фильтрованные данные из фрейма

Алгоритмы заливки определяют область, «связанную» с определенным элементом в многомерном массиве (как правило, это двумерный

массив точек растрового изображения). Алгоритм применяется в графических программах, чтобы определить область, которую следует заполнить определенным цветом. В данной работе действует схожий подход: так как разрешения у данных по цвету и глубине разные, происходит масштабирование матрицы цвета (матрица цвета сжимается), карта глубины сопоставляется с цветом, найденные на изображении глаза, нос и подбородок переносятся на карту глубины, затем от каждой точки запускается поиск с заданным порогом.

Масштабирование матрицы цвета проходит с погрешностями, но они не вносят какой либо существенной ошибки в сегментацию. После про-

изводится наложение всех пикселей – в результирующую матрицу заносится только тот пиксель, который присутствует во всех четырех запусках. Поиск запускается рекурсивно из каждой точки (глаз, носа и подбородка), от левого верхнего пикселя к правому нижнему (по часовой стрелке).

Так как кроме лица в поле видимости могут находиться и другие объекты сцены, предполагается, что сегмент с головой самый большой по площади. В результате, из всех найденных сегментов выбирается тот, в котором находится наибольшее количество пикселей глубины.

В качестве метода фильтрации применяется билатеральный фильтр. Фильтр рассчитывается по формуле (1).

$$D(u) = \frac{1}{W_p} \sum (G_\delta)_N (\|p - q\|) G_{\delta_r} (\|Rk(p) - Rk(q)\|) Rk(q), \quad (1)$$

где  $W_p$  – нормализованная константа;  $G_\delta(t) = e^{(-t^2/\delta^2)}$ ;  $p$  – пиксель;  $q = \pi x$ .

На стадии преобразования карты глубины создается карта 3D вершин и производится вычисление нормалей по карте глубины. Для каждого фрейма генерируется карта вершин по формуле (2):

$$V(u) = D(u)K^{-1}[uv1], \quad (2)$$

где  $K$  – калибровочная матрица камеры Kinect;  $D$  – матрица глубины (после сегментации и фильтрации).

Калибровочная матрица камеры состоит из фокальных длин  $f_0$  и  $f_1$  и принципиальных точек  $p_0$  и  $p_1$ . Представить калибровочную матрицу можно формулой (3):

$$K = \begin{pmatrix} f_0 & 0 & p_0 & 0 & f_1 & p_1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

На этом же этапе вычисляются нормали [5] по формуле (4). Вычисление нормалей производится при помощи оценки соседних пар 3D точек и показано на рис. 5.

$$N_\tau(u, v) = (V_\tau(u+1, v) - V_\tau(u, v)) \times (V_\tau(u, v+1) - V_\tau(u, v)) \quad (4)$$

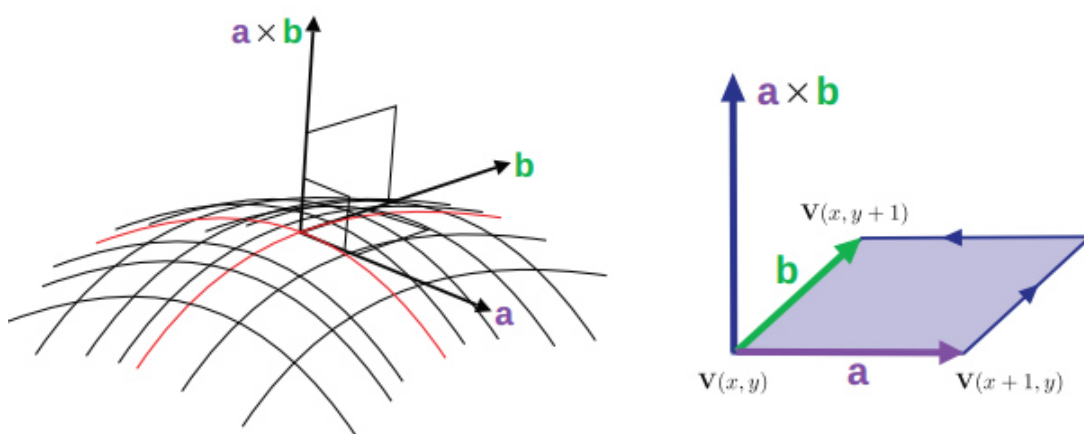


Рис. 5. Графическое представление вычисления нормалей [6]

Для выравнивания и регистрации поверхностей модели используется алгоритм ICP. На каждой итерации алгоритма производится поиск таких матриц поворота  $R$  и перемеще-

ния  $t$ , при которых расстояние между точками принимает наименьшее значение. Краткая схема работы алгоритма ICP представлена на рис. 6.

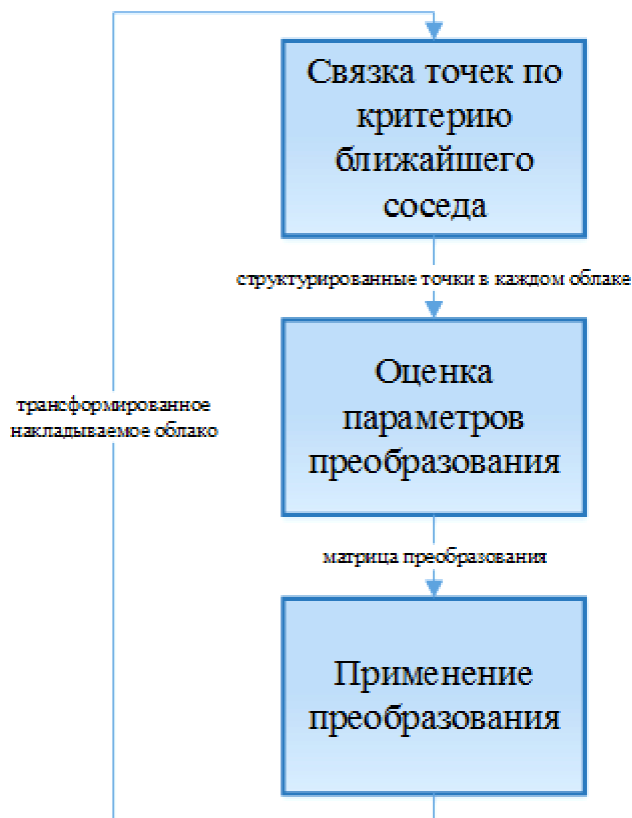


Рис. 6. Краткая схема работы алгоритма ICP

Кратко итеративный алгоритм ICP описывается тремя этапами:

1) связывание точек из двух моделей путем броска луча от камеры до вершины первичной модели. Луч проходит через две модели, связывая таким образом точки, в которые он попадает;

2) оценка параметров преобразования с помощью функции среднеквадратичной стоимости (вычисление преобразования (смещение + поворот), минимизирующего среднеквадратичное расстояние (MSE) между связанными точками);

3) применение рассчитанного преобразования к первичному множеству и обновление среднеквадратичной ошибки. Если среднеквадратичная ошибка мала, закончить исполнение алгоритма.

Эти три шага повторяются. В [7] доказано, что они обеспечивают равномерную сходимость MSE (mean squared error, приведена в формуле (5)).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2, \quad (5)$$

где  $n$  – размер набора;  $\hat{Y}$  – вектор теоретических значений;  $Y$  – вектор наблюдаемых (опытных) значений.

Функция минимизация, применяемая в данной работе, рассчитывается по формуле (6):

$$E = \sum_{i=1}^N \left[ \left( R p_i + T - q_i \right)^T n_i \right]^2, \quad (6)$$

где  $R$  и  $T$  – матрица поворота и переноса;  $n$  – вектор нормалей.

Для вычисления применяется матричная формула (7), использование которой описано в [8]:

$$E = - \sum_{i=1}^N \left[ c_{i,x}(p_i - q_i) \cdot \bar{n}_i \cdot c_{i,y}(p_i - q_i) \cdot \bar{n}_i \cdot c_{i,z}(p_i - q_i) \cdot \bar{n}_i \right]^2. \quad (7)$$

На рис. 7 приведен пример работы алгоритма ICP на несглаженных и нефiltroванных поверхностях, визуализированный при помощи программы MeshLab. На рисунке видна после-

довательность итераций выравнивания (регистрации) модели головы при помощи добавления недостающих частей из одной поверхности к другой.

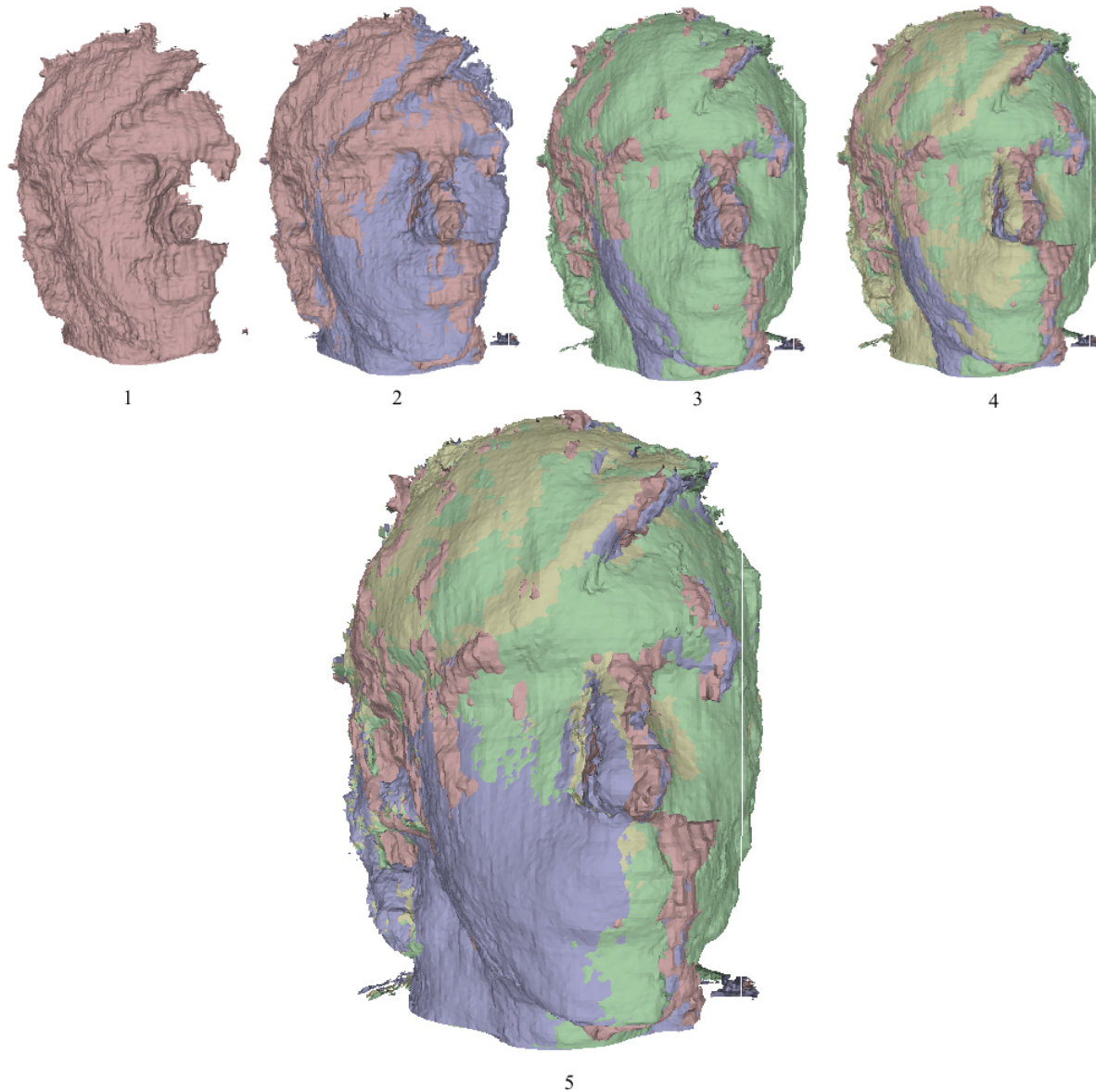


Рис. 7. Работа алгоритма ICP с пятью поверхностями. Первый этап – первичная поверхность (коричневый цвет); на втором этапе первичная поверхность выравнивается поверхностью с синим цветом. На пятом этапе выполнение алгоритма заканчивается

Матрица преобразования изменяется на каждой итерации по формуле (8):

$$Tinc = \begin{bmatrix} -1 & \alpha & \gamma & \alpha & 1 - \beta - \gamma & \beta & 1 & tx & ty & tz \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – углы поворота вокруг осей  $x, y, z$  соответственно;  $tx, ty, tz$  – перемещение относительно системы отсчета по осям  $x, y, z$ .

На этапе интеграции каждый сегмент занимает свой воксель. Интеграция вычисляется при помощи алгоритма TSDF. Расчет функции TSDF представлен формулами (9), (10):

$$S_{k+1}(x) = \frac{W_k(x)S_k(x) + w_{k+1}(x)s_{k+1}(x)}{W_k(x) + w_{k+1}(x)}; \quad (9)$$

$$W_{k+1}(x) = W_k(x) + w_{k+1}(x), \quad (10)$$

где  $W$  – весовая функция.

После этапа интеграции имеется модель, представленная в воксельном виде. Для того чтобы векторизовать воксельную модель, применяется алгоритм marching cubes (шагающие кубики) – алгоритм в компьютерной графике для обработки полигональной сетки изоповерхности трехмерного скалярного поля (сетки вокселей).

В результате работы метода получается следующая пространственная модель головы (рис. 8):



Рис. 8. Реконструированная модель головы

Можно выделить следующие критерии эффективности программы:

- время работы программы, требуемое для реконструкции модели головы  $t_m$ ;
- время, затрачиваемое на сохранение результирующей модели  $t_s$ ;
- количество извлекаемых ключевых точек лица для реконструкции.

Значения критериев, взятых с аналогов программы, приведены в таблице.

**Значения критериев разработанной программы и аналогов**

| Система/<br>Критерии | Autodesk 123D<br>Catch | VOCORD<br>FaceControl 3D | Собственная<br>разработка |
|----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| $t_m$ , с            | 30–50                  | 0,5–0,7                  | от 7 до 11                |
| $t_s$ , с            | около 1                | около 1                  | около 1                   |
| $tn_{feature}$       | 20 и более             | 30 и более               | 4 точки                   |

Время работы Autodesk 123D Catch вполне приемлемо для программы, реконструирующей модель по набору фотографий без использова-

ния карты глубины, как в предложенном методе. Время сохранения модели может быть связано с временем работы метода, так как на это влияет используемая структура данных для хранения модели, время работы с данной структурой данных.

Стоит отметить, что собственная разработка требует всего четыре точки для реконструкции, так как для реконструкции используются данные глубины, и ключевые точки лица требуются лишь для сегментации лица [9]. Предложенный метод может применяться для динамического построения головы (в том числе для анимации); при статическом построении он проигрывает сравниваемым программам, которые строят модель головы более качественно и текстурированно.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. MeshLab [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://meshlab.sourceforge.net/> (дата обращения: 02.05.2016)
2. PLY – Polygon File Format [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://paulbourke.net/dataformats/ply/> (дата обращения: 02.05.2016)
3. KinectFusion – построение 3D-сцены в реальном времени [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://geektimes.ru/post/126379/> (дата обращения: 12.03.2016)
4. Стещенко, А.С. Автоматизация построения 3D-модели головы человека при помощи Microsoft Kinect / А.С. Стещенко, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2016. – № 3 (182). – С. 83–86.
5. Федюков, М. А. Алгоритмы построения модели головы человека по изображениям для систем виртуальной реальности / М. А. Федюков ; МГУ. – М., 2015.
6. Richard A. Newcombe, Shahram Izadi, KinectFusion: Real-time dense surface mapping and tracking. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, p. 127–136, 2011.
7. Shu Zhang, Hui Yu, Junyu Dong. «Automatic Reconstruction of Dense 3D Face Point Cloud with a Single Depth Image». Systems, Man, and Cybernetics (SMC), p. 1439–1444, Oct. 2015.
8. S. Rusinkiewicz and M. Levoy. Efficient variants of the icp algorithm. Proceedings Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, p.145–152, 2001.
9. Климов, А.С. Автоматизация построения объемной модели головы человека / А.С. Климов, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2014. – Т. 22. – № 25(152). – С. 67–71.

Редактор  
**Л. Н. Рыжих**

Компьютерная верстка:  
**Е. В. Макарова**

---

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.  
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

---

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28.  
Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)  
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00  
**E-mail:** [president@vstu.ru](mailto:president@vstu.ru)

---

Темплан 2017 г. Поз. № 7ж. Подписано в печать 07.09.2017 г. Формат 60 x 84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 14,45.  
Тираж 80 экз. Свободная цена. Заказ №  
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолГТУ  
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.  
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолГТУ  
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

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 полутонный.

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.