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

Редакционная коллегия:

Анциферов В. Н., академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Научный центр порошкового материаловедения (г. Пермь, Россия)
Байбурин В. Б., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАЕН, засл. деятель науки РФ,
Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Безъязычный В. Ф., д-р техн. наук, проф.,
Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева (г. Рыбинск, Россия)
Бодров В. Н., д-р, проф., Университет прикладных наук (г. Берлин, Германия)
Бребельс А., PhD, доцент факультета инженерных наук университета г. Левена (г. Левен, Бельгия)
Буренин А. А., чл.-корр. РАН, Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН
(г. Комсомольск-на-Амуре, Россия)
Головančиков А. Б., д-р. техн. наук, проф. ВолгГТУ
Гринберг Б. А., д-р физ.-мат. наук, Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)
Гуревич Л. М., д-р техн. наук, доц. ВолгГТУ
Добрушин Л. Д., д-р техн. наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев, Украина)
Злотин С. Г., д-р хим. наук, проф., Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН (г. Москва, Россия)
Иванов А. М., д-р техн. наук, проф.,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ, г. Москва, Россия)
Иващенко Н. А., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Камаев В. А., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, ВолгГТУ
Королев А. В., д-р техн. наук, проф., Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Кузьмин С. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Кураев А. А., д-р физ.-мат. наук, проф., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь)
Лысак В. И., чл.-корр. РАН, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Марков В. А., д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет
(МГТУ) им. Н. Э. 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
Яковлев И. В., д-р техн. наук,
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)

Серия

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

ИЗВЕСТИЯ

ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель
Камаев В. А., д.т.н., проф.

Аверченков В. И., д.т.н., проф. (БрГТУ, г. Брянск, Россия)
Бершадский А. М., д.т.н., проф. (ПензГУ, г. Пенза, Россия)
Брискин Е. С., д.ф.-м.н., проф.
Горобцов А. С., д.т.н., проф.
Дворянкин А. М., д.т.н., проф.
Заболеева-Зотова А. В., д.т.н., проф.
Кандырин Ю. В., к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)
Кравец А. Г., д.т.н., проф.
Курейчик В. М., д.т.н., проф. (ТагГРТУ, г. Таганрог, Россия)
Петрова И. Ю., д.т.н., проф. (АИСИ, г. Астрахань, Россия)
Проталинский О. М., д.т.н., проф. (АстрГТУ, г. Астрахань, Россия)
Тхай Куанг Винь, д-р философии (Институт информационных технологий, г. Ханой, Вьетнам)
Фоменков С. А., д.т.н., проф.
Шилин А. Н., д.т.н., проф.
Юрген Баст, д.т.н., проф. (Технический университет Горной Академии, г. Фрайберг, Германия)

Международный индекс журнала
ISSN 1990-5297

Журнал распространяется по подписке.
Индекс журнала по каталогу Агентства «Роспечать» для Российской Федерации – 80811(ОК+ЭК). По вопросам подписки обращаться в издательство.
Тел. издательства ВолгГТУ:
(8442) 24-84-06
Факс (8442) 24-84-06
otr@vstu.ru

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

№ 6 (185) Июнь 2016

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», 2016

Head Editor of the scientific journal “Izvestiya VSTU”:
Novakov I. A. – Academician of RAS, Prof., Doctor of Chemistry, President of VSTU

Editorial board:

Anziferov V. N., Academician of RAS, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., The Department for Powder Material Science (Perm, Russia)
Baiburin V. B., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Academician of RANS, Honored Scientist of the Russian Federation, State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)
Bezyazychny V. F., D. Sc. (Engineering), Prof., Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov (Rybinsk, Russia)
Bodrov V. N., D. Sc., Prof., University of Applied Sciences (Berlin, Germany)
Brebels A., PhD, Associate Prof., Faculty of Engineering Science of University of Leuven (Leuven, Belgium)
Burenin A. A., Corresponding Member of RAS, Institute of Machinery and Metallurgy of the FEB RAS (Komsomolsk-on-Amur, Russia)
Golovanchikov A. B., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU
Grinberg B. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Institute of Metal Physics, Ural Division of RAS (Ekaterinburg, Russia)
Gurevich L. M., D. Sc. (Engineering), Associate Prof. of VSTU
Dobrushin L. D., D. Sc. (Engineering), E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev, Ukraine)
Zlotin S. G., D. Sc. (Chemistry), Prof., N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Ivanov A. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow Automobile and Road Construction University (MADI) (Moscow, Russia)
Ivashchenko N. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
Kamaev V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, VSTU
Korolev A. V., D. Sc., Prof., State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)
Kuzmin S.V., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU
Kurayev A. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR) (Minsk, Republic of Belarus)
Lysak V. I., Corresponding Member of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU
Markov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
Merten K., D. Sc. (Engineering), Prof., Institute of Chemical Process Engineering (Stuttgart, Germany)
Navrotskiy A. V., D. Sc. (Chemistry), Prof. of VSTU
Nizhegorodtsev R. M., D. Sc. (Economy), Chief research worker, Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Pai V. V., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS (Novosibirsk, Russia)
Polyanchikov Y. N., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU
Pustovoit V. N., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)
Revin A. A., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU
Rusinov V. L., Corresponding Member of RAS, Institute of Chemical Technology of Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)
Rybin V. V., Corresponding Member of RAS, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., St. Petersburg Polytechnic University (St.Petersburg, Russia)
Thai Quang Vinh, D. Sc. (Philosophy), Institute of Information Technology (Hanoi, Vietnam)
Truel J.-L., D. Sc. (Economy), Prof., University Paris Est Créteil, Sorbonne, France, Vice-president of International economists club “Kondratiev Circle”
Fedyanov E. A., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU
Frolov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., “MATI Russian State Technological University named after K.E. Tsiolkovsky” (Moscow, Russia)
Sharipov V. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow State Technical University “ MAMI” (Moscow, Russia)
Shakhovskaya L. S., D. Sc. (Economy), Prof. of VSTU
Sheyin A. G., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof. of VSTU
Yakovlev I. V., D. Sc. (Economy), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS (Novosibirsk, Russia)

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

IZVESTIA

VOLGOGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY

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

Editorial board:

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

Averchenkov V. I., D. Sc. (Engineering), Prof. (BSTU, Bryansk, Russia)
Berdshadskiy A. M., D. Sc. (Engineering), Prof. (PSU, Penza, Russia)
Briskin E. S., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof.
Gorobtsov A. S., D. Sc. (Engineering), Prof.
Dvoryankin A. M., D. Sc. (Engineering), Prof.
Zaboleeva-Zotova A. V., D. Sc. (Engineering), Prof.
Kandyrin Y. V., Cand. Sc., Prof. (NRU "MPEI", Moscow, Russia)
Kravets A. G., D. Sc. (Engineering)
Kureytchik V. M., D. Sc. (Engineering), Prof. (TRTU, Taganrog, Russia)
Petrova I. Y., D. Sc. (Engineering), Prof. (AICE, Astrakhan, Russia)
Protalinskiy O. M., D. Sc. (Engineering), Prof. (ASTU, Astrakhan, Russia)
Thai Quang Vinh, D. Sc. (Philosophy), Institute of Information Technology (Hanoi, Vietnam)
Fomenkov S. A., D. Sc. (Engineering), Prof.
Shilin A. N., D. Sc. (Engineering), Prof.
Jurgen Bast D. Sc. (Engineering), Prof. (TU Bergakademie Freiberg, The University of Resources, Freiberg, Germany)

International index of the journal ISSN 1990-5297

The journal is distributed by subscription.
Index of the journal in the catalogue of the Agency "Rospechat" for the Russian Federation – 80811(ОК+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

© Volgograd State Technical University, "Izvestia VSTU", 2016

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

№ 6 (185) June 2016

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

Агафонов В. Ю. *20*

Александрович В. П. *7*

Андреев А. Е. *75*

Ахмедова Р. Р. *7*

Брискин Е. С. *77*

Брумштейн Ю. М. *7*

Гаврилов А. Е. *71*

Горбушин И. В. *20*

Горобцов А. С. *75*

Гурская Т. Г. *7*

Дерюгин М. С. *17*

Донченко Д. С. *30*

Дятлов М. Н. *33*

Завьялов Д. В. *30*

Калинин Я. В. *77*

Кандырин Ю. В. *45, 51, 63*

Карачаров С. И. *51*

Карцов С. К. *75*

Катаев А. В. *20*

Комаров Ю. Я. *33*

Кудрин Р. А. *38*

Мишустина С. Н. *58*

Ноздренков С. В. *20*

Рашевский Н. М. *40*

Сазонова Л. Т. *45*

Санжапов Б. Х. *40*

Санжапов Р. Б. *25*

Синицын А. А. *40*

Скориков А. В. *75*

Сорокин В. С. *58*

Тарасов П. С. *75*

Хла М. Х. *45, 63*

Шабалина О. А. *33*

Шкурина Г. Л. *45*

Яковлев А. А. *58*

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Брумштейн 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..... 7

Дерюгин М. С.
Особенности нового метода печати: вычислительная гидрографическая печать..... 17

Ноздренков С. В., Горбушин И. В., Агафонов В. Ю., Катаев А. В.
3D-реконструкция модели тела человека для безмаркерного захвата движений..... 20

Санжапов Р. Б.
Квантификация объектов на основе интервального отношения..... 25

Часть II. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Донченко Д. С., Завьялов Д. В.
Подходы к математической оценке влияния субъектов социального графа на примере социальной сети Twitter..... 30

Дятлов М. Н., Шабалина О. А., Комаров Ю. Я., Кудрин Р. А.
Разработка тестовых заданий для компьютерной диагностики степени развития сенсомоторных реакций с учетом особенностей профессиональной деятельности водителей..... 33

Санжапов Б. Х., Синицын А. А., Рашевский Н. М.
Представление результатов мониторинга атмосферного воздуха в системе поддержки принятия решений при обеспечении экологической безопасности города..... 40

Часть III. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Кандырин Ю. В., Хла М. Х., Сазонова Л. Т., Шкурина Г. Л.
Исследование неметрических постановок решения задач выбора в САПР.... 45

Кандырин Ю. В., Карачаров С. И.
Многовариантное проектирование радиаторов для микропроцессоров..... 51

Сорокин В. С., Яковлев А. А., Мишустина С. Н.
Методика синтеза моделей физического принципа действия систем охлаждения с жидким и газообразным рабочим телом..... 58

Хла М., Кандырин Ю. В.
САПР резистивных микросборок..... 63

Часть IV. РОБОТОТЕХНИКА

Гаврилов А. Е.
Построение программных движений роботизированной платформы с инсектоморфным движителем экспериментальным путем..... 71

Горобцов А. С., Андреев А. Е., Тарасов П. С., Скориков А. В., Карцов С. К.
Синтез устойчивых квазистатических режимов шагания антропоморфного робота..... 75

Калинин Я. В., Брискин Е. С.
Энергетическая эффективность походок мобильного шагающего робота..... 77

К сведению авторов..... 83

CONTENTS

Part I. THEORY OF SYSTEMS AND DATA PROCESSING

Brumsteyn Yu. M., Gurskaya T. G., Akhmedova R. R., Aleksandrovich V. P.
TRAINING OF SPECIALISTS BY INFORMATION SECURITY IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA: THE ANALYSIS OF INFORMATION AVAILABILITY AND COMPLETENESS FROM POSITIONS OF ENTRANTS, UNIVERSITIES, REGIONS..... 7

Deryugin M. S.
FEATURES OF THE NEW PRINTING METHODS: COMPUTER HYDROGRAPHIC PRINT..... 17

Nozdrenkov S. V., Gorbushin I. V., Agafonov V. U., Kataev A. V.
3D HUMAN BODY RECONSTRUCTION FOR MARKERLESS MOTION CAPTURE..... 20

Sanzhapov R. B.
QUANTIFICATION OF OBJECTS ON THE BASIS OF THE INTERVAL RELATION..... 25

Part II. SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS MANAGEMENT

Donchenko D. S., Zavyalov D. V.
APPROACHES TO THE MATHEMATICAL ASSESSMENT OF SUBJECTS IN SOCIAL GRAPH ON EXAMPLE OF TWITTER SOCIAL NETWORK..... 30

Dyatlov M. N., Shabalina O. A., Komarov Yu. Ya., Kudrin R. A.
DEVELOPMENT OF TEST TASKS FOR COMPUTER DIAGNOSTICS DEGREE OF DEVELOPMENT OF THE SENSOMOTOR REACTIONS TAKING INTO ACCOUNT FEATURES OF DRIVERS PROFESSIONAL PERFORMANCE..... 33

Sanzhapov B. Kh., Sinitsyn A. A., Rashevskiy N. M.
REPRESENTATION OF RESULTS OF ATMOSPHERIC AIR MONITORING IN DECISION SUPPORT SYSTEM WHILE ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE CITY..... 40

Part III. COMPUTER AIDED DESIGN SYSTEM

Kandyrin Yu. V., Hla M. T., Sasonova L. T., Sckurina G. L.
STUDY NONMETRIC PRODUCTIONS SOLUTIONS FOR CHOICE IN CAD.... 45

Kandyrin Yu. V., Karacharov S. I.
RADIATORS FOR MULTIPLE DESIGNING THE MICROPROCESSOR..... 51

Sorokin V. S., Yakovlev A. A., Mishustina S. N.
THE SYNTHESIS FOR PHYSICAL WORKING PRINCIPLE GRAPH MODEL OF COOLING SYSTEMS WITH LIQUID AND GASEOUS WORKING BODY TECHNIQUE..... 58

Hla M., Kandyrin Yu. V.
CAD RESISTIVE MICROASSEMBLIES..... 63

Part IV. ROBOTICS

Gavrilov A. E.
EXPERIMENTALLY OBTAINING LAWS OF MOTION ROBOTIC PLATFORM WITH EITHLEGGED MOVER..... 71

Gorobtsov A. S., Andreev A. E., Tarasov P. S., Skorikov A. V., Kartsov S. K.
SYNTHESIS OF STABLE QUASISTATIC STEPPING MODES OF ANTHROPOMORPHIC ROBOT..... 75

Kalinin Ya. V., Briskin E. S.
ABOUT THE HEAT LOSS IN THE DRIVE MOTORS OF WALKING ROBOT, PERFORMS TRANSKATIONAL MOTION..... 77

Information for authors..... 83

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК [004.9+378.1]:002.56(075.032)

Ю. М. Брумштейн, Т. Г. Гурская, Р. Р. Ахмедова, В. П. Александрович

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: АНАЛИЗ ДОСТУПНОСТИ И ПОЛНОТЫ ИНФОРМАЦИИ С ПОЗИЦИЙ АБИТУРИЕНТОВ, ВУЗОВ, РЕГИОНОВ

Астраханский государственный университет

brum2003@mail.ru, gursk@asu.edu.ru, gizuuus2@bk.ru, linys.2012@mail.ru

Показана роль подготовки специалистов по информационной безопасности (ИБ) в поддержке ИБ регионов, обеспечении процессов их социально-экономического развития. Проанализированы различные возможности доведения вузами информации об условиях приема до абитуриентов. Указаны существующие направления обучения специалистов по ИБ. Представлена информация о вузах юга Европейской части России, осуществляющих подготовку ИБ-специалистов по различным ступеням (уровням) обучения: бакалавриат, магистратура, специалитет. Приведены сведения о предполагаемых объемах приема на бюджетные и коммерческие места по ИБ-специальностям в 2016 году, по некоторым вузам – на бюджетные места в 2015 году. Сравнены имеющиеся на интернет-сайтах данные о профилирующих кафедрах ИБ-направлений в вузах, о заведующих этими кафедрами. Отражена информация о профильных соревнованиях и конкурсах, в которых студенты ИБ-специальностей могут принимать участие. Указаны виды информации, важные для абитуриентов, которые на сайтах вузов отсутствуют или труднодоступны.

Ключевые слова: информационная безопасность, подготовка специалистов, бакалавриат, магистратура, олимпиады, кафедры, материальная база обучения, заведующие кафедрами.

Yu. M. Brumsteyn, T. G. Gurskaya, R. R. Akhmedova, V. V. Aleksandrovich

TRAINING OF SPECIALISTS BY INFORMATION SECURITY IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA: THE ANALYSIS OF INFORMATION AVAILABILITY AND COMPLETENESS FROM POSITIONS OF ENTRANTS, UNIVERSITIES, REGIONS

Astrakhan State University

In article is shown the role of information security (IS) specialists training in supporting of regions IS, providing their social and economic development. Various opportunities for universities to bringing information about reception conditions to entrants are analyzed. Authors are considered the existing directions of IS-specialists training. In article is provided information about the universities, situated in the South of Russian European part, which are carrying out training of IS-specialists for all steps (levels) of education: bachelor degree, magistracy, specialist programme. Authors are specified information about alleged reception at the budgetary and commercial places for IS-specialties in 2016, fore some universities – at the budgetary places in 2015. In article are compared the data for universities profiled chairs by IS-directions, which are available on the Websites; about heads of these chairs. Also is reflected information about profile competitions in which students of IS-specialties can participate. Authors are specified the types of information, important for entrants, which on the websites of universities are absent or are hardly acessible.

Keywords: information security, specialists training, bachelor degree, magistracy, competions, chair heads.

Введение

Информационные технологии (ИТ) играют все бóльшую роль в работе образовательных учреждений (ОУ) – в том числе при управлении учебным процессом, научной деятельностью, наукометрическими показателями вузовских журналов [4]; в производственной деятельности организаций (включая эксплуатацию информационных систем, систем автоматизированного проектирования и пр.); при формировании интеллектуальных ресурсов страны, регионов [5], организаций; при защите информационных ресурсов в процессе их использования [5,6,17]; в культурном развитии населения. Однако рас-

© Брумштейн Ю. М., Гурская Т. Г., Ахмедова Р. Р., Александрович В. П., 2016

ширение использования ИТ увеличивает риски информационной безопасности (ИБ) для физических лиц, организаций, групп организаций; для органов управления страной, ведомствами, регионами; для регионов. Такие риски связаны с распространением недостоверной информации [5] – в т. ч. через Интернет и в «устной форме»; распространением вредоносных программ и др. Риски ИБ возрастают при невысокой информационно-телекоммуникационной компетентности населения регионов [6,13], недостаточных объемах и качестве обучения в вузах ИТ-специалистов и, особенно, СпИБ [3,8,12]. Вопросам подготовки СпИБ в литературе уделяется серьезное внимание [1,15], в т. ч. и в регионах юга России [7,14]. При этом рассматриваются следующие вопросы: создание и использование лабораторной базы при обучении [2]; обеспечение логических взаимосвязей дисциплин [16]; применение инновационных подходов к обучению [11] и пр. Проводятся и специальные совещания по подготовке СпИБ [10]. Однако в литературе практически отсутствуют сравнения различных вузов и регионов в отношении количества и качества подготовки СпИБ. Поэтому целью настоящей статьи является комплексный анализ вопросов подготовки СпИБ (на примере вузов и регионов юга Европейской части России) с позиций абитуриентов, отдельных вузов, интересов регионов, федеральных округов (ФО). Подготовка кадров высшей квалификации по ИБ-направлениям будет проанализирована в отдельной работе.

Направления и особенности подготовки специалистов по ИБ в России

В табл. 1 приведены названия направлений подготовки по ИБ-специальностям и их шифры по ФГОС-2013. Отметим следующее: 1) подготовка СпИБ осуществляется, в основном, с высшим образованием; реже – со средним специальным образованием (ССО). В ряде вузов действуют курсы по повышению квалификации в отношении ИБ, однако в Интернете малодоступны сведения о количестве обучающихся на них курсантов, содержании и фактических объемах обучения; 2) должности, связанные с обеспечением ИБ организаций, нередко замещают различные ИТ-специалисты – это снижает востребованность СпИБ; 3) вузы могут осуществлять «адаптацию» обучения к требованиям рынка труда в отношении СпИБ за счет увеличения количества ИБ-специальностей, диверсификации сроков обучения. Однако переход к малокомплектным группам вузам обычно не выгоден – из-за увеличения загрузки аудиторий, нагрузки на преподавателей, роста номенклатуры дисциплин и пр.; 4) в крупных регионах подготовку СпИБ осуществляют несколько вузов, конкурирующих друг с другом за абитуриентов и (в значительно меньшей степени) за преподавателей; 5) по некоторым направлениям набора ИТ-специалистов ведущие вузы Москвы и Санкт-Петербурга устраивают дистанционные и «очные» олимпиады» в регионах – с целью привлечения на обучение лучших выпускников школ. Однако для СпИБ это не очень характерно.

Таблица 1

Направления подготовки СпИБ в России (по ФГОС-2013)

Направление подготовки	Всего вузов по России*	Бакалавриат	Специалитет	Магистратура
Информационная безопасность	116	10.03.01		
Компьютерная безопасность	32		10.05.01	
Информационная безопасность телекоммуникационных систем	25		10.05.02	
Информационная безопасность автоматизированных систем	49		10.05.03	
Информационно-аналитические системы безопасности	12		10.05.04	
Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере	12		10.05.05	
Информационная безопасность	17**			10.04.01
Информационная безопасность автоматизированных систем	8 (ССУЗы)			

Примечания: * – по данным на www.moeobrazovanie.ru; ** – по данным на http://magistratura.su/ (это явно неполный список).

Методы информирования абитуриентов о подготовке СпИБ в вузах

В большинстве регионов существует значительная межвузовская конкуренция за абитуриентов – как в сегменте «бюджетного» обучения, так и «платного». При этом прием осуществляют не только государственные вузы, но и коммерческие, а также многочисленные филиалы иногородних вузов. Обычно есть и внутривузовская конкуренция за абитуриентов с высокими баллами по ЕГЭ – между деканатами и профилирующими кафедрами. Со стороны вузов влияние на выбор абитуриентами ОУ и специальности может оказываться пассивное (путем размещения информации в открытом доступе) и/или активное – за счет проведения групповых и/или индивидуальных бесед с абитуриентами и их родителями. Межрегиональная конкуренция вузов за абитуриентов есть в основном лишь по наиболее «перспективным» направления обучения, в том числе и по подготовке СпИБ.

Важнейшим каналом обеспечения доступа к информации об условиях поступления и обучения в вузах (особенно иногородних!) для абитуриентов и их родителей сейчас являются интернет-сайты вузов. Объемы обязательно «раскрываемой» на них информации регламентируются специальным приказом МинОбрНауки России. Неполнота, недостоверность или неактуальность размещенной на сайтах информации нарушает ИБ вузов.

Достаточно результативно также размещение наружной рекламы в отношении поступления в вузы (но не на конкретные специальности), а также рекламы на средствах транспорта. Реклама в печатных СМИ становится все менее эффективной. Использование рекламных баннеров на «федеральных» интернет-сайтах массового посещения оказывается экономически эффективной лишь для некоторых московских вузов.

Абитуриенты из города, в котором расположен вуз, широко пользуются «днями открытых дверей» (ДОД), проводимыми в «очной форме» – для знакомства с деканами, заведующими кафедрами, ведущими преподавателями, учебными лабораториями. Проведение ДОД в дистанционной форме (в т.ч. в виде вебинаров) могло бы быть полезным для абитуриентов из других регионов и отдаленных районов «своих» регионов. На сайтах некоторых вузов есть средства «виртуальных экскурсий» – но только по вузам в целом, а не по отдельным факультетам или кафедрам.

Во всех вузах действуют телефоны «горячей линии» приемных комиссий. Ответы на вопросы о приеме по «электронной почте» приемными комиссиями и профилирующими кафедрами почти не практикуются.

Многие вузы для привлечения абитуриентов проводят региональные конкурсные мероприятия. Применяются и «выездные бригады» для осуществления агитации среди школьников в отношении поступления в вузы.

При выборе решений абитуриенты учитывают мнения о вузах и специальностях своих друзей и знакомых (особенно окончивших те же вузы); отзывы в Интернете – последние, впрочем, не всегда объективны.

Таким образом, выбор абитуриентами вуза и специальности осуществляется в условиях значительной «информационной конкуренции», причем сайты вузов имеют важнейшую роль в информационной поддержке приема. На всех вузовских сайтах есть разделы типа «абитуриенту» или «поступающему», которые сдержат как официальные сведения, так и рекламно-информационные материалы – включая фотографии. К сожалению, в Интернете мало «сайтов-агрегаторов», предоставляющих информацию для сопоставления различных вузов в объективной и удобной форме.

Материал и методика проведения исследований

В данной статье для детального анализа была использована общедоступная информация по вузам европейской части юга России, осуществляющим подготовку СпИБ и расположенным вблизи Астраханской области (табл. 2). Источниками информации были, в основном, сайты в Интернете: отдельных вузов; сайты-агрегаторы сведений о вузах; www.elibrary.ru и пр. Данные соответствуют 01.04.2016 г.

На основе информации в Интернете оценить фактические количества студентов ИБ-специальностей, обучающихся в вузах, можно лишь приближенно. Количества выпускников вузов по ИБ-специальностям есть в материалах (сборниках) организаций, аккумулирующих региональную статистику (для областей – это «облстаты»). Однако такие сборники формируются со значительной задержкой по времени, распространяются на платной основе. Поэтому они малодоступны не только для абитуриентов, но и для исследователей – даже в пределах «своего» региона. Для абитуриентов очень важна и информация о доле выпущенных СпИБ от количества СпИБ принятых на первый курс, но в Интернете таких сведений нет.

Таблица 2

Состав рассматриваемых в статье вузов

Сокращение	Полное название
АдыгГУ	Адыгейский государственный университет
АМиСИТ	Академия маркетинга и социально-информационных технологий (г. Краснодар)
АстГУ	Астраханский государственный университет
АстГТУ	Астраханский государственный технический университет
ВолГУ	Волгоградский государственный университет
ДагГУ	Дагестанский государственный университет
ДагГУНХ	Дагестанский государственный университет народного хозяйства
ИВТ (РнД)	ИВТ им.Г. Я.Седова (ф-л ГМУ им. адм. Ф. Ф.Ушакова в г. Ростове на Дону)
ИСТД	Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске)
КабБалГУ	Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова
КалмГУ	Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова
КубГТУ	Кубанский государственный технологический университет
КрфВАС	Краснодарский филиал Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного Министерства обороны Российской Федерации
КубИИЗ	Кубанский институт информзащиты
МайГТУ	Майкопский государственный технологический университет
ДонГТУ	Донской государственный технический университет
РосГЭУ	Ростовский государственный экономический университет
РостГУ	Ростовский государственный университе
СарГУ	Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
СарГТУ	Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина
СевКавФУ	Северо-Кавказский федеральный университет (г.Ставрополь)
ЮРГПУ	Южно-Российский государственный политехнический университет им. М. И. Платова (Новочеркасск)

Информация о стоимости платного образования по ИБ-специальностям в Интернете есть, но вузами не указывается, как эта стоимость может меняться в процессе обучения. Сведения о предоставлении мест в общежитиях на сайтах вузов отражается, но, обычно, без таких важных «подробностей» как величина оплаты; количества мест в комнатах, удаленность общежитий от учебных корпусов и пр. Также труднодоступной (с позиций абитуриентов) является информация об условиях назначения стипендий – особенно, повышенных; о возможностях параллельного получения «второго высшего образования» на платной основе; о степени реальности получения зарубежных стажировок в процессе обучения и пр.

Обсуждение целесообразности размещения на вузовских сайтах ФИО выпускников (с разбивкой по годам, специальностям и группам) ведется уже достаточно давно – в том числе и как средства борьбы с поддельными дипломами. Однако пока на сайтах вузов (или страницах сайтов кафедр) обычно есть сведения лишь о наиболее известных (успешных) выпускниках. На сайтах ИБ-кафедр иногда приводятся деперсонализованные данные о местах работы их выпускников, но без указания количеств работающих.

Некоторые (очень немногие!) ИБ-кафедры указывают на своих страницах сайтов сведения об общем количестве выпускников по годам, в т. ч. получившим дипломы с отличием. Информация о выпускниках частично доступна также в социальных сетях, например, на сайте «одноклассники».

При оценках объемов подготовки ИБ-специалистов в вузах и регионах авторы использовали данные о приеме в вузы по ИБ-специальностям из Интернета (табл. 3). Отметим следующее: набор на ИБ-специальности в ОУ «силовых ведомств» в Интернете или вообще не отражается, или не указывается количество мест – поэтому данные в табл. 3 по приему на

бюджетные места – «заниженные»; из-за «отсева» выпуск ИБ-специалистов из вузов меньше, чем прием; если набор на ИБ-специальности осуществляется не ежегодно, то в 2016 году может быть выпуск из вуза СпИБ, но не набор абитуриентов (и наоборот!).

Таблица 3

Плановые показатели приема в вузы в 2016 г на бюджетные места и (в квадратных скобках) на платную форму обучения

	Бакалавриат		Специалитет		Магистратура	
Вуз	Шифр	О./О-З./З.	Шифр		Шифр	О./О.-З./З.
АдыгГУ	10.03.01	[10]/0/0				
АМиСИТ*	090900.62	Нет пр.2016	090103.65	Нет пр.2016		
АстГУ	10.03.01{А}	15[10]/0/0		-		-
АстГТУ	10.03.01	25[5]/0/[10]	10.05.03	20[5]/0/0	10.04.01	5[5]/0[10]/0
ВолГУ	10.03.01{А}	25[10]/0/0	10.05.03	25/0/0		
ДагГУ	10.03.01	[15]/0/0				
ДагГУНХ	10.03.01	25рб[10]/0/0				
ДонГТУ	10.03.01 {А}	25 [15]/0/0	10.05.01	43 [10]/0/0		
ДонГТУ			10.05.02	22 [5]/0/0		
ИВТ (РнД)	10.03.01	Нет пр.2016				
ИСТД	10.03.01	20[5]/0/0			10.04.01	[8]/0/0
КабБалГУ	10.03.01	Нет пр.2016				
КалмГУ	10.03.01	Нет пр.2016				
КрфВАС	10.03.01	Нет инфор.				
КубГТУ	10.03.01	30[25]/0/0	10.05.01	[20]/0/0	10.04.01	[10]/0/0
КубГТУ			10.05.03	20[15]/0/0		
КубИИЗ	10.03.01(и.п.)	5/10/0				
	10.03.01	20/15/0				
МайГТУ	10.03.01	20 [5]/0/0				
РосГЭУ	10.03.01	15[5]/0/0			10.04.01	[10]/0/0
РостГУ	10.03.01	30/[20]/0/0	10.05.03	0 [25]/0/0		
РостГУ			10.05.05	0 [25]/0/0		
СарГУ	10.05.01	40[15]/0/0				
СарГТУ	10.03.01	15[5]/0/0	10.05.03	40[10]/0/0		
СевКавФУ	10.03.01	24[2]/0/0	10.05.03	[3]/0/0	10.04.01	39/0/0
			10.05.01	[5]/0/0	10.04.01	19[7]/[20]/0
					10.04.01	20[7]/0/0
ЮРГПИ	10.03.01{А}	0/0/[25]	10.05.02	0/0/[25]	10.04.01	0/0/[5]

О б о з н а ч е н и я : * – на сайте АМиСИТ приведены «старые» шифры ФГОС; {А} – академический бакалавриат; {П} – прикладной бакалавриат; «О./О-З./З.» – прием на очную, очно-заочную, заочную формы; нет пр. 2016 – нет приема в 2016 году; рб – финансирование из республиканского бюджета; и.п. – обучение по индивидуальному плану.

В ы в о д ы по табл. 3: **А**. Подготовка СпИБ сосредоточена в вузах лишь достаточно крупных регионов. В других регионах потребности в СпИБ удовлетворяются, видимо, за счет выпускников иных ИТ-специальностей. **Б**. Лишь немногие вузы осуществляют прием в магистратуру по ИБ-специальностям. Поэтому у выпускников бакалавриата и специалистета возможности продолжения ИБ-образования в «своих» вузах ограничены.

Оценки приема в вузы для обучения СпИБ (бакалавриат + специалитет + магистратура), рассчитанные по «бюджетным местам» и «бюджетным + коммерческим» на 1 млн. жителей региона, приведены в табл. 4.

Таким образом, в Южном ФО (14 млн. чел.), подготовка СпИБ осуществляется во всех 6 регионах, а в Северо-Кавказском ФО (примерно 13.5 млн. чел.) – лишь в 3 регионах из 7.

Таблица 4

Характеристика приема на ИБ-специальности в 2016 г.

Регион или ФО		Только бюджетные места		Бюджетные + коммерческие	
	К-во вузов	Всего мест	На 1 млн. жит.	Всего мест	На 1 млн.жит.
Астраханская область	2	65	40	105	65
Волгоградская область	1	50	19,64	60	23,57
Республика Дагестан	2	25	8,29	50	16,58
Кабардино-Балкария	1- нет пр.2016	0	0	0	0
Республика Калмыкия	1-нет наб.2016	0	0	0	0
Краснодарский край	4	100	18,14	170	30,83
Республика Адыгея	2	20	55,6	45	100
Ростовская область	5	135	31,87	305	72
Ставропольский край	2	122	43,54	179	63,88
Саратовская область	2	95	38,18	125	50,24
Южный ФО	**6**	**370**	**26,43**	**690**	**49,29**
Северо-Кавказский ФО	**3**	**144**	**10,67**	**224**	**16,59**

О б о з н а ч е н и е : «К-во вузов» – количество вузов, в которых осуществляется подготовка специалистов по ИБ в регионе.
П р и м е ч а н и я : Саратовская область входит в Поволжский ФО; данные о численностях населения регионов взяты на 1.01.2016.

При оценках «суммарных образовательных усилий» вузов, направленных на обеспечение ИБ регионов и ФО, надо учитывать следующее: 1) имеются различия в продолжительностях и объемах обучения по программам ССО, бакалавриата, специалитета, магистратуры; 2) в вузах осуществляется подготовка не только СпИБ, но и других ИТ-специалистов (в их планах обучения обычно есть курсы по ИБ). Однако без анализа учебных планов дать априорные оценки объемов обучения по ИБ для ИТ-специалистов можно лишь весьма приближенно (номенклатуру предметов и количества учебных часов можно оценить через расписания учебных занятий для академических групп, которые есть на сайтах крупных вузов).

Отметим, что у большинства «не ИТ-специальностей» тематика ИБ в рамках курсов «информатики», «информационных технологий в профессиональной деятельности» (и т. п.) часто вообще не рассматривается.

Сведения о минимальных проходных баллах на бюджетные места в 2015 году есть на сайтах лишь части вузов, поэтому сопоставлять их сложно. Причем достаточно часто эти сведения «упрятаны» в концы приказов о зачислении студентов, которые абитуриенты обычно вообще не смотрят.

Сравнение по отношению к общему приему долей мест для «всех ИТ-специальностей» и только «для ИБ-специальностей» (табл. 5) позволяет сделать выводы об «учебной ориентации» вузов; о внимании, уделяемом ИБ-специальностям. На сайтах большинства вузов не указан фактический прием в 2015 году на «бюджет» и «коммерцию». Поэтому планы приема на «бюджет» в 2016 году следует рассматривать как «минимальные оценки» приема, а на «бюджет + коммерцию» – как максимальные.

Таблица 5

Дополнительные сведения о приеме на ИБ-специальности

	Бакалавриат и специалитет			ДМ ИТ (%)		ДМ ИБ (%)	
Вуз	Шифр	Мин.баллы ЕГЭ 2016г	Проходные баллы 2015г	По бюд. местам	По «бюд. + плат.»	По бюд. местам	По «бюд. + плат.»
АдыгГУ	10.03.01	105	Нет инф.	14,7	10,2	0	0,82
АМиСИТ*	090900.62	Нет пр.2106	Нет инф.				
АМиСИТ*	090103.65	Нет пр. 2016	Нет инф.				
АстГУ	10.03.01{А}	101	189	6,39	3,48	0,92	0,60
АстГТУ	10.03.01	99	В 2013г. - 233	15,59	10,74	5,14	2,36
АстГТУ	10.05.03	99	Нет инф.				

Окончание табл. 5

	Бакалавриат и специалитет			ДМ ИТ (%)		ДМ ИБ (%)	
Вуз	Шифр	Мин.баллы ЕГЭ 2016г	Проходные баллы 2015г	По бюд. местам	По «бюд. + плат.»	По бюд. местам	По «бюд. + плат.»
ВолГУ	10.03.01{А}	102		28,19	16,47	6,22	2,99
ВолГУ	10.05.03	102					
ДагГУ	10.03.01	Нет инф.	Нет инф.	13,96	11,44	0	0,47
ДагГУНХ	10.03.01	99		30	8,33	5	3,33
ДонГТУ	10.03.01	104	Нет инф.	16,49	7,6	3,8	1,84
ДонГТУ	10.05.01	115	Нет инф.				
ДонГТУ	10.05.02	101	Нет инф.				
ИВТ (РнД)	10.03.01	-	-	-	-	-	-
ИСТД	10.03.01	101	103	11,5	7,84	5,46	2,54
КабБалГУ	10.03.01	Нет пр.2016	-	-	-	-	-
КалмГУ	10.03.01	99	Нет инф.	Нет ин.	Нет ин.	Нет инф.	Нет инф.
КрфВАС	10.03.01	Нет инф.	Нет инф.	Нет ин.	Нет ин.	Нет ин.	Нет инф.
КубГТУ	10.03.01	104	204	10,55	5,89	5,8	1,47
КубГТУ	10.05.01	104	243				
КубГТУ	10.05.03	104	Нет инф.				
КубИИЗ	10.03.01	99	Нет инф.	-	100	-	26,53
МайГТУ	10.03.01	99	Нет инф.	9,5	6,2	3,7	2,3
РостГЭУ	10.03.01	108	Нет инф.	11,59	7,26	2,22	0,62
РостГУ	10.03.01	170	190	14,48	15,67	0,54	1,17
РостГУ	10.05.02	160	Нет инф.				
РостГУ	10.05.03	160	176				
РостГУ	10.05.05	150	Нет инф.				
СарГУ	10.05.01	103	103	7,97	8,23	1,71	1,58
СарГТУ	10.03.01	99	186	24,38	17,00	3,70	1,66
	10.05.03	99	206				
СевКавФУ	10.03.01	101	103	17,31	12,05	1,18	0,89
	10.05.03	101	103				
	10.05.01	101	103				
ЮРГПИ	10.03.01{А}	99	Нет инф.	13,74	11,74	0,0	1,55
	10.05.02	99	Нет инф.				

О б о з н а ч е н и я : * – на сайте приведены «старые» ФГОС; «Мин. баллы ЕГЭ 2016» – минимальное количество баллов по трем предметам (как правило, это «Математика», «Русский язык», «Физика»); «Проходные баллы 2015» – на бюджетные места (для ИБ-специальностей эта информация есть на сайтах лишь немногих вузов); «ДМ ИТ (%)» – доля мест по всем ИТ-специальностям (бакалавриат + специалитет + магистратура) в плане приема на 2016 год – только по «бюджетным местам» и по «бюджетным + платным»; ДМ ИБ (%) – доля мест по всем ИБ-специальностям в плане приема на 2016 год – только по «бюджетным местам» и по «бюджетным + платным».

Часть вузов размещают на своих сайтах деперсонализованные (с номерами зачеток) сведения о промежуточных рейтингах студентов, но не о результатах экзаменов. Однако из-за различий вузов по номенклатуре учебных курсов, фактических требований к студентам и пр. эти сведения для сравнения качества обучения оказываются малополезными.

Ранее в вузах России проводились обязательные «интернет-экзамены» по некоторым дисциплинам – это позволяло в явной форме сравнивать качество знаний. Однако сейчас эти экзамены не обязательны.

В Интернете нет данных о «средних баллах» по совокупностям дисциплин, включенным во «вкладыши» к дипломам, даже для учебных групп выпускников. Поэтому такие данные также не удается использовать для сравнения качества обучения в разных вузах.

Анализ с помощью поисковых систем Ин-

тернета вакансий для «Специалистов по ИБ» показал, что в наиболее крупных регионах спрос на профильных СпИБ есть. Однако значительно чаще (примерно на порядок) «требуются» различные ИТ-специалисты (обычно – системные администраторы) со знанием основ или технологий ИБ.

Таким образом, приходится констатировать, что сейчас возможности получения объективной информации для прямого сравнения качества подготовки СпИБ в различных вузах, а также оценки востребованности этих специалистов, сейчас явно недостаточны.

Профилирующие кафедры и информация о них в Интернете

Учебно-методические возможности профилирующих кафедр и авторитетность их заведующих – это важные факторы, влияющие на качество набора абитуриентов, эффективность подготовки СпИБ (табл. 6).

Таблица 6

Информация о профилирующих ИБ-кафедрах в вузах и их заведующих

Вуз	Название кафедры	ФИО зав. кафедрой	Ученая степень	Инф. о сотр.	Инф. о м/б	Инф. о ПО
АдыгГУ	Прикладной математики, информационных технологий и информационной безопасности	Алиев М.В.	нет инф.	Есть	Нет	Нет
АМиСИТ	Фак. «Информатики и вычислительной техники»*	Декан Назарова О.В.	К.п.н.	Есть	Нет	Нет
АстГУ	Информационной безопасности	Ажмухамедов И.М.	д.т.н.	Част.	Нет	Нет
АстГТУ	Информационной безопасности	Попов Г.А.	д.т.н., к.ф.-м.н.	Нет	Есть	Есть
ВолГУ	Информационной безопасности	Цыбулин А.М.	к.т.н.	Есть	Част.	Нет
ДагГУ	Информатики и информационных технологий	Ахмедов С.А.	д.т.н.	Нет	Част.	Част.
ДагГУНХ	Информационные технологии	Раджабов К.Я.	к.э.н.	Есть	Нет	Нет
ДонГТУ	Кибербезопасности информационных систем	Жуков А.И.	к.т.н.	Есть	Нет	Нет
ИВТ (РнД)	Нет информации	Нет информации	Нет инф.	Нет	Нет	Нет
ИСТД	Информационной безопасности, систем и технологий	Антонов В.Ф.	к.т.н.	Есть	Нет	Нет
КабБалГУ	Информационной безопасности	Ксенофонтов А.С.	к.ф.-м.н.	Есть	Нет	Нет
КалмГУ	Кафедра информационных технологий информационной безопасности	Горяев Владимир Михайлович	к.п.н.	Есть	Нет	Нет
КрфВАС	Нет информации	Нет информации	-	-	-	-
КубГТУ	Кафедра компьютерных технологий и информационной безопасности	Кучер В.А.	к.т.н.	Есть	Есть	Нет
КубИИЗ	Информационной безопасности	Винокуров А.В.	Нет инф.	Нет	Нет	Нет
МайГТУ	Информационной безопасности и прикладной информатики	Чефранов С. Г.	д.э.н.	Есть	Част.	Нет
РостГЭУ	Информационных технологий и защиты информации	Тищенко Е.Н.	д.э.н.	Част.	Част.	Нет
РостГУ	Информационно-аналитических систем безопасности	Целых А.Н.	д.т.н.	Есть	Част.	Нет
РостГУ	Информационной безопасности телекоммуникационных систем	Румянцев К. Е.	д.т.н.	Есть	Част.	Нет
РостГУ	Безопасности информационных технологий	Абрамов Е.С.	к.т.н.	Част.	Нет	Нет
СарГУ	Теоретических основ компьютерной безопасности и криптографии	Салий В.Н.	к.ф.-м.н.	Есть	Нет	Нет
СарГТУ	Информационной безопасности автоматизированных систем	Байбурин В.Б.	д.ф.-м.н, з. д. н. РФ	Есть	Есть	Есть
СевКавФУ	Информационной безопасности автоматизированных систем	Чипига А.Ф.	к.т.н.	Есть	Част.	Нет

Окончание табл. 6

Вуз	Название кафедры	ФИО зав. кафедрой	Ученая степень	Инф. о сотр.	Инф. о м/б	Инф. о ПО
СевКавФУ	Организации и технологии защиты информации	Петренко В.И.	к.т.н.	Есть	Нет	Нет
СевКавФУ	Прикладной математики и компьютерной безопасности	Тебуева Ф.Б.	д.ф.-м.н.	Есть	Нет	Нет
ЮРГПУ	Информационной безопасности	Баранов В.В.	к.воен. наук.	Есть	Есть	Есть

О б о з н а ч е н и я : * – профилирующая кафедра на сайте вуза не указана; кафедра«Инф. о сотр.» – информация о сотрудниках; «Част.» – есть лишь частичная информация; «Инф. о м/б» – информация о материальной базе непосредственно кафедры; «Инф. о ПО» – информация о специализированном программном обеспечении, используемом непосредственно кафедрой в учебном процессе по ИБ.

Условно можно профилирующие кафедры разделить на три группы: комбинированные (подготовка СпИБ – лишь одно из направлений их деятельности); общего профиля (в основном готовят бакалавров по направлению 10.03.01); специализированные (обучают по направлениям специалитета и магистратуры, иногда – в сочетании с бакалавриатом).

Информация о преподавательском составе кафедр на сайтах большинства вузов есть, однако без указания следующего: кто является штатным преподавателем, а кто совместителем; на какую часть ставки преподаватель работает. Также нет данных о том, кто защищал диссертации по специальности «Информационная безопасность» (05.13.19) – судя по всему, таких преподавателей на ИБ-кафедрах вузов обычно меньшинство.

Сведения о разработанных сотрудниками учебно-методических пособиях на сайтах некоторых кафедр приводятся – однако, без увязки с другой литературой, используемой при обучении. Данные о полученных грантах, научных направлениях деятельности преподавателей лишь в редких случаях отражают проведение НИР совместно со студентами.

Попытка проанализировать сведения о публикационной активности заведующих ИБ-кафедрами с использованием данных на www.elibrary.ru показала следующее: у ряда завкафедрами такие показатели оказались достаточно низкими (вероятно, из-за наличия работ по «закрытой» тематике); сведения о количествах публикаций на страничках ИБ-кафедр нередко намного превышают то, что есть на www.elibrary.ru; значительная часть публикаций сотрудников ИБ-кафедр никак не относится к ИБ-тематике.

Информация о материальной базе обучения на страницах многих ИБ-кафедр представлена лишь фрагментарно – только названия лабораторий, но не их подробное техническое оснащение, используемое программное обеспечение. В последнем отношении выгодно отличается информация о кафедре, представленная на сайте АстГТУ. Перечень изучаемых дисциплин для ИБ-специальностей приводится на страницах ИБ-кафедр ряда вузов, но без указания какие из дисциплин обязательные, а какие – «по выбору»; не указываются также количества часов обучения, количества курсовых работ и пр. Дополнительно отметим, что в г.Таганроге в рамках инженерно-технологической академии ЮФУ действует «Южно-Российский региональный учебно-научный центр по проблемам информационной безопасности в системе высшей школы».

Характеристика олимпиад, творческих и иных конкурсов

Специализированные олимпиады по ИБ проводятся как среди школьников, так и студентов вузов. Межвузовские олимпиады по ИБ [9] – важный способ стимулирования творческой активности наиболее сильных студентов, мотивирования преподавателей к лучшей подготовке студентов для участия в таких соревнованиях. Отметим такие олимпиады: VOLGACTF (проводимые в г.Самаре и позиционируемые как международные – сайт https://volgactf.ru/); Capture The Flag (проводимые по международным правилам – например, сайт http://mctf.ru/); Всероссийские соревнования по ИБ, проводимые МИФИ и др.

На сайтах вузов сведения об участии студентов ИБ-специальностей в олимпиадах приводятся лишь немногими кафедрами (отметим СевКавГУ). Однако это, в основном, не специализированные ИБ-олимпиады, а соревнования, относящиеся к спортивному программированию, другим ИТ-направлениям обучения. Подчеркнем, что результаты участия в олимпиадах – это все же характеристика лишь наиболее сильных студентов.

Среди грантовых конкурсов инновационного характера упомянем «У.М.Н.И.К.», «Старт» и др. Потенциально возможно также участие студентов в работе по грантам РФФИ и РГНФ. На сайтах ИБ-кафедр вузов сведения о полученных студентами грантах встречаются редко.

Выводы по статье

1. Подготовка СпИБ на юге России осуществляется в основном в государственных вузах. 2. С точки зрения выбора абитуриентами вуза с интересующими их ИБ-специальностями, ряд важных сведений, включая информацию об ИБ-кафедрах, достижениях их преподавателей и пр., на сайтах представлены не полно. 3. У абитуриентов и исследователей отсутствуют возможности получения через Интернет информации об «отсеве» при обучении, о качестве получаемого образования, о трудоустройстве выпускников. 4. Представленное на некоторых интернет-сайтах «рейтингование» ИБ-специальностей в вузах недостаточно объективно. Причины: отзывов мало; вузы могут «манипулировать» такими отзывами за счет влияния на своих студентов, выпускников, других лиц и пр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анурьева, М.С.* Направления развития отечественной системы подготовки специалистов по защите информации // Вестник Тамбовского университета. Серия : Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 1. С. 230–232.

2. *Баранкова, И.И.* Компетентностно-ориентированный подход к формированию лабораторий и учебно-тренировочных средств при подготовке специалистов в области информационной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 1. № 25 (25). С. 46–50.

3. *Беленький, П.П., Серпенинов, О.В., Тищенко, Е.Н., Шарыпова, Т.Н.* Формирование экономической модели специалистов по направлению подготовки «Информационная безопасность» // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2015. № 4. С. 59–62.

4. *Брумштейн, Ю.М., Юрков, Н.К., Камаев, В.А.* Цели и практические методы управления наукометрическими показателями вузовских журналов: взгляд с позиций научных редакторов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 6(163). С.103–111.

5. *Брумштейн, Ю.М.* Интеллектуальные ресурсы региона: системный анализ компонентной структуры, подходов к оценкам, моделей динамики // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. № 12(139). С. 52–57.

6. *Брумштейн, Ю.М., Кузьмина, А.Б.* ИКТ-компетентность стран, регионов, организаций и физических лиц: системный анализ целей, направлений и методов оценки // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань, 2014. – № 2. – С. 47–63.

7. *Веселов, Г.Е., Абрамов, Е.С., Горбунов, А.В., Целых, А.А.* Развитие системы подготовки специалистов в области информационной безопасности в Южном федеральном университете // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 1. № 25 (25). С. 92–103.

8. *Завгородний, В.И.* Проблемы подготовки специалистов по прикладной информатике в области информационной безопасности // Человеческий капитал. 2012. № 12 (48). С. 31–35.

9. *Казарин, С.В., Лёвин, Е.Н., Осипов, М.Н., Сергеев, В.В., Шиверов, П.К.* Повышение качества подготовки студентов по профильным дисциплинам в области информационной безопасности на основе участия в олимпиадах на примере межвузовских соревнований – VOLGACTF // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 2. № 25 (25). С. 109–113.

10. Информационная безопасность: вектор движения // Аккредитация в образовании. 2014. № 5 (73). С. 41.

11. *Котова, Н.А.* Инновационный подход к подготовке специалистов по информационной безопасности // Вестник Тамбовского университета. Серия : Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 2. С. 648–651.

12. *Кравцов, А.А.* Специфика профессиональной подготовки студентов по направлению «Информационная безопасность» // Вестник Московского государственного лингвистического университета. 2013. № 16 (676). С. 137–149.

13. *Кузьмина, А.Б.* Анализ опыта управления ИТ-компетентностью физических и юридических лиц в некоторых зарубежных странах // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – Астрахань, 2014. – № 2. – С. 63–76.

14. *Макаревич, О.Б.* Комплексная система подготовки кадров по направлению «Информационная безопасность» // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 4 (129). С. 18–24.

15. *Поляков, В.В., Минакова, Н.Н.* Подготовка специалистов по информационной безопасности с учетом требований современного рынка труда // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 2. № 25 (25). С. 205–209.

16. *Сизоненко, А.Б., Клюев, С.Г.* О взаимосвязи дисциплин технического профиля при подготовке специалистов в сфере обеспечения информационной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 2. № 25 (25). С. 240–245.

17. *Шимшилов, С.А.* Интеллектуальный капитал организации и профессиональная компетентность персонала // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2004. № 3. С. 56–69.

УДК 7.77

М. С. Дерюгин

ОСОБЕННОСТИ НОВОГО МЕТОДА ПЕЧАТИ: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ПЕЧАТЬ

**Московский технологический университет,
институт технической эстетики и дизайна**

maks52478@mail.ru

В данной статье рассматривается новый метод в гидрографической печати – вычислительная гидрографическая печать. Цель этой статьи состоит в том, чтобы осуществить декорирование 3D-модели с удовлетворяющими пользователей цветовыми текстурами. Мы используем модель вязких листов для моделирования искажения цветной пленки во время погружения изделия в воду и составления карты сопоставления пленки и поверхности изделия.

Ключевые слова: 3D-печать, гидрографическая печать, моделирование физических объектов, вязкие листы, нанесение на рельефную поверхность.

M. S. Deryugin

FEATURES OF THE NEW PRINTING METHODS: COMPUTER HYDROGRAPHIC PRINT

**Moscow Technological University,
Institute of Technical Aesthetics and Design**

This article describes a new method in the hydrographic printing – computational hydrographic printing. The purpose of this article is to carry out the decoration of the 3D-model with color textures to satisfy the users. We use the model of viscous sheets, with the aim to simulate color film distortion during the immersion and make a map of comparisons between a film and the object surface.

Keywords: 3D-printing, hydrographic printing, modeling of physical objects, viscous sheets, texture mapping.

Гидрографическая печать является известным методом нанесения тонкой пленки с цветовой текстурой на поверхность 3D изделия. Она дает высокое качество окраски поверхности изделия и возможность работы с широким диапазоном материалов, но недостаток этого метода в том, что он не может точно передать цветовую текстуру на сложной геометрической поверхности.

Отметим, что одинаково важно, как создание формы – методы окраски поверхности изготовленной с заданным рельефом, так и работа со сложной геометрией поверхности, создаваемой из самых разнообразных материалов.

Рассмотрим новый метод печати, вычислительную гидрографическую печать, которая наследует опыт традиционной гидрографической печати, обеспечивая при этом точное выравнивание текстуры на поверхности сложных 3D-объектов. Новый метод работает со сложной геометрической поверхностью и с широким спектром материалов, включая пластмассу, древесину и фарфор. Используя числовое моделирование, этот метод позволяет заранее предвидеть растяжение и искажение цветной пленки и, в свою очередь, создает карту между цветами на пленке и их расположением на поверхности изделия, куда они будут перенесены. С помощью этой карты можно сформировать цветовое изображение для печати на ПВС пленке, которая после погружения создаст требуемую цветную текстуру поверхности изделия.

Вычислительная гидрографическая модель основана на уже существующих моделях образования вязких жидкостей [10]. Эти модели имитируют вязкие жидкости, созданные на основе теории механики континуума. В частности, наша модель связана с потоком Стока [9], который является упрощением уравнения Навьер-Стока в режиме малых чисел Рейнольдса, а также модели вязких листов [6]. Данные модели используются для коррекции искажения цветовых пленок: устанавливая нужные границы, мы можем уменьшить деформацию цветных пленок, используя 2D-процесс, который, в свою очередь, задействует быстрый и точный прогноз искажения пленки в процессе гидрографической печати.

Отечественные специалисты Ю. В. Визильтер и В. С. Горбацевич предлагают использовать для описания геометрической формы объектов так называемые «гибкие структурирующие элементы», параметры которых определяются методом линейного программирования [2].

© Дерюгин М. С., 2016

В задачах технического плана на этапе распознавания обнаруженных объектов часто возникает проблема описания формы объектов. Причем, помимо компактности такого описания, желательно, чтобы оно было устойчивым к ряду наиболее часто встречаемых геометрических искажений, например, формы объектов либо искажений типа «загораживания». В настоящее время существует множество различных вариантов решения задачи описания формы двумерного объекта – например, цепные коды, Фурье дескрипторы [3], скелетные представления [4] и др.

Начнем с представления всех этапов процесса гидрографической печати. Данный способ можно представить следующими этапами:

1. Установка. Для того, чтобы точечно управлять процессом печати, сначала следует установить калибровальную систему, в которой изделие закрепляется в зажиме и погружается в воду с постоянной скоростью. Далее настраиваем визуальную систему 3D, чтобы измерять положение изделия и место погружения с целью определения степени искажения цветной пленки во время погружения.

2. Виртуальное моделирование. Перед запуском процесса гидрографической печати моделируем его виртуально. В частности, надо рассчитать, в какой мере ПВС цветная пленка искажается во время печати перед погружением изделия. С этой целью мы разрабатываем эффективную и точную имитационную модель.

3. Компьютерное моделирование цветовых шаблонов. Через моделирование мы создаем карту точек на цветной пленке и их местоположения при переносе на поверхность изделия. Эта карта, в свою очередь, позволяет нам вычислить пиксельное изображение, распечатанное на цветной пленке в соответствии с текстурой поверхности изделия.

4. Передача реального цвета. Наконец, распечатываем четко выверенное пиксельное изображение на цветной пленке, помещаем его в воду, фиксируем его местонахождение и запускаем процесс гидрографической печати, чтобы нанести эти цвета на поверхность изделия. Очевидно, что метод передачи цвета печати на сложной геометрической поверхности будет совершенствоваться посредством многократных погружений изделия и изменений его положения.

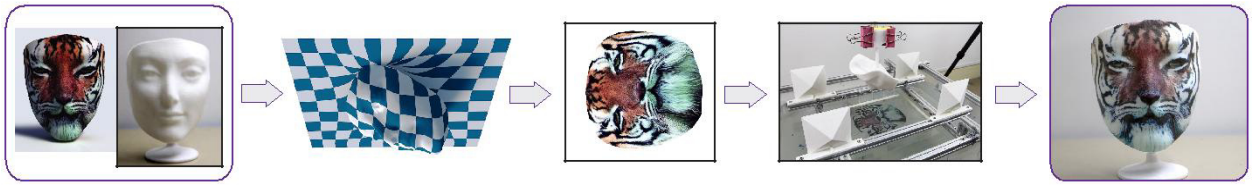


Рис. 1. Этапы технологии. В качестве тестового образца используется изделие под покраску и его желаемая текстура. После того, как изделие будет зафиксировано механизмом захвата, перед погружением мы измеряем его положение и местоположение, что поможет процессу виртуального моделирования. После моделирования искажения цветной пленки в гидрографической печати вымеряется цветовое изображение и распечатывается на ПВС пленке. Наконец, изделие погружаем в воду через плавающую цветовую пленку и переносим требуемый цвет на поверхность изделия

В начале процесса гидрографической печати ПВС пленка помещается на поверхность воды. Затем по поверхности пленки распыляется активатор. При химической реакции с активатором пленка и чернила быстро становятся мягкими и клейкими, создавая на воде тонкий и вязкий лист. Когда изделие погружается в воду и касается вязкого листа, чернила вместе с поливинилспиртовой пленкой принимают геометрические формы изделия, затем они переносят эти формы на поверхность изделия. Как правило, границы пленки формируются в емкости с водой и фиксируются там же. После того, как часть вязкого листа присоединилась к поверхности изделия, одна часть погружается в воду вместе с изделием, а остальная часть вязкого листа остается на воде, при этом она начинает активизироваться и растягиваться (рис. 2).

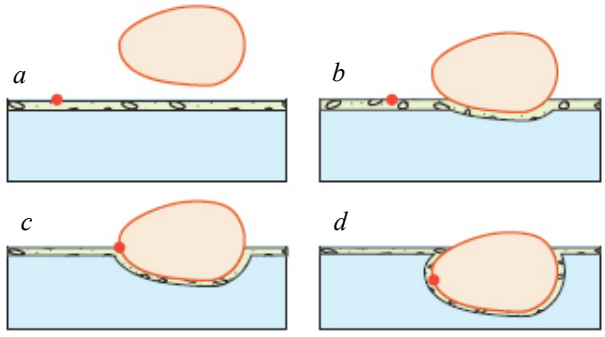


Рис. 2. Гидрографическое погружение:
a – объект начинает опускаться; красная частица – это точка на цветной пленке на поверхности воды; *b* – изделие начинает опускаться в воду. Часть цветной пленки прилипает к изделию, а остальная часть растягивается таким образом, что красная частица перемещается; *c* – изделие продолжает опускаться. Красная частица присоединяется к поверхности изделия и фиксируется там; *d* – присоединившаяся красная частица закрепляется на поверхности и перемещается вместе с изделием

Исходя из представленной технологии, мы можем моделировать искажение пленки, получаемое при погружении изделия, используя метод тонких вязких листов. Также, ввиду того, что изделие опускают в воду при постоянной низкой скорости (например, в нашей системе вертикальная скорость изделия – 5 мм/с), можно предположить, что вода под вязкой пленкой квазистатична; скорость жидкости в вязком слое является инвариантной при вертикальной направленности; вязкий лист двигается в воде лишь горизонтально, до тех пор, пока не достигнет изделия и не приклеится к его поверхности (рис. 2, *c*).

Если математизировать процесс, то скоростное поле 2*D* на вязкой пленке можно обозначить как $\boldsymbol{u}$ **(x),** $\boldsymbol{x}\epsilon$ $\mathbf{R}^2$. Данная технология предполагает вертикальное погружение объекта. Условия формирования границы $\boldsymbol{u}$ (x) можно представить в виде следующей формулы:

$$u(x) = \frac{1-\cos\theta}{\sin\theta} v_{\mathrm{d}}\mathrm{n}, \qquad x\epsilon\Gamma_S,$$
$$u(x) = 0, \qquad x\epsilon\,\Gamma_V, \qquad (1)$$

где Γ_S и Γ_V обозначают границы пленки, затрагивающие изделие и резервуар соответственно; V_d – постоянная вертикальная скорость погружения, угол между поверхностной тангенциальной и горизонтальной ватерлинией и **n** – стандартное направление на пленке 2D, обозначающее пределы поверхности пленки. Важно отметить, что в то время как Γ_V фиксируется во время процесса гидрографической печати, Γ_S изменяется в зависимости от текущей иммерсионной глубины изделия.

Так, в процессе гидрографической печати цветовая пленка становится вязкой в результате реакции с химическим активатором. Вязкая пленка характеризуется низким числом Рейнольдса [8], в этой связи мы можем моделировать вязкую пленку в специальном динамическом режиме, который известен под названием потока Стока [9]. В 2D-формате поток Стока рассчитывается с помощью простого уравнения Лапласа:

$$\nabla^2 u(x) = 0, x \epsilon \Omega, \qquad (2)$$

при котором условие границы (1), где Ω обозначает область вязкой пленки на воде; она изменяется, как только мы погружаем изделие в воду (рис. 3).

В данном числовом моделировании мы дискретизируем во временном интервале и решаем это уравнение Лапласа в каждый временной период. Отметим, что вязкая пленка может быть растянута на горизонтальной плоскости, в то время как достижение сжатого состояния в вертикальном виде сохраняет его общий объем. Поэтому, имитируя только движение пленки в 2D в уравнении (2), мы не учитываем бездивергентное ограничение, которое обычно требуется для стандартного моделирования жидкости.

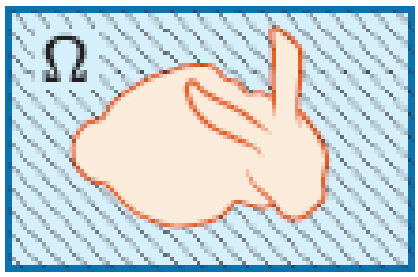


Рис. 3. Область вязкой пленки на воде

Далее моделируем пленочное искажение, используя простую, а не линейную модель вязких листов. В частности, упругие силы, $f_{int}(x)$ появляются благодаря изменению упругой энергии относительно материальных координат. Затем эти силы искажают вязкий лист в уравнении, отражающей данную динамику:

$$\rho u + f_{int}(x) = 0. \qquad (3)$$

В отличие от метода Бэтти (и др.), мы рассматриваем определенные физические характеристики гидрографической печати и разрабатываем модель вязких листов для эффективного моделирования. Мембранная энергия – это интеграл мембранной плотности энергии, $W_m(x)$, $x \in \Omega$, характерной для всей поверхности пленки на воде. Установлено, что мембранная плотность энергии [7] рассчитывается с точки зрения тензоров напряжения:

$$W_m(x) = \frac{Yh(x)}{2(1-v^2)}((1-v)tr(\epsilon)^2 + vtr(\epsilon)^2), \qquad (4)$$

где $h(x)$ является толщиной пленки в положении x; TR – оператор следа тензора; Y – модуль Янга и $\boldsymbol{\nu}$ – это коэффициент Пуассона. Моделирование несжимаемых вязких жидкостей дает следующую величину: $\boldsymbol{\nu}$ = 0.5; значение Y оценивается посредством экспериментов. Мембранное напряжение ϵ в (4) является тензором напряжения Грина для измерения 2D нелинейной геометрической деформации пленки. С этим показателем энергии (нелинейная) внутренняя мембранная сила обозначается как интеграл на всей площади вязкого листа Ω,

$$\boldsymbol{f}_{int}(\boldsymbol{x}) = \nabla \boldsymbol{x}(\int_{\Omega} \mathrm{W}_{\mathrm{m}}(\boldsymbol{x}) Ds). \qquad (5)$$

Установка толщины пленки $h(x)$ является особо значимым фактором. Отечественными учеными разработана методика синтеза структуры вычислительных устройств слияния изображений, основанной на внесении в используемые алгоритмы слияния изменений, направленных на распараллеливание и уменьшение объема вычислений при их выполнении [5].

По мнению ряда специалистов, основой разработки алгоритмов технического зрения считается аналитическая формализация, без которой не может быть решена многопараметрическая задача выделения и распознавания объектов. Сегментация – один из важных методов, используемых на ранней стадии распознавания образов. Она необходима для разделения видимого изображения на составляющие части или объекты и определяет основные элементы работы автоматизированной системы. Именно на этой стадии обработки объекты выделяются для дальнейшего распознавания и анализа [1].

Наконец, мы суммируем каждый этап нашей гидрографический системы печати (рис. 1). Берем 3D-геометрию изделия, которое должно быть окрашено в нужный цвет, а также физический объект, идентичный данной 3D-геометрии. Закрепляем объект в захвате и измеряем его положение и направленность. Это позволяет нам начать виртуальное моделирование во избежание искажения цветной пленки и для определения четкости пиксельного цветного изображения для печати на ПВС пленке. Затем распечатываем пленку, помещаем ее в воду и запускаем процесс гидрографической печати.

В ходе вышеописанных опытов использовалась калибровальная гидрографическая система, способная точено контролировать степень погружения и положение объекта. Во избежание разрыва пленки предлагается обрабатывать изображения в несколько этапов – посредством нескольких погружений объекта в разных его положениях.

Таким образом, мы рассмотрели первый вычислительный гидрографический метод печати для декорирования 3D-изделий. Разработанная расчетная модель помогает избегать искажения цветовой пленки в гидрографической печати. Данный метод объединяет многоэтапные процессы печати и тем самым способствует совершенствованию процесса накладывания цветовых текстур на сложные поверхности. Лабораторные эксперименты доказали эффективность нового вычислительного метода гидрографической печати и его высокие качественные характеристики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анисимов, Б.В., Курганов, В.Д.* Распознавание и цифровая обработка изображений. – М.: Высшая шк., 1983.

2. *Визильтер, Ю.В., Горбацевич, В.С.* Описание формы объектов на изображениях при помощи гибких структурирующих элементов // Техническое зрение в системах управления 2011. (Сб. трудов научно-технической конференции). – М., 2012. – С. 162–167.

3. *Гонсалес, Р., Вудс, Р.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

4. *Местецкий, Л.М.* Непрерывная морфология бинарных изображений. Фигуры. Скелеты. Циркуляры. – М.: Физматлит, 2009.

5. *Смагин, М.С.* Разработка методики синтеза структуры вычислительных устройств слияния изображений : автореф. дис. к.т.н. – М., 2008.

6. *Batty, C., Uribe, A., Audoly, B., Grinspun, E.* Discrete viscous sheets. ACM Trans. 2012. Graph. 31, 4 (July).

7. *Gingold, Y., Secord, A., Han, J.Y., Grinspun, E., Zorin, D.* A discrete model for inelastic deformation of thin shells. In Proceedings of SCA'04. 2004.

8. *Katz, J., Plotkin, A.* Low-speed aerodynamics, vol. 13.Cambridge University Press, 2001.

9. *White, F.M., Corfield, I.* Viscous fluid flow, vol. 3. McGraw-Hill New York. 1991.

10. *Wicke, M., Ritchie, D., Klingner, B.M., Burke, S., Shewchuk, J.R., O'brien, J.F.* Dynamic local remeshing for elastoplastic simulation. ACM Trans. 2010. Graph. 29, 4 (July), 49:1– 49:11.

УДК 004.93'1

С. В. Ноздренков, И. В. Горбушин, В. Ю. Агафонов, А. В. Катаев

3D-РЕКОНСТРУКЦИЯ МОДЕЛИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ БЕЗМАРКЕРНОГО ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ

Волгоградский государственный технический университет
nozdrenkov@gmail.com

В работе рассматривается метод решения задачи 3D-реконструкции модели тела человека по нескольким фотографиям, сделанным с разных ракурсов, для дальнейшего использования при безмаркерном захвате движений. Производится сравнение параллельной версии алгоритма с последовательной и анализ их применимости для решения задачи безмаркерного захвата движений в режиме реального времени.

Ключевые слова: безмаркерный захват движений, 3D-реконструкция, IntelXeonPhi, компьютерное зрение.

© Ноздренков С. В., Горбушин И. В., Агафонов В. Ю., Катаев А. В., 2016

S. V. Nozdrenkov, I. V. Gorbushin, V. U. Agafonov, A. V. Kataev

3D HUMAN BODY RECONSTRUCTION FOR MARKERLESS MOTION CAPTURE

Volgograd State Technical University

A method for 3D-reconstruction of human body by several photos made from different visual angles is presented. The method is applied for markerless motion capture. Parallel and sequential algorithms are compered against their applicability for markerless real-time motion capture.

Keywords: Markerless Motion Capture, 3D-reconstruction, Intel Xeon Phi, Computer Vision.

Введение

Захват движения человека в настоящее время находит все более широкое применение в различных системах анализа движений. Хорошо разработаны методы захвата движений человека, ориентированные на применение при создании компьютерной анимации и спецэффектов. В основном такие методы основываются на построении трехмерной модели оболочки наблюдаемого человека или облака точек и требуют использованияспециальной оснастки или окраски одежды и тела актера. Использование маркеров позволяет эффективно применить методы триангуляции для определения трехмерных координат точек. В то же время, есть ситуации, когда применение маркеров невозможно или нежелательно, например, в системах безопасности или анализе движений игроков в спортивных играх. В настоящее время разрабатываются различные методы захвата движений, не требующие применения маркеров, но в основном они работают лишь на поверхностях с контрастными текстурами, что не всегда свойственно одежде человека [3].

В данной работе будет рассмотрен простой метод построения модели человека в виде трехмерного облака точек (3D-реконструкция) по нескольким статическим видеокадрам, сделанным с разных сторон одновременно [2]. Описываемый метод не использует информацию о текстуре наблюдаемого объекта и может быть использован в составе системы без маркерного захвата движения.

На практике на системы захвата движений накладываются ограничения по производительности, в частности, работа в режиме реального времени. Подобные системы должны быть способны анализировать видео с частотой порядка 60 кадров в секунду, а процесс анализа движения, включающий этап построения оболочки, не должен занимать больше 16мс [3], что может быть достигнуто только применением методов параллельной обработки данных.

Описание алгоритма 3D-реконструкции

Метод 3D-реконструкции основан на пересечении силуэтов объекта (показано на рис. 1). Для построения силуэта на каждом кадре выделяется силуэт наблюдаемого объекта (человека). Информация о текстуре (цвете) объекта не используется.

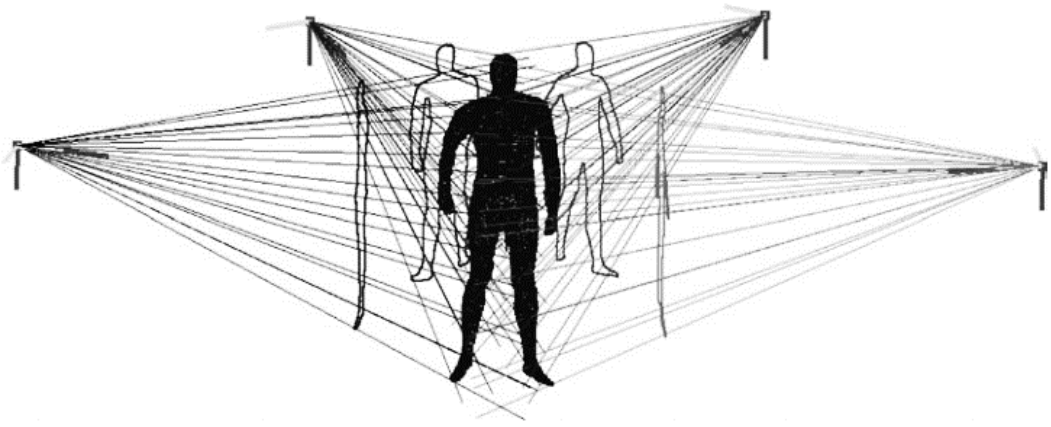


Рис. 1. Принцип пересечения силуэтов

Выделение силуэта возможно даже для изображений слабо текстурированных объектов, а так же для изображений, снятых в движении и с низким разрешением, когда информации недостаточно для выделения особых точек, необходимых для методов стереозрения.

Использование предварительно откалиброванной системы камер, для которой известно

достаточно точное положение каждой камеры в пространстве, позволяет восстановить объемную модель объекта в виде облака точек. Для этого в объеме пространства, в котором может находиться объект, выбираются множество исследуемых трехмерных точек. Для каждой точки производится проецирование координат на все изображения системы камер и проверяется принадлежность проекции точки соответствующему силуэту проекции объекта. Для выбора точек может применяться сканирование объема с равномерным шагом (построение регулярной сетки) [1], либо случайное распределение (метод Монте-Карло). В настоящей работе используется регулярная сетка, так как она позволяет эффективнее обрабатывать взаимное пространственное расположение точек в дальнейшем, при анализе движения объекта. Псевдокод алгоритма приведен на рис. 2:

```
for x = minx..maxx:
    for y = miny..maxy:
        for z = minz..maxz:
            if check(x, y, z):
                cloud.add(x, y, z)
```

Рис. 2. Псевдокод алгоритма 3D-реконструкции

Функция проверки check(x, y, z) возвращает значение «Истина», если точка (x, y, z) принадлежат наблюдаемому объекту. Считаем, что точка принадлежит объекту тогда, когда для каждой камеры проекция этой точки в плоскость камеры лежит внутри силуэта, полученного по фотографии с данной камеры. Такой подход не корректно обработает вогнутые поверхности, но качество получаемой облака точек остается удовлетворительным, так как такие поверхности не очень характерны для формы человеческого тела.

Использование этого метода требует выполнения калибровки системы камер. При калибровке определяются внешние и внутренние параметры камер, характеризующие их взаимное расположение и индивидуальные искажения соответственно. Калибровка должна выполняться заново, когда положения или параметры оптических систем камер изменяются.

Тестирование метода 3D-реконструкции на реальных фотографических изображениях

Так как в данной работе множество снимков делалось последовательно с использованием единственной камеры, то в сцене вместе с объектом был размещен неподвижный калибровочный маркер. По снимкам с маркером могут быть восстановлены матрицы трансформации, позволяющие преобразовывать координаты из локальных систем координат отдельных изображений в общую систему координат маркера и обратно [4].

Для тестирования метода использовалась статическая фигурка человека. При создании снимков были соблюдены пропорции таким образом, чтобы размер изображения модели в пикселях соответствовал размеру изображения реального человека при предполагаемом использовании системы. Для создания снимков использовалась камера Nikon D5000 с объективом Nikkor 18–105 мм.

Всего было сделано 10 снимков с различных углов в диапазоне 180 градусов, что необходимо для обеспечения возможности наблюдения маркера на всех снимках. Выделение силуэта на каждом кадре производилось автоматически, на основе разницы цвета наблюдаемого объекта и фона. Примеры полученных изображений и соответствующие им силуэты приведены на рис. 3.

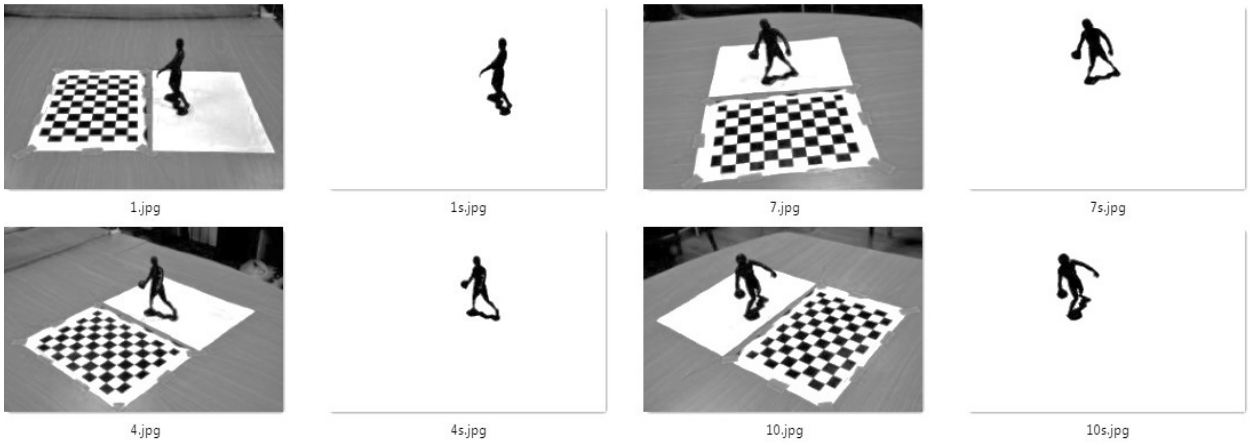


Рис. 3. Полученные силуэты модели человека с различных ракурсов

Эти же снимки были использованы для калибровки камеры [7]. Для каждого кадра было определено положение камеры в системе координат маркера с использованием функций из библиотеки OpenCV [5].

По полученным снимкам была построена модель в виде облака точек, представленная на рис. 4.

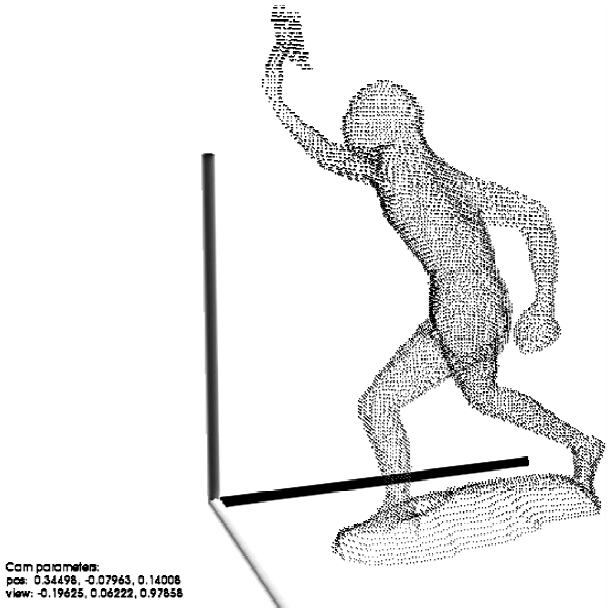


Рис. 4. Полученный результат

Параллельная версия алгоритма 3D-реконструкции

На практике подобный метод легко распараллелить, так как вычисление точек происходит независимо друг от друга [8]. Поскольку диапазон перебираемых значений первого цикла значительно больше количества ядер (больше 100), то достаточно использовать простую схему, в которой можно отдать каждому вычислительному потоку часть значений первого цикла. Каждый поток может отдельно складывать найденные точки в своемножество точек. А потом все множества нужно объединить в один.

Все три цикла можно полностью распараллелить. Если считать, что операция проверки принадлежности точки пересечению фигур работает за константное время, то по закону Амдала (1) получается следующее ускорение:

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}} = p, \qquad (1)$$

где α –доля от общего объема вычислений, которая может быть получена только последовательными расчетами; p – количество процессоров вычислительной системы[9].

Получается, что алгоритм можно распараллелить очень эффективно:

$$E = \frac{S_p}{p} = 1, \qquad (2)$$

где E – эффективность распараллеливания (2).

Таким образом, эффективность распараллеливания линейно зависит от количества узлов и сложности распределения данных по узлам. Распределить данные по вычислительным узлам можно в лучшем случае за $O(\log(N))$, где N – количество узлов.

Тестирование скорости работы алгоритма

В представленной таблице приведены результаты сравнения производительности алгоритма, реализованного на C++ и OpenMP [6] под сопроцессор IntelXeonPhi [10] (параллельная реализация) и под процессор IntelCorei5 (последовательная реализация).

Сравнение времени работы

Шаг регулярной сетки	1	2	3
Параллельная реализация	6.02629	1.0754	0.403554
Последовательная реализация	53.3681	7.05561	1.93419
Размер облака точек	60676	7676	2184

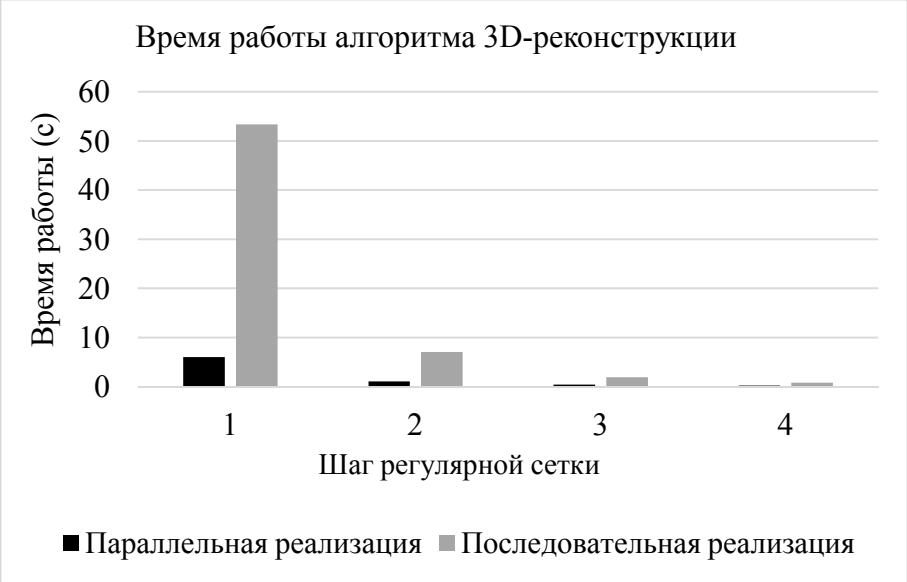


Рис. 5. Время работы алгоритма 3D-реконструкции

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что оптимальной скорости для работы данного алгоритма можно достигнуть с использованием сопроцессора IntelXeonPhi. Время работы алгоритма 3D-реконструкции приведено на рис. 5.

Заключение

Метод 3D-реконструкции модели тела человека, основанный на пересечении силуэтов, прост в реализации, позволяет эффективно строить модель человекав виде облака точек даже при практически полном отсутствии текстуры на одежде. Визуально получаемое облако точек достаточно точно передает форму тела человека, что делает его многообещающим для применения в составе метода безмаркерного захвата движений.

Метод может быть эффективно распараллелен, что позволит добиться работы в режиме реального времени даже при использовании сетки с маленьким шагом.

В данной работе исследовалась работа алгоритма на статическом наблюдаемом объекте, но при построении системы захвата движения придется бороться с множеством сложных проблем, в частности, с шумами, неточностью сегментации силуэтов, несинхронностью изображений камер.

Реализованный метод реконструкции был применен нами в реализации метода захвата движения человека, основанной на вписывании иерархической модели тела («скелета») в облако точек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Combined region- and motion-based 3d tracking of rigid and articulated objects. / T. Brox, B. Rosenhahn, J. Gall, and D. Cremers // TPAMI, 32(3):402–415, 2010.

2. *Liu, Y.* Markerless motion capture of interacting characters using multi-view image segmentation / Y. Liu, C. Stoll, J. Gall, H. P. Seidel, C. Theobalt // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 1249–1256, 2011.

3. Markerless Motion Capture System to Study Musculoskeletal Biomechanics: Visual Hull and Simulated Annealing Approach / S. Corazza, L. Mundermann, A. M. Chaudhari, T. Demattio, C. Cobelli, T.P. Andriacchi // Annals of Biomedical Engineering, Vol. 34, No. 6, pp. 1019–1029, 2006.

4. Markerless motion capture of man-machine interaction / B. Rosenhahn, C. Schmaltz, T. Brox, J. Weickert, D. Cremers, H. P. Seidel // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 1–8, 2008.

5. OpenCV [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа: http://opencv.org/, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 17.02.2016).

6. TheOpenMPAPIspecificationforparallelprogramming [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа: http://openmp.org/wp/, свободный. – Загл. сэкрана (датаобращения: 17.02.2016).

7. Two-Stage Segmentation Method for Context-Sensitive Image Analysis / А.В. Алексеев, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев, А.В. Заболеева-Зотова // Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17-20, 2014) / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Tadashi Iijima ; Volgograd State Technical University [etc.]. – [Б/м] : Springer International Publishing, 2014. – P. 331–340. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466)

8. *Агафонов, В.Ю.* Super-Resolution Approach to Increasing the Resolution of Image / В.Ю. Агафонов // Knowledge-Based Software Engineering : Proceedings of 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 (Volgograd, Russia, September 17-20, 2014) / ed. by A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, Tadashi Iijima ; Volgograd State Technical University [etc.]. – [Б/м] : Springer International Publishing, 2014. – P. 341–355. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).

9. *Агафонов, В.Ю.* Методы многокадровой обработки для повышения качества цифровых изображений / В.Ю. Агафонов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). С. 45–49.

10. Семейство продукции IntelXeonPhi [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа: http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/processors/xeon/xeon-phi-detail.html, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 17.02.2016).

УДК 004.02

Р. Б. Санжапов

КВАНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
rinat93@lenta.ru

Предлагается метод количественной оценки (квантификации) объектов при задании информации о степени превосходства одного объекта над другим в виде интервальных экспертных оценок. Рассматриваются интервальные оценки интенсивности предпочтения, заданные в виде системы непересекающихся отрезков. Разработан подход к агрегированию такой информации без ее предварительного усреднения. Приводится численный пример.

Ключевые слова: упорядочивание объектов, интервальное отношение, экспертные оценки.

R. B. Sanzhapov

QUANTIFICATION OF OBJECTS ON THE BASIS OF THE INTERVAL RELATION

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

The method of a quantitative estimation (quantification) of objects is offered at the task of information about the degree of superiority of one object over another in the form of interval expert estimates. We consider interval estimates the intensity of preferences, set in the form of a system of disjoint intervals. An approach to the aggregation of such information without its preliminary averaging is developed. A numerical example is given.

Keywords: ordering of objects, interval relation, expert estimates.

Введение

На ранней стадии анализа проектов развития сложных систем становиться важным количественно оценить важность альтернативных вариантов их реализации, значимость входящих в систему средств, подсистем и др. Анализ таких задач связан с рассмотрением большого числа технико-экономических, социальных характеристик. К числу таких показателей можно отнести социальную значимость, экологические факторы, объемы необходимых работ, конкурентноспособность, прибыль и др.

Важной задачей при этом является упорядочение объектов по степени их важности-проявления у них желательных свойств. Как правило, эта задача является предварительной, предшествующей проблеме исследования вариантов реализации проектов сложных систем. На этой стадии важно выявить значимые факторы, влияющие на функционирование системы, которые будут фигурировать в математических моделях таких систем. Для лица, принимающего решения, (ЛПР) также может оказаться важным квантификация(количественная оценка) предпочтений одних объектов перед другими. Постановка задачи упорядочения для тернарных отношений была предложена в работе [1]. В этой работе требуется предварительное упорядочение объектов, т. е. задание линейного порядка на их множестве. В некоторых задачах, например, связанных с градостроительной политикой, обеспечением экологической безопасности городских территорий и др., такое предварительное упорядочение объектов по важности является нереализуемой на практике задачей. Это связано, в первую очередь, с несогласованностью некоторых экспертных оценок, обусловленной, в том числе, противоречивостью целей различных групп лиц, связанных с процессом принятия решений (инвесторы, жители городской территории, на которой будет происходить строительство какого-то сооружения, городские власти и др.). Поэтому процесс ранжирования по важности объектов происходит на основе бинарного интервального отношения, характеризуемого, в некоторых случаях, наличием непересекающихся отрезков при оценке предпочтительности пары объектов. Агрегирование мнений экспертов происходит при учете всех связей объектов между собой на основе поиска решения , наиболее согласованного с исходной экспертной информацией, без использования предварительной процедуры усреднения экспертных оценок. Следует заметить, что задача упорядочения объектов на основе интервального бинарного отношения была решена

© Санжапов Р. Б., 2016

в работе [2]. Непосредственное использование этого подхода при анализе отношения, заданного в виде системы непересекающихся отрезков, приведет к использованию метода полного перебора, что даже при размерности задачи (количестве объектов) порядка 20–25 является невыполнимой вычислительной задачей.

1. Задача упорядочения объектов на основе экспертной информации

Методы упорядочения объектов на основе точечных, интервальных, нечетких отношений рассматривают конечное множество объектов $X = \{1,2,\dots,n\}$, множество пар объектов $\mathrm{U} = \{(\mathrm{i},\mathrm{j})|\mathrm{i},\mathrm{j} \in \mathrm{X}\}$. Следует заметить, что на некоторые объекты не сравниваются между собой, т. е. $\mathrm{U} \subseteq \mathrm{X} \times \mathrm{X}$. На множестве пар объектов U задается отношение R. Для этого экспертным путем определяется матрица

$$R = \{r_{i,j}\}, i,j \in X = \{1,2,\dots,n\}. \quad (1)$$

Элементы $r_{i,j}$ характеризуют отношения весов объектов x_i и x_j:

$$r_{i,j} = x_i/x_j\,, i,j, \in X. \quad (2)$$

Сами значения переменных считаются неизвестными. Задача заключается в вычислении вектора весов $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ на основе отношения R. Рассмотрим некоторые понятия, используемые для точечных оценок, которые будут использоваться при обработке экспертных оценок интервального вида. Пусть $r_{i,j} \epsilon R$– точечные оценки, отношение R определено для всех пар объектов, т. е. $U = X \times X$. Исходная информация в этом случае записывается в виде квадратной матрицы размера $n \times n$. Непротиворечивость матрицы парных сравнений можно представить в виде ее сверхтранзитивности [3].

Определение. Матрица T называется сверхтранзитивной, если для любых $i,j,k \in X$ выполняются равенства

$$t_{i,j} = t_{i,k} \cdot t_{k,j}\,. \quad (3)$$

В работе [3] приведено условие для сверхтранзитивной матрицы: если существуют числа $x_i > 0$, полагаемыми равными весам объектов, для которых выполняются равенства (2). Равенства (3) не всегда выполняются при анализе предпочтительности объектов, особенно в условиях неполной информации о свойствах объектов. Следовательно, не существуют веса объектов x_i, удовлетворяющих системе равенств (2). В случаях, когда экспертные оценки являются несогласованными, для ранжирования (определения весов) объектов предлагается использование вместо матрицы R сверхтранзитивной матрицы

$$T = (t_{i,j}), i,j \in X, \quad (4)$$

в каком-то смысле близкой к матрице R.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что непосредственно отношение R(матрица R) не позволяет упорядочить рассматриваемые объекты. В этом случае основная причина– отношение R получено на основе опроса экспертов, и в силу этого, не является транзитивным, т.е. не выполняются равенства (3). При такой постановке задачи коэффициенты важности объектов определяются в результате аппроксимации исходного интервального отношения R. На основе найденной аппроксимирующей сверхтранзитивной матрицы $T = (t_{i,j})$ возможно определение коэффициентов важности объектов, с точностью до положительного множителя, и проведение окончательного их ранжирования.

Задача (2) при точечных оценках(объект i предпочтительней объекта j в $r_{i,j}$ раз) исследовалась в ряде работ. Например, в [4] эта задача была успешно решена при поиске максимального собственного числа матрицы R и определении на этой основе собственного вектора, который при нормировании определяет вектор приоритетов. В других работах понятие близости матрицы парных сравнений к результирующей матрице определяется по разному [5–9].

2. Формулировка задачи

В настоящей работе задача квантификации объектов на основе экспертных оценок, заданных в виде системы отрезков, рассматривается как расширение задачи для интервальных экспертных оценок [2]. Интервальное отношение R для интервальных оценок задается в виде

$$r_{i,j} = [\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}] \subset R_+, (i,j) \subset U \subseteq X \times X. \quad (5)$$

Здесь предполагается, что некоторые пары объектов могут не оцениваться экспертами. Экспертные оценки (5) являются непротиворечивыми, если существует вектор весов объектов $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, для которых справедливы соотношения

$$\alpha_{i,j} \le x_i/x_j \le \beta_{i,j}, \forall (i,j) \in U. \quad (6)$$

Если соотношения (6) выполняются для различных векторов $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, то необходимо выбрать тот вектор, который близок к экспертным оценкам. Для случая интервальных оценок формулируется следующая задача [2]

$$\lambda \to \min, \quad (7)$$

$$\alpha_{i,j}/\lambda \le x_i/x_j \le \beta_{i,j} \cdot \lambda, \forall (i,j) \in U. \quad (8)$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R_+^n, \quad (9)$$

Здесь используется принцип, согласно которому экспертные оценки более достоверны внутри отрезков, чем на их границах. Левые границы при умножении на $1 / \lambda(\lambda < 1)$, равномерно возрастают, а правые, умноженные на $\lambda(\lambda < 1)$, равномерно убывают. Подобный процесс можно продолжать до тех пор, пока существует решение системы (8), (9).

Следует заметить, что при полной согласованности экспертных оценок, когда при каком-то значении $\lambda(\lambda < 1)$, левые и правые границы всех отрезков (8) совпадут и система (8), (9) будет иметь единственное решение. Это решение будет иметь следующий вид

$$c_{i,j} = (\propto_{i,j} \cdot \beta_{i,j})^{1/2}. \quad (10)$$

Полученная таким образом матрица $C = (c_{i,j})$, будет являться сверхтранзитивной.

3. Метод решения задачи упорядочения объектов

Для решения задачи (7)–(9) предложено построение матрицы $A = (a_{i,j})$ [2]. Пусть $i, j \in X$ выбраны произвольным образом, для них возможны три случая:

1) $(i,j), (j,i) \in U = X \times X$, экспертные оценки получены для всех пар объектов;

2)$(i,j) \in U, (j,i) \notin U$, это возможно при неполном экспертном оценивании пары объектов;

3) $(i,j) \notin U, (j,i) \notin U$, в этом случае не произведена оценка предпочтительности двух объектов i и j. Например, они имеют различные характеристики, и в силу этого несравнимы.

В соответствии с этими случаями проведем вычисления:

1) $a_{i,j} = \max\left(\alpha_{i,j}, 1/\beta_{j,i}\right)$, $a_{j,i} = \max\left(\alpha_{j,i}, 1/\beta_{i,j}\right)$. Отрезок в этом случае может сузиться;

2) $a_{i,j} = \propto_{i,j}, a_{j,i} = 1 / \beta_{i,j}$. Экспертная оценка для (j,i) доопределяется таким образом, чтобы она была согласована с оценкой для (i,j);

3) $a_{i,j} = a_{j,i} = 0$, объекты i и j не сравниваются между собой.

Для случая 1 возможна противоречивость, когда для некоторых $(i,j), (j,i) \in U$ выполняются соотношения

$$1/\alpha_{j,i} < \alpha_{i,j} \quad (11)$$

или

$$1/\beta_{j,i} > \beta_{i,j}. \quad (12)$$

Несогласованность экспертных оценок, описываемая неравенствами (11) или (12), в работе [2] не исследовалась. Подобная ситуация может иметь место при проведении экспертизы двумя группами лиц, придерживающихся противоположных точек зрения на исследуемую проблему. В этом случае будем рассматривать экспертные оценки в виде

$$r_{i,j} = [\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}] \cup [\gamma_{i,j}, \delta_{i,j}] \subset R_+, (i,j) \subset U \subseteq X \times X, \quad (13)$$

причем

$$[\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}] \cap [\gamma_{i,j}, \delta_{i,j}] = \emptyset, (i,j) \subset U \subseteq X \times X. \quad (14)$$

Для экспертных оценок, не удовлетворяющих (13), (14), элементы матрицы $A = (a_{i,j})$ вычисляются согласно одному из трех случаев, описанных выше. Для пар объектов, экспертные оценки которых подчиняются (13), (14), вычисления производятся следующим образом. Вычислим эти элементы как $a_{i,j} = \propto_{i,j}, a_{j,i} = 1 / \beta_{i,j}$. Далее введем матрицу $B = (b_{i,j})$, для этих пар элементов определим $b_{i,j} = \gamma_{i,j}, b_{j,i} = 1 / \delta_{i,j}$. Для экспертных оценок, не удовлетворяющих (13), (14), положим $b_{i,j} = a_{i,j}$.

Для более общего случая задания экспертных оценок, подчиняющихся (13) и (14), элементы матрицы $A = (a_{i,j})$ вычисляются на основе информации об отрезках $[\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}]$, элементы матрицы $B = (b_{i,j}) - [\gamma_{i,j}, \delta_{i,j}]$, согласно исследованным выше трем случаям. Таким образом, в дальнейшем $U = X \times X$. Следует заметить, что рассматриваемый в статье случай для двух отрезков не является ограничительным. Излагаемый ниже метод позволит рассматривать любую систему отрезков для представления экспертной информации. С учетом сделанных замечаний, ограничения для x_i/x_j, аналогично (8), запишутся как

$$a_{i,j}/\lambda \le x_i/x_j \le \lambda/a_{j,i} \cup b_{i,j}/\lambda \le x_i/x_j \le \lambda/b_{j,i}, (i,j) \in U. \quad (15)$$

Непосредственно использовать результаты работы [2] для решения задачи (7), (9), (15) не представляется возможным из-за сложностей вычислительного характера.

Для численной реализации алгоритма будем осуществлять поиск решений в окрестностях точек $c_{i,j} = (a_{i,j} / a_{j,i})^{1/2}$ и $d_{i,j} = (b_{i,j} / b_{j,i})^{1/2}$. Тогда ограничения (15) запишутся в виде

$$c_{i,j}/\lambda \le t_{i,j} \le \lambda/c_{j,i} \cup d_{i,j}/\lambda \le t_{i,j} \le \lambda/d_{j,i}, (i,j) \in U, \quad (16)$$

$$\lambda \ge 1. \quad (17)$$

Вид ограничений (16) позволит рассматривать элементы $t_{i,j}$ при $j > i, i, j \in X$. Процедура поиска сверхтранзитивной матрицы $T = (t_{i,j})$, максимально согласованной с экспертными оценками основывается на подходе [10, 11]. Каждая сверхтранзитивная матрица определяется любым своим столбцом(строкой). Используя соотношения (16), будем рассматривать элементы сверхтранзитивной матрицы $T = (t_{i,j})$, для которых выполняется условие $i < j, i, j \in X$. Для фиксированного значения $\lambda \geq 1$ определим допустимые значения $t_{1,2}$ (удовлетворяющие (16)). Далее, при допустимом значении элемента $t_{2,3}$ и использовании соотношений (3) вычисляется допустимое множество столбцов $\{(t_{1,3}, t_{2,3}, 1)^T\}$(T – знак транспонирования). Продолжая процесс вычислений аналогичным образом, определим множество столбцов с номером n: $\{(t_{1,n}, t_{2,n}, \dots, t_{n-1,n}, 1)^T\}$.

Схема вычислений для решения задачи (7), (9), (16), (17) предполагает увеличение значения $\lambda = 1$ до тех пор, пока не будет получено решение (16) для $T = (t_{i,j)}$. Обозначим такое значение λ как λ_0. Из полученного таким образом множества сверхтранзитивных матриц выбираются те, для элементов которых выполняются соотношения: $t_{i,j}$ принадлежит левой (правой) границе одного из соответствующих отрезков (16), а $t_{i,k}, t_{k,j}$ – правым(левым) границам одновременно. Если сформулированное условие выполняется для нескольких отрезков, характеризующих интенсивность предпочтений для какой-то пары объектов, то они разделяют множество матриц на непересекающиеся классы, которые в дальнейшем рассматриваются независимо друг от друга. Для интервальных экспертных оценок эти элементы будут единственными на соответствующих отрезках. Определенные таким образом элементы в дальнейшем считаются константами, которые можно считать как левыми, так и правыми границами соответствующих экспертных оценок. Процесс вычислений продолжается аналогичным образом до тех пор, пока не будут определены все элементы матриц(единственной матрицы для интервальных оценок). Соответствующая последовательность значений λ подчиняется условию $\lambda_0 > \lambda_1 > \dots > \lambda_l$.

4. Пример расчета

В работе [4] приведен пример описания расстояний от Филадельфии до шести городов. Эксперты определяли диапазон изменений элементов матрицы парных сравнений s_i/s_j, где s_i, s_j – расстояния от Филадельфии до городов i и j соответственно. В приведенной ниже таблице помещена информация, заданная в виде системы интервальных экспертных оценок (в [4] приведены точечные оценки). Там же находятся нормализованные отношения фактических расстояний и рассчитанный по разработанному методу вектор приоритетов. На первом этапе было определено значение $\lambda_0 = 1{,}37$. При этом значении были вычислены значения сверхтранзитивной матрицы $T = (t_{i,j})$: $t_{2,5} = 2{,}0646$; $t_{2,6} = 30{,}1293$; $t_{5,6} = 14{,}5985$. Следующее значение $\lambda_1 = 1{,}2388$, при нем были определены $t_{1,5} = 1{,}427$; $t_{1,6} = 20{,}8321$. При $\lambda_2 = 1{,}1649$ – $t_{1,4} = 2{,}3509$; $t_{2,4} = 3{,}401$; $t_{4,5} = 0{,}607$; $t_{4,6} = 8{,}8615$. Далее, $\lambda_3 = 1{,}1437$, при этом значении вычислено значение $t_{1,2} = 0{,}6912$. Последнее значение $\lambda_4 = 1{,}1164$, оставшиеся элементы при нем вычислены как $t_{1,3} = 9{,}3861$; $t_{2,3} = 13{,}5787$; $t_{3,4} = 0{,}2504$; $t_{3,5} = 0{,}152$; $t_{3,6} = 2{,}2192$.

Сравнение	Каир	Токио	Чикаго	Сан-Франциско	Лондон	Монреаль
Каир	1	[0,5;1,25] ∪[2;3]	[5;10] ∪[12,15]	[1,5;5]∪ [8,10]	[1,25;2,5] ∪[5;6]	[2;5] ∪ [10;20]
Токио	[0,33;0,5] ∪ [0,8;2]	1	[10;20] ∪[25;30]	[2;5] ∪ [6;7]	[2;4] ∪ [5;10]	[10;12] ∪ [15;25]
Чикаго	[0,07,0,83] ∪ [0,1;0,2]	[0,03;0,04] ∪ [0,05;0,1]	1	[0,1;0,5] ∪ [0,75;0,8]	[0,1;0,25] ∪[0,67;0,5]	[1;2,5] ∪ [4;5]
Сан-Франциско	[0,125;0,1] ∪ [0,2;0,67]	[0,14;0,17] ∪ [0,2;0,5]	[1,25;1,33] ∪ [2;10]	1	[0,5;1] ∪ [1,25;2]	[2;5] ∪ [6;10]
Лондон	[0,17;0,2] ∪ [0,4;0,8]	[0,1;0,2] ∪ [0,25;0,5]	[2;3] ∪ [4;10]	[0,5;0,8] ∪ [1;2]	1	[4;10] ∪ [11;15]

Окончание таблицы

Сравнение	Каир	Токио	Чикаго	Сан-Франциско	Лондон	Монреаль
Монреаль	[0,05;0,1] ∪ [0,2;0,5]	[0,04;0,67] ∪ [0,05;0,1]	[0,2;0,25] ∪ [0,4;1]	[0,1;0,17] ∪[0,2;0,5]	[0,91;0,067] ∪ [0,1;0,25]	1
Нормализованное расстояние	0,278	0,361	0,032	0,132	0,177	0,019
Вектор приоритетов	0,2683	0,3881	0,0286	0,1141	0,1880	0,0129

Заключение

Исследования различного рода процессов в экологической, экономической, технической сфере используют, как правило, суждения специалистов в данной предметной области – экспертов. Разработанный метод обработки такой информации эффективен на стадии экспресс-анализа этих процессов (оценка значимости проекта, средств достижения цели и др.). В условиях неполноты информации или качественного ее описания необходимо решить важную задачу квантификации (количественной оценки) исследуемых объектов. Предложенный подход к определению весов объектов позволит агрегировать интервальные оценки, заданные в виде системы непересекающихся отрезков, характерные, в том числе, для несогласованных экспертных мнений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шахнов, И. Ф.* Применение метода тернарных сравнений в задачах квантификации // Автоматика и телемеханика. 2005. Вып. 7. С. 154–163.

2. *Макеев, С.П., Шахнов И.Ф.* Упорядочение объектов в иерархических системах // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1991. № 3. С. 29– 46.

3. *Миркин, Б.Г.* Проблемы группового выбора. – М.: Наука, 1974. – 256 с.

4. *Саати, Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

5. *Cook, D., Kress, M.* Deriving weights from pairwise comparison ratio matrices: An axiomatic approach // Eur. J. of Operational Research. 1988. V. 37. №3. pp. 355–362.

6. *Chu, A. T. W., Kalaba, R. E., Spingarn, K. A.* A comparison of two methods for determing the weights of belonging to fuzzy sets // J. of Optimization Theory and Applications. 1979. V. 27. pp. 531–538.

7. *Krovalz, J.* Ranking alternatives–comparison of different methods based on binary comparison matrices // Eur. J. of operational Research. 1987. V. 32. pp. 86–95.

8. *Blankmeyer, E.* Approaches to consistency adjustment // J. of Optimization Theory and Applications. 1987 / V. 54. № 3. pp. 479–488.

9. *Санжапов, Б.Х.* Полимодальные экспертные оценки // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 2. С. 213–218.

10. *Санжапов, Б.Х.* Упорядочение объектов в иерархических системах при полимодальных экспертных оценках // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 6. № 6(54). С. 106–109.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.75, 519.876.5

Д. С. Донченко, Д. В. Завьялов

ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ СУБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОГО ГРАФА НА ПРИМЕРЕ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ TWITTER

Волгоградский государственный технический университет

dmitrydonchenko92@gmail.com, sinegordon@gmail.com

В статье проведен анализ подходов к оценке влияния субъектов социального графа. Предложен алгоритм для вычисления влиятельности субъектов социального графа и приведены результаты работы алгоритма на примере социального графа группы пользователей социальной сети Twitter.

Ключевые слова: социальный граф, социальные сети, поиск в ширину, анализ данных.

D. S. Donchenko, D. V. Zavyalov

APPROACHES TO THE MATHEMATICAL ASSESSMENT OF SUBJECTS IN SOCIAL GRAPH ON EXAMPLE OF TWITTER SOCIAL NETWORK

Volgograd State Technical University

The article analyzes the approaches to assessing the impact of the subjects of the social graph. The algorithm for calculating the influence of subjects of the social graph and the results of the algorithm on an example of the social graph group of users of social network Twitter.

Keywords: social graph, social networks, breadth-first search, data analysis.

Популярные социальные сети (Facebook, Twitter, VK и др.) за годы своего существования сумели стать важной частью нашего общества и превратились в мощный политический, экономический и социальный инструмент. В качестве модели социальной сети используется социальный граф. Под социальным графом понимают граф, вершинами которого являются социальные объекты, в качестве которых могут выступать пользовательские профили, имеющие всевозможные атрибуты (такие, как имя, город проживания, дата рождения и т. д.), сообщества пользователей, медиа-контент (выложенные пользователями социальных сетей фотографии, видеозаписи, текстовые материалы и т. п.), а ребрами – отношения(социальные связи) между пользователями. Актуальной задачей является выявление наиболее влиятельных пользователей социальных сетей.

Однако, для ответа на вопрос о том, как следует определять наиболее влиятельных пользователей социальных сетей, сначала следует определиться с самим понятием влияния. Чем влиятельнее пользователь социальной сети, тем в большей степени он определяет мнения других пользователей. Кроме того, влиятельность пользователя в значительной степени определяет возможность распространения этим пользователем определенной информации и количество аудитории, которое он способен охватить. Социальное влияние проявляется, когда человек приспосабливает свое поведение, отношение и мнение к определенным явлениям к поведению и отношениям других людей в социальной системе [1]. Влияние людей в обществе друг на друга было темой множества маркетинговых исследований начиная с 1960-х годов. Влияние не обязательно предполагает прямое взаимодействие между двумя людьми и, скорее, определяется на основе информации о других людях [2]. В онлайн-сообществах информация передается между пользователями сообществ в форме цифрового контента. Таким образом, мы можем сделать вывод о типе социального влияния, характерном для социальных сетей: мерой влиятельности пользователя социальной сети является количество пользователей, которые меняют свое поведение в социаль-

© Донченко Д. С., Завьялов Д. В., 2016

ной сети в ответ на изменения в поведении данного пользователя, а также частота, с которой они это делают.

В данной работе мы будем рассматривать в качестве модели социальной сети социальный граф, вершинами которого являются пользователи данной социальной сети, а ребрами – социальные связи между ними, выраженные в виде различных в зависимости от социальной сети способов взаимодействия между пользователями(примером таких взаимодействий для социальной сети Twitter служат репосты сообщений, размещаемых другими пользователями). Ребра социального графа являются ориентированными. Вес ребер характеризует интенсивность социальных связей между пользователями.

В качестве примера рассмотрим социальный граф, состоящий из двух вершин A и B, каждая из которых является представлением некоторых пользователей социальной сети. Факт взаимодействия пользователя A с профилем пользователя B или с предоставленным им цифровым контентом означает изменение в поведении пользователя A, следовательно, можно говорить о том, что пользователь B оказывает влияние на пользователя A. В модели социального графа это будет означать, что вершины графа, представляющие пользователей A и B, связаны ребром B->A, вес которого определяет силу влияния пользователя B на пользователя A.

Как уже было сказано, зачастую влияние не требует прямого взаимодействия между субъектами социального графа. Таким образом, при создании алгоритма для определения влиятельности субъекта социального графа важно учесть не только его прямые связи с другими субъектами, но также и интенсивность социальных взаимодействий субъектов, с которыми он связан, с другими.

Также при определении влиятельности субъектов социального графа следует учитывать актуальность совершенных социальных взаимодействий. В настоящее время большинство исследований рассматривают влияние на основе статических атрибутов, таких, как количество друзей/фолловеров в социальной сети, количество отправленных твитов/полученных ретвитов, упоминания/ответы в графе деятельности. Все данные исследования делают неявные предположения о лежащем в основе динамическом процессе, в котором пользователи социальной сети могут влиять только на своих друзей/фолловеров, с равной степенью влияния и одинаковой скоростью распространения; в других, влияние предполагается принять за «случайное блуждание» на соответствующей статической сети [4]. В соответствии с теорией диффузии, информационные каскады исходят от общественных лидеров к их последователям. В большинство моделей диффузии, распространители имеют определенные вероятности оказать влияние на своих последователей, которые, в свою очередь, также имеют определенный порог, при котором они поддаются влиянию. Главной целью большинства диффузионных моделей является нахождение общественных лидеров, имеющих наибольшее влияние на своих последователей. Данные методы являются основой для т. н. вирусного маркетинга, целью которого является активация цепной реакции влияния и, таким образом, охват наибольшей аудитории при минимальной цене [5].

Резюмируя данные критерии, можно сказать, что задача вычисления влиятельности субъектов социального графа делится на два этапа. На первом этапе необходимо определить веса ребер социального графах [7]. Для этого необходимо не только произвести вычисления интенсивности социальных связей между соединяемыми ими вершинами, но также и учесть, насколько актуальными по времени и постоянными были данные взаимодействия, и на основе этого вычислить вероятность появления таких взаимодействий в будущем. Таким образом, после первого этапа мы получим социальный граф, вершины которого соединены направленными ребрами, каждое из которых имеет вес, определяющий степень влияния одной вершины на другую. На втором этапе необходимо произвести вычисление весов вершин графа, которые являются мерой влиятельности данных вершин в рамках всей системы. При этом, вес каждой вершины необходимо вычислять не только на основании весов исходящих из нее ребер, но также учитывая веса ребер, исходящих из вершин, связанных с «последователями» исходной вершины. При этом, сумма весов исходящих ребер вершин, связанных с «последователями» исходной вершины, в меньшей степени влияет на влияние, оказываемое исходной вершиной в рамках всей системы. Таким образом, предлагаемый алгоритм также должен учитывать фактор «затухания», который будет определять коэффициент для вычисления сумм весов ребер вершин, не состоящих в прямой связи с исходной.

Данные требования к алгоритму позволяют провести его параллель с известным алгоритмом PageRank. В PageRank также учитывается фактор «затухания» (Damping factor). PageRank предполагает существование «случайного посетителя» (random surfer), который оказался на определенной веб-странице и случайным образом переходит по ссылкам, расположенным на этой странице. Damping factor является вероятностью того, что случайному посетителю в определенный момент станет скучно, и он перейдет на другую веб-страницу. В различных исследованиях были протестированы различные значения Damping factor, но в большинстве случаев на практике значение этого фактора устанавливают около 0.85 [6].

В данном исследовании мы полагаем, что эффект затухания определяется как мера уменьшения влияния субъекта социального графа по отношению к субъектам, который не состоят с ним в прямых связях, но имеют общих знакомых, с которыми активно взаимодействуют. Предположим существование случайного пользователя социальной сети Twitter, который, оказавшись на некоторой странице профиля другого пользователя социальной сети, случайным образом выбирает страницы профилей пользователей, репост записей которых произвел текущий пользователь. Таким образом, эффект затухания – вероятность того, что случайный пользователь выберет перейдет на другой случайно выбранный профиль. По аналогии с алгоритмом PageRank возьмем данный эффект равным 0.85. Приведем составленный с использованием данных критериев алгоритм для вычисления весов вершин социального графа:

$$Wn = d^1 \sum_{i=1}^{i=N_1} We_i + d^2 \sum_{i=1}^{i=N_2} We_i + \ldots + d^{Cmax} \sum_{i=1}^{i=N_{Cmax}} We_i, \quad (1)$$

где C – количество ребер между узлами (степень удаления узла); Cmax – максимальная степень удаления узла; *Nc* – количество ребер, идущих из узла степени C; *Wn* – вес узла; We_k – вес ребра; *d* – коэффициент затухания, равный 0.85; *k* – порядковый номер ребра (из общего числа *Nc*).

Для обхода графа используется алгоритм поиска в ширину. Структурой данных для хранения графа был выбран список смежных вершин, так как данная структура, в отличие от матрицы смежности, значительно снижает затраты по памяти при выполнении алгоритма. Сложность алгоритма для каждой вершины в графе, таким образом, составляет $O(N+M)$, где N – число вершин графа; M – число ребер.

Таким образом, можно вычислить сложность алгоритма для всех вершин графа:

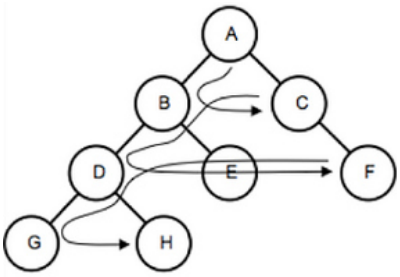
$$N * \sum_{i=0}^{i=N} N + Mi\ , \quad (2)$$

где N – число вершин графа; i – номер вершины; Mi – количество ребер, исходящих из i-й вершины.

Вследствие этого, при большом количестве вершин графа вычислительная сложность алгоритма будет достаточно высокой. При этом, так как алгоритм поиска в ширину является достаточно быстрым, исполняющимся за линейное время алгоритмом, если граф хранится как список смежных вершин, наилучшим решением для уменьшения времени вычисления алгоритма является его распараллеливание.

В результате этот алгоритм вычисляет вес каждой вершины графа, который является мерой измерения влияния пользователя, представленного данной вершиной. При этом, алгоритм учитывает не только влияние пользователя на пользователей, являющихся его друзьями, но также, в свою очередь, влияние этих пользователей на своих друзей и т. д.

Рассмотрим пример обхода графа в ширину с применением данного алгоритма:



Пример графа с указанием социальных связей

Обход изображенного на рисунке графа для вершины A:

1. A – стартовая вершина графа (узел с инфомормацией о пользователе социальной сети)

2. Завести переменную – вес вершины A, задать ей значение, равное нулю

3. Посетить вершины, непосредственно соединенные с вершиной A.

4. Прибавить к весу вершины A сумму весов всех ребер, исходящих из вершин, которые с ней соединены(в данном примере этими ребрами являются AB и AC), деленную на порядок удаленности этих вершины от стартовой вер-

шины графа. Вершины связаны с вершиной A непосредственно, поэтому порядок удаленности равен единице.

5. Посетить вершины, которые соединены с вершиной B(вершины D и E)

6. Прибавить к весу вершины A сумму весов всех ребер, исходящих из вершины B, (в данном примере этими ребрами являются BD и BE), деленную на порядок удаленности, равный двум для этих вершин.

7. Посетить вершину, которая соединена с вершиной C (эта вершина – F).

8. Прибавить к весу вершины A сумму весов всех ребер, исходящих из вершины C (ребро CF), деленную на порядок удаленности, равный 2 для этой вершины.

9. Посетить вершины, связанные с вершиной D(этими вершинами являются вершины G и H).

10. Прибавить к весу вершины A сумму весов всех ребер, исходящих из вершины D, (ребра DG и DH), деленную на порядок удаленности, равный 3 для этих вершин.

В качестве примера для тестирования данного подхода была использована социальная сеть Twitter. В качестве метрики для вычисления весов ребер было выбрано количество репостов, осуществленное пользователями данной социальной сети. Для построения социального графа было использовано API социальной сети Twitter.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Leenders, Roger Th. A. J.* Modeling Social Influence Through Network Autocorrelation: Constructing the Weight Matrix // Social Networks, Vol. 24(1), 21–48 (2002).

2. *Robins, G.* Models for Social Influence Processes / G. Robins, P. Pattison, P. Elliot // Psychometrika, 66(2), 161–90 (2001).

3. *Trusov, M.* Determining influental users in Internet social networks / M. Trusov, A. Bodapati, R. Bucklin // Journal of Marketing Research Vol. XLVII(August 2010), 643–658.

4. *Rogers, E.M.* Diffusion of Innovations // Free Press, Vol. 27 (2003), 127–129.

5. *Jingxuan, L. Wei, P. Tao, L. and Tong, S.* (2013) Social Network User Influence Dynamics Prediction, APWeb 2013, LNCS 7808, pp. 310–322: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2013.

6. Sergey Brin and Lawrence Page: The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine, Computer Science Department, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA.

7. *Укустов, С. С., Кравец, А. Г.* Подход к решению задачи идентификации влиятельных разработчиков в социальной сети ГИТХАБ // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 15. № 15(102). С. 61–66.

8. *Кравец, А. Г., Ле Суан Куен.* Протокол для сохранения конфиденциальности профиля в социальных сетях // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 22. № 25(152).

УДК 656.13.052:004

М. Н. Дятлов[1], О. А. Шабалина[1] , Ю. Я. Комаров[1], Р. А. Кудрин[2]

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ СТЕПЕНИ РАЗВИТИЯ СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВОДИТЕЛЕЙ

[1]Волгоградский государственный технический университет
[2] Волгоградский государственный медицинский университет
makdyatlov@yandex.ru, o.a.shabalina@gmail.com

В статье рассмотрены основные требования, которые предъявляются в настоящее время к будущим водителям пассажирского автотранспорта на этапе профессионального отбора в России. Выделены наиболее значимые профессиональные качества водителей. Разработаны имитационные тестовые задания для аппаратно-программного комплекса диагностики психофизиологических качеств на этапе профессионального отбора водителей.

Ключевые слова: водитель пассажирского автотранспорта, профессионально-важное качество, имитационное тестовое задание, психофизиологическое качество, диагностика сенсомоторных качеств.

M. N. Dyatlov[1], O. A. Shabalina[1], Yu. Ya. Komarov[1], R. A. Kudrin[2]

DEVELOPMENT OF TEST TASKS FOR COMPUTER DIAGNOSTICS DEGREE OF DEVELOPMENT OF THE SENSOMOTOR REACTIONS TAKING INTO ACCOUNT FEATURES OF DRIVERS PROFESSIONAL PERFORMANCE

[1]Volgograd State Technical University
[2] Volgograd State Medical University

The paper considers basic requirements for professional driver's license applicants in Russia. The most significant driver professional qualities are distinguished. A set of tests for hardware-software complex for psychophysiological qualities diagnostics is developed.

Keywords: passenger vehicle driver, professionaly important skills, simulation test, psychophysiological feature, sensorimotor skills diagnostics.

© Дятлов М. Н., Шабалина О. А., Комаров Ю. Я., Кудрин Р. А., 2016

Введение

При выборе профессии надо руководствоваться не только желанием работать именно в этой профессиональной области, зная ее общую характеристику, но и соответствием собственных психофизиологических и личностных качеств требованиям трудовой деятельности.

В проведенных исследованиях [1] было показано, что имеются два типа профессий, предъявляющих различные требования к людям, вступающим в них. Первый тип – это профессии с выборочно направленными требованиями к определенным природным данным. Другие профессии такого рода требований не предъявляют, то есть считается, что каждый человек может трудиться в этих профессиях, получая удовлетворение от своего труда и добиваясь общественно необходимой эффективности.

К первому типу принято относить профессии, в которых создаются экстренные ситуации, угрожающие большими материальными потерями и создающие опасность для людей. К специалистам этих профессий необходимо предъявлять высокие требования к свойствам высшей нервной деятельности, лабильности двигательного анализатора, скорости и точности трудовых действий. Для того чтобы успешно трудиться, имея такую профессию, нужно обладать комплексом определенных качеств. Для отбора претендентов на такие профессии используются различные тестовые методики и аппаратно-программные диагностические комплексы.

Профессию водителя пассажирского и грузового автотранспорта в Российской Федерации (РФ) принято относить к первому типу профессий. Однако в настоящее время в РФ пригодность к водительской профессии определяется только по медицинским показателям. К данной профессии считается пригодным любой человек без значительных психических отклонений и с достаточным развитием функций зрительной и слуховой сенсорных систем.

Но целый ряд исследований, проведенных отечественными и иностранными специалистами в области гигиены, физиологии, психологии труда и состояния здоровья водителей автомобилей показывает, что эффективно и безопасно управлять автотранспортными средствами может человек, психофизиологические качества которого соответствуют данной водительской специальности [2–4]. Однако большинство существующих тестовых методик и аппаратно-программных комплексов ориентированы на тестирование широкого спектра профессионально важных качеств [14, 15], и не учитывают специфические особенности конкретных профессий и специальностей.

Работа посвящена разработке тестовых заданий для аппаратно-программного комплекса диагностики психофизиологических качеств на этапе профессионального отбора водителей.

1. Особенности проведения профессионального отбора специалистов профессий первого типа

Во многих профессиях первого типа, к которым относятся машинисты железнодорожного транспорта, штурманы морских и речных судов, летчики, операторы в химической и атомной промышленности и других, профессиональный психофизиологический и медицинский отбор являются обязательными составляющими результирующей оценки пригодности специалиста к данному виду деятельности. Соответствие психофизиологических качеств специалиста требованиям профессии повышает их профессиональную надежность и защищает их от профессиональных опасностей.

По мнению отечественных и иностранных специалистов в области гигиены, физиологии, психологии труда и состояния здоровья водителей автомобилей [3–7], возникновение большинства опасных и аварийных ситуаций на дороге было обусловлено обстановкой, предъявляющей к водителю требования, которые превышали его психофизиологические возможности.

Как бы совершенны ни были правила движения, человек за рулем автомобиля нарушает их достаточно часто. Это происходит потому, что психофизиологические возможности водителя ограничены, и в аварийной ситуации он не в состоянии справиться с управлением автомобилем. Именно поэтому человек за рулем зачастую и совершает ошибки, нарушает правила дорожного движения и своими действиями усугубляет аварийную обстановку [2, с. 16].

Эти наблюдения и исследования подтверждаются и статистическим анализом дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием пассажирского транспорта на территории Центрального района города Волгограда. Было показано, что основными виновниками ДТП являются водители маршрутных коммерческих транспортных средств [8].

Водительские профессии предъявляют требования к таким профессиональным качествам как внимание, мышление, память, быстрота ре-

акции, острота зрения, цветовое зрение, эмоциональная устойчивость и многим другим психофизиологическим и личностным качествам [2–7].

Некоторые из перечисленных качеств развиваются в процессе профессиональной деятельности. Однако уровень развития этих качеств у различных людей далеко не одинаков. Недостаточный степень выраженности одного или нескольких профессионально важных качеств неблагоприятно влияет на эффективность трудовой деятельности.

В нашей стране методики профессионального психофизиологического отбора применяются для специалистов операторских профессий (машинистов пассажирских поездов, летчиков и диспетчеров гражданской авиации, операторов атомных станций и химических производств) и сотрудников силовых структур (вооруженные силы, полиция). Во всех этих профессиях роль человеческого фактора значительно влияет на успешность деятельности, так же как и в случае водителей пассажирских автотранспортных средств [9]. На этапе профессионального отбора операторов различных профессий применяются многофункциональные аппаратные комплексы, например аппаратно-программный психодиагностический комплекс УПДК-МК для профессионального психофизиологического отбора работников локомотивных бригад, диспетчеров для предприятий железнодорожного транспорта [14]. Для профессионального отбора в структуры органов внутренних дел и в Вооруженные Силы РФ применяются как бланковые тестовые психологические методики, так и программные психофизиологические комплексы, например, аппаратно-программный психодиагностический комплекс «Мультипсихометр» (для МВД) [15].

2. Определение наиболее значимых профессиональных качеств водителя

Для составления перечня качеств, которые необходимы специалистам операторских профессий для эффективного выполнения своих профессиональных обязанностей, была разработана опросная анкета для экспертных оценок профессионально-важных качеств (ПВК) водителей пассажирского автотранспорта. Каждое ПВК было включено в предлагаемый перечень на основе анализа доступных литературных источников и нормативной документации, рассматривающих особенности профессиональной деятельности специалистов операторского труда [10]. Опросная анкета включала в себя перечень из 55 качеств (фрагмент анкеты приведен в приложении), которые должны были оцениваться по 10-балльной системе экспертами по степени важности (10 баллов – наибольшая степень важности качества).

На следующем этапе проводился опрос экспертов. Были сформированы две группы экспертов: группа специалистов в области психологии и физиологии и группа специалистов в области автомобильного транспорта. В первую группу входили преподаватели и студенты старших курсов лечебного факультета ВолгГМУ в количестве 23 человек и студенты старших курсов, обучающиеся по направлению «Клиническая психология» – 20 человек.

Вторую группу экспертов составляли профессиональные водители и специалисты, работающие в сфере подготовки водителей (19 водителей со стажем не менее 3 лет на пассажирских автоперевозках, 5 водителей «скорой помощи» с водительским стажем более 20 лет и 10 преподавателей и учебных мастеров автошколы ДОСААФ).

Для получения обобщенных оценок экспертов в результирующую таблицу были включены 20 наиболее важных качеств, отобранных специалистами в области психологии и физиологии, и 20 качеств, которые получили наивысшие оценки по мнению специалистов в области автомобильного транспорта (табл. 1).

По результатам оценки 77 экспертами 24 наиболее важных качеств из перечня, представленного в анкете, проверялась согласованность показаний экспертов двух групп с помощью коэффициента конкордации Кендэлла по расчетной методике [11].

В результате экспертных оценок было выявлено, что наибольший средний балл имеют ПВК из группы свойств высшей нервной деятельности (9,38 баллов), а профессионально-важные качества из групп сенсомоторных реакций и свойства зрительного и вестибулярного анализаторов представлены в рейтинге важности в наибольшем количестве (по 7 в каждой из этих психофизиологических систем).

Таким образом, для водителей пассажирского автотранспорта высокая степень развития психофизиологических качеств из групп сенсомоторных реакций, свойств высшей нервной деятельности, эмоционального интеллекта и зрительного и вестибулярного анализаторов является, по мнению коллектива экспертов, необходимой составляющей для эффективной и надежной профессиональной деятельности.

Таблица 1

Наиболее важные профессиональные качества водителей пассажирского автотранспорта, выявленные методом экспертных групп

Профессионально-важные качества	Ведущая психофизиологическая система	Значимость для профессии, баллы (0–10)		
		Психологи и физиологи	Специалисты автотранспорта	Среднее значение
Реакция на движущийся объект	Сенсомоторные реакции	9,90	9,53	9,72
Точность движений	Сенсомоторные реакции	9,74	9,49	9,62
Сила нервной системы	Свойства высшей нервной деятельности	9,71	9,49	9,6
Координация движений	Сенсомоторные реакции	9,73	9,26	9,5
Концентрация внимания	Свойства внимания	9,52	9,35	9,44
Уравновешенность нервных процессов	Свойства высшей нервной деятельности	9,64	9,1	9,37
Сложные сенсомоторные реакции	Сенсомоторные реакции	9,61	8,91	9,26
Простая сенсомоторная реакция	Сенсомоторные реакции	9,54	8,84	9,19
Подвижность нервной системы	Свойства высшей нервной деятельности	9,64	8,68	9,16
Эмоциональный интеллект	Свойства эмоционально-волевой и мотивационной сфер	9,41	8,89	9,15
Вестибулярная устойчивость	Свойства зрительного и вестибулярного анализаторов	9,04	9,15	9,10
Оперативное мышление	Свойства мышления	9,11	8,97	9,04
Восприятие движения	Свойства зрительного, двигательного, вестибулярного, слухового анализаторов	9,23	8,79	9,01
Распределение внимания	Свойства внимания	9,12	8,88	9,00
Острота зрения	Свойства зрительного анализатора	9,00	8,93	8,97
Физическая статическая выносливость	Сенсомоторные реакции	8,91	8,93	8,92
Поле обзора	Свойства зрительного анализатора	9,14	8,68	8,91
Гибкость мышления	Свойства мышления	9,01	8,62	8,82
Техническое мышление	Свойства мышления	9,10	8,44	8,77
Восприятие пространства	Свойства зрительного анализатора	9,13	8,29	8,71
Объем внимания	Свойства внимания	9,12	8,26	8,69
Адаптация зрения к свету и темноте	Свойства зрительного анализатора	8,61	8,76	8,69
Оперативное поле зрения	Свойства зрительного анализатора	8,74	8,63	8,69
Физическая динамическая выносливость	Сенсомоторные реакции	8,38	8,78	8,58

3. Разработка тестовых заданий для диагностики степени развития сенсомоторных реакций с учетом особенностей профессиональной деятельности водителей

По мнению коллектива экспертов, наиболее значимым ПВК для управления автотранспортными средствами является реакция на движущийся объект из группы сенсомоторных реакций (РДО) (табл. 1).

РДО – это разновидность сенсомоторной реакции, в которой необходимо совершить движение в определенный момент, который соответствует конкретному положению движущегося объекта. В [12] приведена простейшая модель РДО – остановка на определенной черте движущейся секундной стрелки часов. В результате тренировки это можно сделать почти безошибочно. Однако помимо точных реакций будут и ошибки: преждевременные или запаздывающие реакции. РДО имеет время предшествования, то есть время от начала восприятия движущегося объекта до его остановки. РДО является сложным сенсомоторным навыком, который формируется на основе оценки скорости

движения. Хорошая сенсомоторная реакция – одно из наиболее важных профессиональных качеств для таких специалистов, как, например, оператор сопровождения, водитель, механик-крановщик и представители других операторских профессий.

На базе этой простейшей тестовой модели была разработана и запатентована тестовая методика диагностики РДО [13]. Сенсомоторная реакция оценивается по результатам эксперимента, в котором необходимо остановить перемещающуюся с переменной скоростью стрелку при совпадении ее с перемещающейся с постоянной скоростью меткой на траектории движения стрелки (рис. 1, *а*).

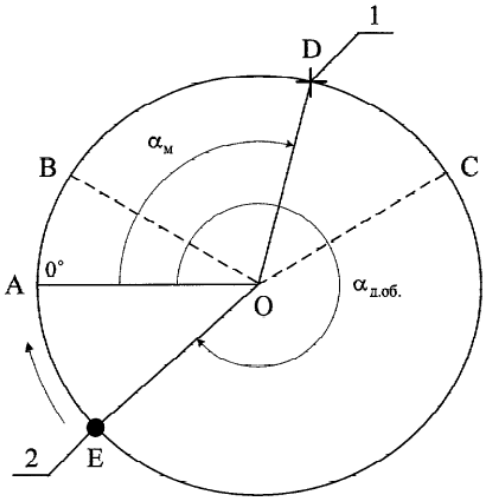


Рис. 1, *а*. Психофизиологический тест для оценки РДО:
1 – метка, расположенная в начальном положении в точке D; *2* – точечный объект, расположенный в начальном положении в точке E; *3* – O — центр окружности; *4* – A – точка нулевого отсчета; *5* – $\alpha_{т.об.}$ — угловое положение точечного объекта 2; *6* – $\alpha_м$ – угол между радиусом, проходящим через нулевую точку отсчета, и радиусом, проходящим через точку D

Пример тестового задания, имитирующего движение автотранспортного средства (рис. 1, *б*):

– движение одностороннее;

– впереди движется другой автомобиль;

– дорога имеет сложный криволинейный характер;

– время проведения теста около 15 минут;

– скорость автобуса регулирует испытуемый при помощи педалей «газ» и «тормоз», приблизительно с 0 до 70 км/ч;

– скорость впереди движущегося транспортного средства меняется в указанных скоростных пределах в произвольном порядке.

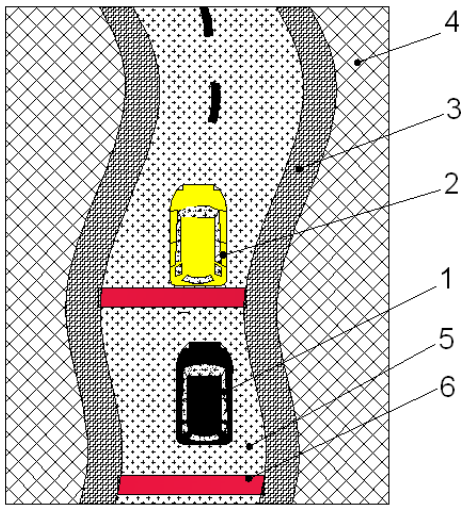


Рис. 1, *б*. Тест для оценки сенсомоторных качеств водителя автотранспорта:
1 – автобус конкурсанта; *2* – движущийся впереди автомобиль; *3* – обочина; *4* – поля и кустарники; *5* – основной контур дорожного полотна; *6* – ограничительные контуры интервалов движения

Задачей испытуемого является управление транспортным средством в продольном и поперечном направлении (оптимальные дистанции движения по отношению к лидеру и ведомому на дорожном полотне и оптимальные расстояния до края проезжей части).

В результате анализа существующих тестов для оценок степени развития сенсомоторных реакций авторами были разработаны тестовые задания для оценки сенсомоторных реакций, в том числе и для диагностики РДО, в условиях, приближенных к деятельности водителей автотранспорта, работающих в условиях крупного города. Предлагаемые тестовые задания ориентированы на использование стационарных или переносных компьютеров с применением игровой приставки водителя (руль, педали, рычаг коробки передач).

Тестовые задания представляют собой имитационные модели опасных дорожно-транспортных ситуаций с оценочной характеристикой степени развития сенсомоторных качеств.

Соответствие разработанного тестового задания и методики диагностики РДО [13] показано в табл. 2.

Таблица 2

Соответствие тестового задания и методики диагностики РДО

Тестовое задание на основе методики диагностики РДО	Тестовое задание с учетом особенностей водительской деятельности
Точка 1 движется с постоянной скоростью	Впереди движущийся автомобиль имеет переменную скорость
Точка 2 движется по окружности с переменной скоростью	Автомобиль конкурсанта движется с переменной скоростью
Необходимо остановить точку 2 при совмещении с движущейся точкой 1	Необходимо сохранение дистанции до впереди движущегося автомобиля, сохраняя необходимые расстояния до границ проезжей части в поперечном направлении движению
Диагностика степени развития РДО для специалистов различных профессий	Диагностика степени развития РДО предпочтительно для водителей автотранспорта

В настоящее время в разработке находится программно-аппаратный диагностический комплекс для оценок степени развития профессиональных качеств будущих водителей, в котором будет реализована предложенная тестовая методика.

Выводы

Предлагаемая тестовая методика, несмотря на некоторую схематизацию и частичное упразднение реальных условий управления автотранспортными средствами, дает возможность выделить в работе водителя моменты, существенные для психофизиологической оценки и характеристики степени развития отдельных индивидуальных ПВК.

Определение ПВК и создание специализированных компьютерных тестов для каждой водительской и операторских специальностей в целом, поможет в дальнейшем повысить диагностическую и прогностическую информативность исследования по оценке профессиональной пригодности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гуревич, К. М.* Дифференциальная психология и психодиагностика. Избранные труды / К. М. Гуревич. – СПб.: Питер, 2008. – 336 с.: ил. – (Серия «Мастера психологии»).

2. *Мишурин, В. М.* Психофизиологические основы труда водителей автомобилей : учеб. пособие / В. М. Мишурин, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов // МАДИ. – М., 1982. – 254 с.

3. *Вайсман, А. И.* Гигиена труда водителей автомобилей / А. И. Вайсман. – М. : Медицина, 1988. – 192 с.

4. *Игнатов, Н. А.* Человек за рулем / Н. А. Игнатов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1976. – 184 с.

5. *Клебельсберг, Д.* Транспортная психология : пер. с нем. / Д. Клебельсберг. – М. : Транспорт, 1989. – 367 с.

6. *Коноплянко, В. И.* Организация и безопасность дорожного движения : учеб. для вузов / В. И. Коноплянко. – М. : Транспорт, 1991. – 183 с.

7. *Котик, М. А.* Природа ошибок человека-оператора (на примерах управления транспортными средствами) / М. А. Котик, А. М. Емельянов. – М. : Транспорт, 1993. – 252 с.

8. *Комаров, Ю. Я.* Повышение уровня безопасности на пассажирском автотранспорте с использованием комплексного подхода к профессиональному отбору водителей / Ю. Я. Комаров, М. Н. Дятлов // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 10. – С. 18–22.

9. Оценка эмоциональной устойчивости операторов по данным спектрального анализа сердечного ритма / Р. А. Кудрин, Е. В. Лифанова, Т. Н. Кочегура, Г. В. Клиточенко, А. С. Фокина, М. Ю. Будников // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия : Медицина. – 2009. – № 4. – С. 424–426.

10. Психофизиологические особенности трудовой деятельности водителей пассажирского автотранспорта / Ю. Я. Комаров, Р. А. Кудрин, Е. В. Лифанова, М. Н. Дятлов // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 11. – С. 7–10.

11. *Клепик, Н. К.* Метод экспертных оценок в задачах организации дорожного движения : учеб. пособие / Н. К. Клепик, А. В. Лемешкин, Н. Н. Калмыкова ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – 84 с.

12. Реакция на движущийся объект (РДО) [Электронный ресурс] URL: http://www.psyoffice.ru/6-896-reakcija-na-dvizhuschiisja-obekt-rdo.htm (дата обращения: 19.02.2016).

13. Патент РФ № 2408265, 10.01.2011.

14. УПДК-МК для профессионального психофизиологического отбора работников локомотивных бригад, диспетчеров [Электронный ресурс] URL: http://www.neurocom.ru/ru2/rail/updk_mk_rail.html (дата обращения: 02.03.2016).

15. Аппаратно-программный психодиагностический комплекс мультипсихометр (для МВД) [Электронный ресурс] URL: http://www.neurocom.ru/ru2/rail/updk_mk_rail.html (дата обращения: 02.03.2016).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОПРОСНАЯ АНКЕТА ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ВАЖНЫХ КАЧЕСТВ ВОДИТЕЛЯ АВТОТРАНСПОРТА (ФРАГМЕНТ)

Вопрос 1:

Какими профессионально-важными качествами (ПВК) должен обладать водитель маршрутного такси, чтобы своевременно и правильно обнаруживать, выделять и воспринимать необходимые сигналы из окружающей обстановки, то есть осуществлять поиск необходимой информации для обеспечения безопасности дорожного движения из многообразного информационного потока? (Каждому качеству из таблицы нужно присвоить балльную оценку степени важности при выполнении данного действия водителя по шкале (0–10)).

ПВК	Степень важности	Содержание качества
Адаптация зрения свету и темноте		Комплекс физиологических процессов, обеспечивающих эффективную работу зрения на ярком свету (дневное зрение), в сумерках (сумеречное зрение), и при очень слабом освещении (ночное зрение)
Острота зрения		Показатель зрения, характеризующий способность различать мелкие детали или минимальное расстояние между двумя точками
Острота слуха		Показатель слуха, характеризующий способность слышать слабый звук или различать минимальное изменение громкости и высоты звука
...		...

Вопрос 2:

Какими профессионально-важными качествами (ПВК) должен обладать водитель маршрутного такси, чтобы переработать поступающую информацию и выбрать оптимальный вариант решения при наличии нескольких возможных способов? (Каждому качеству из таблицы нужно присвоить балльную оценку степени важности при выполнении данного действия водителя по шкале (0–10)).

ПВК	Степень важности	Содержание качества
Физическая динамическая выносливость		Способность человека выполнять длительно силовые упражнения в динамическом режиме работы мышц
Физическая статическая выносливость		Способность человека выполнять длительно силовые упражнения в статическом режиме работы мышц
Вестибулярная устойчивость		Это способность сохранять активную деятельность при раздражении вестибулярного аппарата — анализатора, воспринимающего изменения положения головы и тела в пространстве и направление движения тела
...		...

Вопрос 3:

Какими профессионально-важными качествами (ПВК) должен обладать водитель маршрутного такси, чтобы быстро выполнить поисковую и исполнительную фазы рабочих движений органами управления транспортного средства, а также, контролировать результаты своих управляющих действий? (Каждому качеству из таблицы нужно присвоить балльную оценку степени важности при выполнении данного действия водителя по шкале (0–10)).

ПВК	Степень важности	Содержание качества
Максимальная мышечная сила		Максимальная сила проявляется в процессе преодоления максимального и субмаксимального сопротивления в относительно медленных движениях
Динамическая сила человека		Сила, проявляющаяся при движениях
Статическая сила человека		Сила, проявляющаяся при изотермическом (сокращение мышц при постоянном напряжении или внешней нагрузке) напряжении мышц
...		...

Вопрос 4:

Какие профессионально-важные качества (ПВК), по вашему мнению, являются необходимыми водителям маршрутных такси, но не были указаны в общем перечне качеств? Напишите, пожалуйста, эти качества и дайте краткое пояснение их влияния на повышение качества автомобильных перевозок и снижения аварийности. (Эксперт должен указать недостающие, по его мнению, профессионально-важные качества и дать краткое обоснование влияния их на повышение безопасности дорожного движения).

УДК 504.064.2.001.18, 519.816

Б. Х. Санжапов, А. А. Синицын, Н. М. Рашевский

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДА

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

sbkh@mail.ru, sinicin2008@gmail.com, rashevsky.n@gmail.com

В статье рассмотрены подходы к представлению данных экологического мониторинга атмосферного воздуха, используемые за рубежом и в России. Авторами произведен сравнительный анализ представления данных на зарубежных и отечественных интернет-ресурсах экологического мониторинга. В статье рассмотрены проблемы представления данных экологического мониторинга в России, а также приводятся решения, которые необходимо принять для увеличения эффективности использования данных в моделях и системах поддержки принятия решений.

Ключевые слова: экологический мониторинг, системный анализ, представление данных, системы поддержки принятия решений.

B. Kh. Sanzhapov, A. A. Sinitsyn, N. M. Rashevskiy

REPRESENTATION OF RESULTS OF ATMOSPHERIC AIR MONITORING IN DECISION SUPPORT SYSTEM WHILE ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE CITY

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

Approaches to view of data environmental air monitoring used abroad and in Russia are described in this paper. Comparative analysis of the data representation to foreign and russian web resources for environmental monitoring is performed by authors. Problems of representation of environmental monitoring data in Russia, as well as solutions are to be taken to increase the efficiency of use of the data models and decision support systems are discussed in this paper.

Keywords: environmental monitoring, system analysis, data representation, decision support systems.

Введение

Для решения различных задач в области обеспечения экологической безопасности населения, необходимо использовать информационные системы моделирования процессов загрязнения окружающей среды, в том числе, системы моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосфере города.

Существующие системы можно разделить на два класса:

– позволяющие спрогнозировать худший сценарий;

– позволяющие получить точную оценку на различных участках исследуемой области.

Для реализации первого класса систем необходим минимальный объем данных, например, масса вредного вещества, выбрасываемого в единицу времени; различные коэффициенты, которые выбираются в зависимости от рельефа местности, метеорологических, климатических показателей и др.

Для реализации второго класса систем требуется большой объем данных о показателях загрязнения воздуха, метеорологических показателей и др. Этот набор данных состоит из текущих и архивных значений показателей, получаемых со стационарных и передвижных постов экологического мониторинга, метеорологических станций, проб и результатов анализов проводимых лабораториями государственных и частных организаций. Для качественной работы ученых, ведущих исследования в области прогнозирования и моделирования, включающих различные ситуации состояний атмосферного воздуха (например, при анализе безопасности транспортной системы города [1]), необходим доступ к этим данным, особенно если используются: технологии больших данных, проводятся вычислительные эксперименты и т.д. В данной статье рассматриваются подходы к представлению данных экологического мониторинга за рубежом и в России.

Организация доступа к архивным данным о состоянии атмосферного воздуха за рубежом

За рубежом во многих крупных городах имеется информационный веб-ресурс [2,3,4,5], который содержит различную информацию о загрязнении атмосферного воздуха, при этом

© Санжапов Б. Х., Синицын А. А., Рашевский Н. М., 2016

для различных групп целевых аудиторий предоставляется разная информация, интересующая конкретную группу. Данные веб-ресурсы, обычно, обслуживаются государственными комитетами экологии данного региона.

В зависимости от целевой группы пользователей используются различные способы представления данных:

– графический. Для различных категорий пользователей, в зависимости от их цели посещения ресурса, предоставляются карты местности с нанесением определенной информации, графики, диаграммы и т. д.;

– архивы файлов. Различная информация (о загрязнении атмосферного воздуха, метеорологическая и др.), доступна для загрузки в архивированных файлах;

– архивные данные в специализированных форматах. Которые используются в различных системах и моделях.

Многие национальные агентства по защите окружающей среды предоставляют открытый и бесплатный доступ ко многим видам отчетов, графиков, схем, и к самим архивным данным. Так, на ресурсе [2] можно получить различные архивные данные по Канаде, в том числе архивы значений показателя качества воздуха AQI и введенного с 2015 года показателя AQHI.

Основной интерес для исследователей представляют архивные данные значений концентраций загрязнителей. Статистика ведется с 2000 года, возможно получить отчет в виде HTML-страницы или CSV-файла. В одном отчете содержатся данные о значениях концентрации одного загрязнителя с периодичностью в один час для каждого дня года. Пример части отчета показан на рис. 1. Столбцы таблицы H01-H24 показывают значения в определенный час дня, в одной строке отображаются показания за один день.

Brampton (46089) Hourly Nitrogen Oxides Concentrations

From January 1, 2010 to January 31, 2010

Station: Brampton (46089)
Address: 525 Main St. N., Peel Manor
Latitude: 43.69875
Longitude: -79.780917
Elevation: 229 metres
Air Intake Height: 5 metres

Pollutant: Nitrogen Oxides (Nitrogen Oxides NO_x)
Unit: parts per billion (ppb)

Remarks: -999 for missing data. 9999 for invalid data.

Air Pollutant Historical Data

Date	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H10	H11
2010-01-01	18	18	14	9	5	5	5	5	5	5	5
2010-01-02	3	3	3	3	3	3	7	7	8	8	8
2010-01-03	5	3	3	3	2	3	3	4	3	3	3
2010-01-04	4	4	5	6	6	8	13	14	15	14	11

Рис. 1. Пример отображения архивных данных (фрагмент) значений концентрации загрязняющего вещества на ресурсе [2]

Также на данном ресурсе доступна статистика появления смога в городах Канады.

Для США, помимо графиков концентраций загрязняющих веществ, в открытом доступе находятся массивы данных для многих загрязнителей [6], таких как O3, CO, SO2, NO2, PM2.5, PM10, а также массивы метеорологических данных. Некоторая статистика доступна с 1980 года. Кроме того, доступны списки источников загрязнения.

Информирование граждан о состоянии атмосферного воздуха урбанизированной территории в России

Мониторинг атмосферного воздуха осуществляется в России на протяжение многих лет. В конце двадцатого века это был либо ручной, либо полуавтоматический мониторинг. При таком мониторинге государственные органы или представители предприятий брали пробы атмосферного воздуха, доставляли их в лабораторию, выполняли анализ и на основании проделанных действий оформляли отчетные документы.

В начале двадцать первого века, как в России, так и за рубежом экологическому состоянию окружающей среды стали уделять больше внимание. Результатом стали поправки к Федеральному закону от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (данный закон является одним из основных относящихся к экологическому праву России) в 2004 году, в част-

ности «Статья 23. Мониторинг атмосферного воздуха». В этой статье говорится о том, что Правительство Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, а также органы местного самоуправления должны организовать государственный мониторинг атмосферного воздуха в пределах своих компетенций [7].

Со времени поправок прошло более десяти лет и в городах России появляются стационарные посты экологического мониторинга, а также передвижные станции. Государственным мониторингом в России занимается Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Росгидромет собирает, обрабатывает и предоставляет данные в виде отчетов (квартальных, годовых и т. д.). Такая форма работы не позволяет в режиме реального времени работать с данной информацией сторонним организациям.

За последние годы практически не появилось систем информирующих граждан об экологической обстановке в реальном времени. И на 2015 год их число по-прежнему весьма незначительно. Ниже рассмотрена деятельность некоторых из них.

Организация доступа к архивным данным о состоянии атмосферного воздуха в России

В отечественных системах, информация доступна в форме отчетов региональных и муниципальных органов власти, которые выкладываются с существенной задержкой (от квартала до года). Информация, представленная таким способом весьма скудна, содержит средние показатели за длительный период и не пригодна для обработки.

Другой используемый способ представления архивных данных – при помощи графиков и диаграмм. Данный способ также не позволяет обрабатывать данные с помощью специализированного научного программного обеспечения.

Автоматизированная система экологического мониторинга Санкт-Петербурга [8] представляет архивные данные в виде графиков, пример подобного графика приведен на рис. 2. В Москве [9] также используется графический способ представления архивных данных, данные представляются с помощью графиков, таблиц и гистограмм (пример гистограммы приведен на рис. 3).

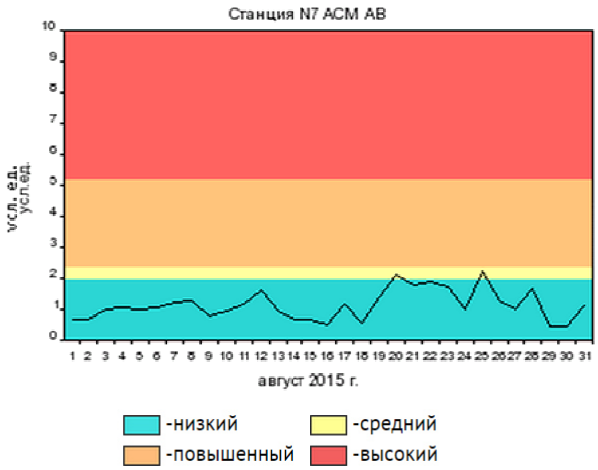
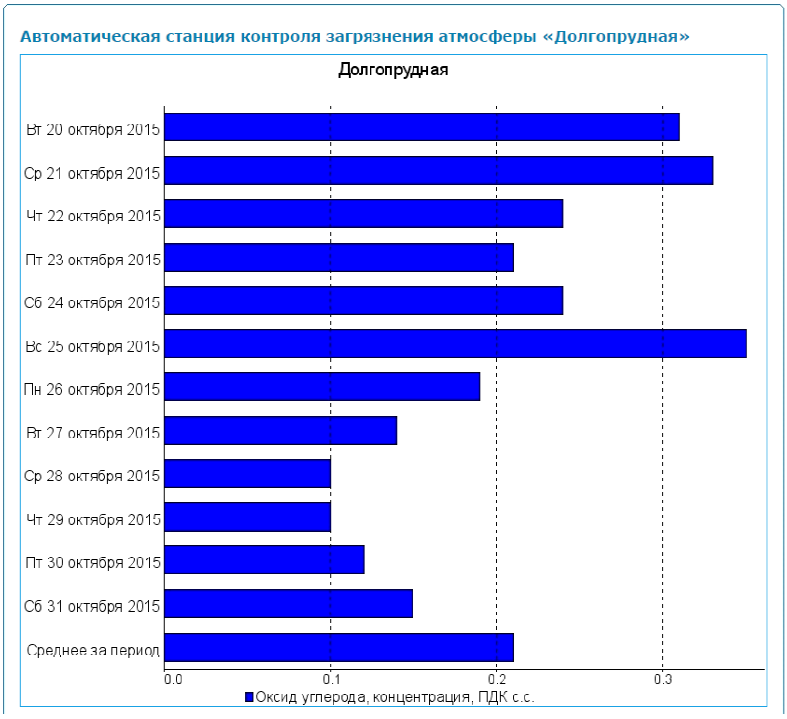


Рис. 2. График, отображающий архивные данные системы экологического мониторинга Санкт-Петербурга



ограмма, отображающая ар-
ые системы экологического
Москвы

Также важной проблемой является отсутствие единого формата для хранения данных. Ниже приведено два рисунка иллюстрирующих фрагменты показателей загрязнителей, полученных от комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга, см. рис. 4, и комитета природных ресурсов и экологии Волгоградской области, см. рис. 5. Полученные файлы имели различный формат (.html и .xls), что затрудняет обработку информации, а также внутреннее представление (в одном только показания превышающие предельно допустимы концентрации, в другом все значения).

Пост: as16 Месяц: 12 Год: 2014 Адрес: г.Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 11

Координатный номер:

Наименование газоанализатора: 42С Зав. номер:

Ингридиент: NO ПДКмр 0.4 ПДКсс 0.06 Кл. опасности: 3

Дата/ Время	Среднечасовая концентрация, мг/м3															
	часы															
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	
01	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	**0.039**	**0.039**	**0.062**	**0.071**	**0.087**	
02	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	**0.034**	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	< 0.032	

Рис. 4. Фрагмент отчета со стационарного поста г. Санкт-Петербург

Наименование станции: 2С **Компонент: NO (мг/м3)** **Месяц:** 4 2011

	Среднечасовая концентрация, мг/м3																							
	часы																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0,0011	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,003	0,0034	0,0025	0,0032	0,0053	0,0046	0,0045	0,0052	0,0035	0,003	0,0025	0,0035	0,003	0,001	0,0018	0,0013
2	0,001	0,0009	0,0009	0,0008	0,0018	0,0016	0,0032	0,0064	0,0075	0,0113	0,0088	0,0083	0,0092	0,0115	0,004	0,0095	0,0048	0,0039	0,0061	0,0108	0,0026	0,002	0,003	0,0034

Рис. 5. Фрагмент отчета со стационарного поста г. Волгоград

Заключение

В данной статье приведено исследование подходов, используемых для представления данных экологического мониторинга атмосферного воздуха урбанизированной территории за рубежом и в России.

За рубежом уделяется большое внимание представлению данных о состоянии атмосферного воздуха, как для граждан, так и для исследователей.

Зарубежные веб-сервисы схожи в реализации, что облегчает различным категориям пользователей их эксплуатировать. Для представления данных используются унифицированные правила и стандарты, что позволяет размещать на одних ресурсах множество данных с различных источников, а также использовать эти данные при реализации различных моделей прогнозирования и систем поддержки принятия решений в области обеспечения экологической безопасности атмосферного воздуха. К тому же, во многих странах данные предоставляются в открытом доступе, что позволяет их использовать в различных сферах деятельности человека.

В России нет единого ресурса, который предоставлял бы открытый доступ к текущим и архивным данным с постов экологического наблюдения атмосферного воздуха по всей стране в едином формате. Получение архивных данных от государственных органов (экологических комитетов субъектов регионов и региональных представительств росгидромета) возможно только по официальным запросам, которые занимают длительное время. Кроме того, отсутствует доступ к необработанным данным с постов наблюдения за малые интервалы времени.

Исходя из выше сказанного, актуальными проблемами остаются: разработка унифицированного стандарта представления данных экологического мониторинга, а также интернет ресурса, который позволял бы предоставить в открытом доступе текущие, архивные и прогнозируемые данные, необходимые для научных исследований.

Несмотря на вышеперечисленные проблемы, происходит развитие информационных средств в области экологического мониторинга, принята к реализации система «Безопасный город», производится интеграция с зарубежными системами. С точки зрения исследователей, наиболее актуальной является организация открытого доступа к собираемым данным, хотя бы в некоммерческих целях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кульцова, М.Б., Садовникова, Н.П., Дмитриенко, Д.В., Рашевский , Н.М*. Комплексный анализ транспортной системы Волгограда // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 18. № 22(125). С. 72–77.

2. Map: Ontario's Air Monitoring Stations, AQHI [Электронный ресурс] / Queen's Printer for Ontario. – [2016]. – Режим доступа : http://www.airqualityontario.com/.

3. AirNow [Электронный ресурс] / U.S. Embassies and Consulates. – [2016]. – Режим доступа : http://www.airnow.gov/.

4. Air Pollution Forecast – Air Quality in Scotland [Электронный ресурс] / Air Quality in Scotland. – [2016]. – Режим доступа : http://www.scottishairquality.co.uk/ latest/forecast.

5. Air Pollution in the World: Real time Air Quality map [Электронный ресурс] / World Air Quality Index. – [2016]. – Режим доступа : http://aqicn.org/.

6. Download Files | AirData | US EPA [Электронный ресурс] / United States Environmental Protection Agency. – [2016]. – Режим доступа : http://aqsdr1.epa.gov/aqsweb/aqstmp/airdata/download_files.html.

7. Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об охране атмосферного воздуха» [Электронный ресурс] / КонсультантПлюс. – [2016]. – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/.

8. Атмосферный воздух – Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] / Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. – [2016]. – Режим доступа : http://www.infoeco.ru/index.php?id=53.

9. Система мониторинга атмосферного воздуха в Москве [Электронный ресурс] / Мосэкомониторинг. – [2016]. – Режим доступа : http://www.mosecom.ru/air/.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК.685.01:658.512.2

Ю. В. Кандырин[1], М. Х. Хла[1], Л. Т. Сазонова[1], Г. Л. Шкурина[2]

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТАНОВОК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА В САПР

[1]Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»
[2]Волгоградский государственный технический университет
ywk@mail.ru

В работе проведено сравнение безусловных и условных критериальных постановок решения задачи выбора вариантов в САПР, показаны методы формулировки комбинированных критериев, построенных в пространстве надсистемных ПК, проведено исследование их силы. Показано, что основным недостатком таких постановок является неустойчивость их решений, связанная с возможным нарушением порядка альтернатив при флуктуациях значений показателей качества. Предложены инженерные методики оценки устойчивости для безусловных (π) и условных (L)-критериев. Приведены их количественные оценки и графическая интерпретация.

Ключевые слова: критерии выбора, комбинированные постановки, фактор множества, диаграмма Хассе, устойчивость неметрических постановок.

Yu. V. Kandyrin[1], M. T. Hla[1], L. T. Sasonova[1], G. L. Sckurina[2]

STUDY NONMETRIC PRODUCTIONS SOLUTIONS FOR CHOICE IN CAD

[1]National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
[2]Volgograd State Technical University

The paper compared the absolute and conditional criterion productions solutions choices tasks in CAD, showing methods of combined formulation of criteria built in the space of super-system PC, a study of their strength. It is shown that the main disadvantage of these productions is the instability of their decisions related to a possible violation of the order of alternatives when fluctuations values of quality indicators. Proposed engineering sustainability assessment methodologies for unconditional (π) and conventional (L)-criteria. Results of quantitative evaluation and graphical interpretation.

Keywords: selection criteria , combined formulation , factor sets Hasse diagram , the stability of non-metric performances.

Введение

Одной из актуальных проблем в САПР, является многокритериальный анализ и выбор альтернатив по совокупности показателей качества. К задачам этого типа относятся: выбор оптимальных проектных вариантов [1], [2], выбор аналогов по прототипам [3], задачи оптимального выбора и структурирования альтернатив в справочных системах [4], задачи построения оптимальных очередей ремонта в однородных множествах объектов [5] и многие другие. При этом среди многокритериальных постановок задач выбора, особое место занимают неметрические постановки. Это обусловлено тем, что введение метрики в критериальное пространство является очень сложной и заведомо субъективной задачей, осложненной еще и тем, что характеристики объекта выражают разную физическую сущность и их трудно свести к некоторому интегральному показателю качества (ПК).

Неметрические отношения между частными ПК в критериальной постановке определяют отношения порядка. При этом сами ПК между собой могут быть *несравнимы* или *сравнимы*.

Безусловные критерии выбора и их свойства

Безусловные, несравнимые неметрические критериальные постановки характеризуются отсутствием приоритетов межу ПК, что обусловливает их ортогональность и может быть формализовано записано как произвольное перечисление $\{k_1, k_2,\ldots,k_M\}$, или как совокупность выделенных l из M компонент вектора ПК. Диаг-

© Кандырин Ю. В., М. Х. Хла, Сазонова Л. Т., Шкурина Г. Л., 2016

рамма Хассе (ДХ) для ПК [2] может служить графическим представлением несравнимых ПК, используемых, например, в критерии Парето $\pi(\Omega/\{k_1, k_2.. k_M\})$ при сравнении показателей качества как альтернатив.

Можно утверждать, что π-критерии сравнимы, если в каждом из сравниваемых критериев подмножество ПК критерия меньшей размерности включается в критерии большей размерности. Размерность π-постановок определяется числом участвующих в ней показателей качества – компонент k_m вектора K. На рис. 1 «1» и «∅» обозначают максимальный и минимальный элементы

Критерий Парето
для несравнимых ПК
в метакритериальном
пространстве
$K_q\, K_f\ \pi\{k_1, k_2,.., k_M\}$

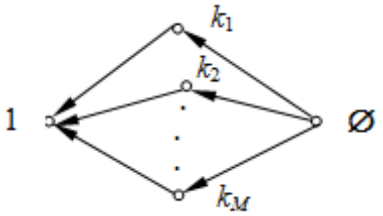


Рис. 1. Диаграмма Хассе по ПК для критерия Парето

Две π-постановки *сравнимы,* если множество ПК, входящих в одну из них является подмножеством другой. Формализовано это можно описать так: постановка $\pi_1\{k_{j1,}...k_{jm}\}$, $j \in J$, $|J| = m$ сравнима с постановкой $\pi_2\{k_{i1,}...k_{in}\}$, $i \in I$, $|I| = n$, $|J| \geq |I|$, если: $\{k_{j1,}...k_{jm}\} \supseteq \{k_{i1,}...k_{in}\}$, и если

$$\Omega_{01}: \pi\{k_{j1,}...k_{jm}\},\ \Omega_{02}: \pi\{k_{j1,}...k_{jm-1}\},$$

то $\Omega_{01} \neq \Omega_{02}$, $\Omega_{01} \supset \Omega_{02}$.

При этом, среди сравнимых π-постановок сильнее постановка меньшей размерности. То есть:

$$\pi\{k_m\} \lhd \pi\{k_{m-1}\} \lhd \pi\{k_{m-2}\} \lhd, \ldots, \lhd \pi\{k_2\},$$

где $k_m \supseteq k_{m-1} \supseteq k_{m-2} \supseteq ... \supseteq k_2$, $k_m = \{k_{j1,} k_{j2,} ... k_{jm}\}$.

Процедуру поиска множества Парето оптимальных вариантов предлагается реализовывать пересечением окрестностей фактор-множеств порядков альтернатив по показателям качества из выделенной совокупности. Ранее в [1], [2], [3] было принято, что фактор-множеством Ω/R множества называется множество *окрестностей* единичного радиуса, взятых для всех элементов $\{\omega_{i2}\}$ из $\Omega = \{\omega_i\}$, $i = \{1, N\}$, доминирующих ω_i, таких, что: $<\{\omega_{i2}\}, \omega_i> \in R$. Очевидно, что окрестностью минимальных элементов является пустое множество ∅.

Определим окрестность O_i в фактор-множестве Ω/k_j для отношения $\succ$ = по показателю качества k_j в виде $O_i(\Omega/k_j) \equiv \{\omega_l: k_j(\omega_l) \leq k_j(\omega_i),\ \omega_l \in \Omega\}$. Тогда фактор-множество Ω/k_j можно представить как совокупность окрестностей $\Omega/k_j = \{O_i(\Omega/k_j)\}$, $i = \{1,|\Omega|\}$. Рассмотрим пересечение окрестностей фактор-множеств Ω/k_{j1} и Ω/k_{j2} для ω_i:

$$O_i(\Omega/k_{j1}) \cap O_i(\Omega/k_{j2}) = \{\omega_l: k_{j1}(\omega_l) \leq k_{j1}(\omega_i),\ \omega_l, \omega_i \in \Omega\} \wedge$$
$$\wedge \{\omega_l: k_{j2}(\omega_l) \leq k_{j2}(\omega_i),\ \omega_l, \omega_i \in \Omega\} =$$
$$= \{\omega_l: [k_{j1}(\omega_l) \leq k_{j1}(\omega_i)] \wedge [k_{j2}(\omega_l) \leq k_{j2}(\omega_i)],\ \omega_l, \omega_i \in \Omega\}.$$

Продолжая для $j_1, ... j_m \in J$, получаем:

$$\bigcap_{j \in J} O_i(\Omega/k_j) = \bigcap_{j \in J} \{\omega_l: k_j(\omega_l) \leq k_j(\omega_i),\ \forall j \in J,$$
$$\omega_l, \omega_i \in \Omega\}. \quad (1)$$

И если $\bigcap_{j \in J} O_i(\Omega/k_j) = \varnothing$, то ω_l – недоминируемый любым $\omega_i \in \Omega$ элемент а, следовательно, $\omega_l \in \Omega_\pi$ является Парето оптимальным элементом

$$\Omega_\pi\ \{k_{j1,...,}k_{jm}\} = \{\omega_{l0}: \bigcap_{j_1,...,j_m} O_i(\Omega/k_j) = \varnothing,$$
$$\omega_l \in \Omega\}. \quad (2)$$

Условие $\bigcap_{j \in J} O_i(\Omega/k_j) = \varnothing$ означает, что ω_{l0} – минимальные элементы частично упорядоченного множества – нехудшие по Парето.

Покажем далее, что для сравнимых π-постановок выполняется следующее утверждение: *Среди сравнимых π-постановок сильнее постановка меньшей размерности,* то есть

$$\pi\ \{k_m\} \lhd \pi\ \{k_{m-1}\} \lhd \pi\ \{k_{m-2}\} \lhd, \ldots, \lhd \pi\ \{k_2\}. \quad (3)$$

Для доказательства (3) рассмотрим две π-постановки разной размерности $\pi_1\ \{k_q\}$, $q \in Q$

и π_2 $\{k_m\}$, $m \in M$, причем пусть для определенности $Q \supset M$. Тогда оптимальные решения $\Omega_{\pi 1}$ и $\Omega_{\pi 2}$ для π_1- и π_2-постановок согласно (1) представим как пересечение окрестностей фактор-множеств в виде

$$\Omega_{\pi 1} = \{\omega_l : \bigcap_{q \in Q} O_l(\Omega/k_q) = \varnothing,\ \omega_l \in \Omega\},$$

$$\Omega_{\pi 2} = \{\omega_i : \bigcap_{m \in M} O_l(\Omega/k_m) = \varnothing,\ \omega_i \in \Omega\}, \quad (4)$$

где Ω/k_q, Ω/k_m – фактор-множества линейных порядков по k_q и k_m, соответственно. Далее представим $\bigcap_{q \in Q} O_l(\Omega / k_q)$, используя (4), в виде

$$\bigcap_{q \in Q} O_l(\Omega / k_q) = \bigcap_{m \in M} O_l(\Omega / k_m) \wedge \bigcap_{q \in Q \setminus M} O_l(\Omega / k_q.$$

Последнее соотношение, учитывая, что $Q \supset M$ в силу сравнимости π-постановок и то, что оптимальные по Парето альтернативы (минимальные элементы) обладают пустой окрестностью, можно переписать в следующем виде:

$$\{\omega_l : \bigcap_{q \in Q} O_l(\Omega/k_q) = \varnothing,\ \omega_l \in \Omega\} = \{\omega_l : \bigcap_{m \in M} O_l(\Omega/k_m) = \varnothing,\ \omega_l \in \Omega\} \vee$$

$$\vee\ \{\omega_l : \bigcap_{q \in Q \setminus M} O_l(\Omega/k_q) = \varnothing,\ \omega_l \in \Omega\},\ \text{т.е. } \Omega_{\pi 1} \supseteq \Omega_{\pi 2},$$

А это, в свою очередь значит, что $\pi_1\{k_q\} \lhd \pi_2\{k_m\}$, $q \in Q$, $m \in M$, $|Q| \geq |M|$, при $\{k_q\} \supseteq \{k_m\}$, что подтверждает справедливость утверждения (3).

Условные критериальные *L*-постановки и их свойства

Сравнимые ПК относятся между собой отношением предпочтения « $\succ$». При этом соотношения межу ПК по приоритету могут быть записаны как $k_1 \succ k_2 \ldots \succ k_M$ или $< k_1, k_2, \ldots, k_M >$.

L-критерий
для ПК, заданных по приоритету
$L < k_1, k_2, .. k_l, .., k_M >$; $\forall l \in M$

Решение *L*-постановки вида $L < k_{1,} \ldots k_m >$ сводится к «вложению» линейных порядков альтернатив по последовательно рассматриваемым показателям качества. Причем, если рассматриваемое множество альтернатив отличается значениями, по крайней мере, одного показателя качества, участвующего в *L*-постановке, то оптимальная (лучшая) альтернатива – единственна. В этом случае *L*-постановку будем называть *полной.* Доказательство этого утверждения можно провести так: пусть для постановки $L < k_{1,} \ldots k_m >$ решение не единственно, т. е. существуют, по крайней мере, два оптимальных элемента $\omega_{01} \neq \omega_{02}$ на множестве Ω. Но для выполнения условия оптимальности необходимо совпадение всех значений ПК: $k_1(\omega_{01}) = k_1(\omega_{02})$, $k_2(\omega_{01}) = k_2(\omega_{02})$, …, $k_m(\omega_{01}) = k_m(\omega_{02})$, что противоречит условиям о полноте постановки.

Если *L*-постановки сравнимы, то для сравнимых постановок выполняется утверждение, что среди сравнимых *L*-постановок сильнее постановка большей размерности

$$L < k_{1,} k_{2,} \ldots k_m > \triangleright L < k_{1,} k_{2,} \ldots k_{m-1} > \triangleright, \ldots, \triangleright L < k_1 >. \quad (5)$$

Правильность этого утверждения для постановок $L < k_{j1} >$, $L < k_{j1,} k_{j2} >$, … $L < k_{j1,} k_{j2,} \ldots k_{jm} >$ следует из рассмотрения решений для сравнимых *L*-постановок, для которых можно записать:

$$\Omega \supseteq \Omega^{1} \supseteq \Omega^{2} \supseteq \ldots \supseteq \Omega^{l} \supseteq \ldots \supseteq \Omega^{m},$$

а это означает справедливость того факта, что для *полной L*-постановки мощность множества Ω_{0m} равна 1, т. е. $|\Omega_{0m}| = 1$.

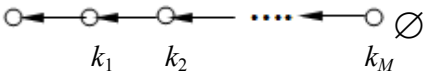


Рис. 2. Диаграмма Хассе по ПК$_l$ для критерия Парето

Комбинированные неметрические постановки

Критерий Парето и *L*-критерий с точки зрения задания отношений порядка на совокупности показателей качества {ПК} являются противоположными. На практике часто возникают

Критериальные постановки, где задача выбора вариантов решается на заданной по приоритету ПК последовательности скалярных задач, каждая из которых раскрывает несравнимость альтернатив по предыдущему ПК: k_{i-1} называют *L*-постановкой [1].

Графическая интерпретация такой постановки в виде диаграммы Хассе, представляющей линейный порядок показателей качества, может быть отображена рис. 2.

более сложные задачи, где онтологически целесообразным является рассмотрение многокритериальных задач выбора, представляющих комбинацию π и *L*-критериев.

Отсюда, разумным по назначению целевых предпочтений ЛПР на ПК является комбинированная πL-постановка задачи выбора, которая представляется в виде строго упорядоченных разбиений множества ПК, привязанная к смысловому решению конкретной задачи выбора. При этом ЛПР получает для решения задачи выбора мощные возможности для выражения своих предпочтений. Любые неметрические предпочтения требуют разбиения множества принимаемых во внимание ПК $\{k_l\}$, $l=\{l, M\}$ на q: $1 \le q \le M$ подмножеств, внутри которых ПК имеют свой приоритет. Такое разбиение может быть формально представлено в виде последовательности π- и *L*-критериев, для чего ЛПР должен расположить в линейном порядке все M учитываемые ПК. Если некоторые ПК образуют подмножества с одинаковым приоритетом, внутри которого они неразличимы, то такие подмножества образуют π-постановку. Таким образом, πL-постановка может быть сведена к комбинации π и *L*-постановок. Для реализации предлагаемого правила формирования комбинированных постановок ЛПР важно в соответствии с целями правильно задать последовательность включения полученных критериальных образований в процедуру выбора.

К основному достоинству πL-постановок можно отнести то, что от ЛПР при постановке задачи, требуется лишь качественная информация по реализации целей, которым должен отвечать объект выбора и не требуется каких либо *количественных* (метрических) данных. Причем *качественные* требования могут быть очень многообразны. Можно показать, что мощность πL-постановок для $|k_M| = M$ равна

$$n_{\pi L}(M) = \sum_{m=1}^{M} C_M^m \sum_{q=1}^{m} r!\Phi(m,r), \qquad (6)$$

где $\Phi(m,q)$ – числа Стирлинга второго рода [5]; $n_{\pi L}(M)$ экспоненциально растущая по M функция. Если при $M=2$ число возможных $n_{\pi L}(M)$ постановок составляет всего 5, то при $M=3$ и $M=5$ оно соответственно равно 25 и 1081 (табл. 1).

Таблица 1

Число комбинированных постановок

M	1	2	3	4	5
$n_{\pi L}(M)$	1	5	25	149	1081

Таким образом, посредством введения комбинированных постановок ЛПР получает мощный, не привязанный к метрике инструмент (язык) выражения своих предпочтений в каждой конкретной задаче выбора. Это особенно важно на предварительных (начальных) этапах постановки задач выбора, когда количество информации у ЛПР еще не слишком велико, чтобы привлекать более сильные критерии или вводить метрику в критериальное пространство.

На рис. 3 представлено распределение ПК, которые представляют собой значения для ПК, описывающих цели ЛПР в решении конкретной задачи выбора, в пространстве надсистемных метакритериев $\tilde{K}_q$ и $\tilde{K}_j$, таких, например, как «важность ПК» и «стоимостная оценка ПК». А на рис. 4 изображена соответствующая Диаграмма Хассе для πL-постановки.

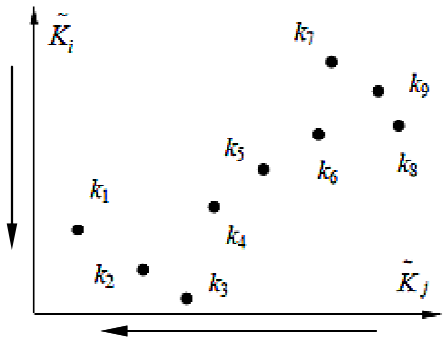


Рис. 3. Распределение ПК в пространстве метапоказателей

$L<\pi\{k_1, k_2, k_3\}, L\{k_4, k_5, k_6\}, \pi\{k_7, k_8, k_9\}>$

Рис. 4. Диаграмма Хассе для πL-постановки при минимизации ПК

Таким образом, π*L*-постановки можно свести к суперпозиции π и *L*-постановок. При этом сравнимые постановки различной размерности могут быть строго упорядочены по их силе следующим образом:

$$L< k_m > \triangleright L< k_{m-1} > \triangleright,..,\triangleright L< k_1 > \triangleright \pi\{k_2\} \triangleright,..,\triangleright \pi\{k_{m-1}\} \triangleleft \pi\{k_m\}. \quad (7)$$

Устойчивость неметрических постановок задач выбора

Не учет метрики показателей качества порождает существенный недостаток π*L*-постановок – неустойчивость принципов выбора, когда даже малые отклонения значений ПК могут приводить к существенным изменениям решений. Отсюда необходима оценка устойчивости получаемых π- и *L*-решений. И, очевидно, учет тех или иных отклонений в значениях ПК должен по-своему сказываться на результатах выбора в зависимости от вида конкретного неметрического критерия.

Приведем методику возможной *инженерной оценки* устойчивости π- и *L*-постановок. Для этого вначале введем понятие ε- и Δ-устойчивости и покажем условия, при которых решения по неметрическим постановкам выходят за границы устойчивости в этих терминах. Более формализованные и математически строгие подходы к оценке устойчивости можно найти в работах [7], [8].

Зададим пространство устойчивых решений задач выбора путем формирования области ε-оптимальности для ПК через совокупность допустимых отклонений $\varepsilon\{\alpha_l, \beta_l ...\}$, $l \in L$ по показателям качества $k_{,}, k_{l+1.}$

Тогда множество устойчивых решений $\Omega_{\pi\varepsilon}$ для π-постановок может быть определено как

$$\Omega_{\pi\varepsilon} = \{\omega_{o\varepsilon} : \{\Pi K_l(\omega_{o\varepsilon}) \le \Pi K_l(\omega_i) + \alpha_l;\ \forall l \in L\} \wedge$$
$$\wedge \{\exists l_o \in L: \Pi K_{lo}(\omega_{o\varepsilon}) < \Pi K_{lo}(\omega_i) + \beta_l\};\ \forall \alpha_l, \beta_l \in E^L\}. \quad (8)$$

Из анализа приведенного выражения (8) следует, что после введения ε-оптимальности $\Omega_{\pi\varepsilon}$ включаются, соответственно, в множество $\Omega_{\pi,}$ являющиеся π-оптимальными множествами до введения ε-оптимальности, то есть $\Omega_{\pi\varepsilon} \subseteq \Omega_{\pi.}$ А это означает, что введение ε-оптимальности приводит к усечению π-оптимальных вариантов до множества устойчивых решений меньшей мощности, чем исходное в соответствии с принципом ε-оптимальности (рис. 5).

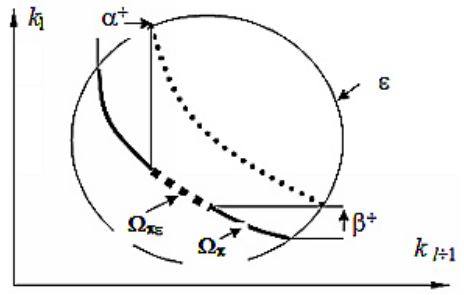


Рис. 5. Области оптимальных решений при задании ε-устойчивости

Проблему устойчивости оптимальных решений можно рассматривать и в случае, когда показатели качества задаются для совокупности показателей качества $\{\Pi K_l\}$ интервальными характеристиками $\{\Delta_l\}$ на некоторых отрезках, так, например для π-областей при минимизации ПК (рис. 6).

$$[\Pi K_1(\omega_o) - \Delta_1^{(-)};\quad \Pi K_1(\omega_o) + \Delta_1^{(+)}];$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$[\Pi K_L(\omega_o) - \Delta_M^{(-)};\quad \Pi K_L(\omega) + \Delta_M^{(+)}]. \quad (9)$$

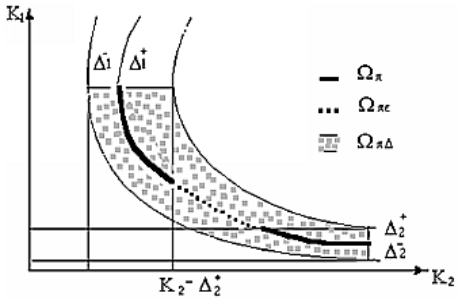


Рис. 6. Связь между множествами Δ-оптимальных – $\Omega_{\pi\Delta}$, π-оптимальных – Ω_π и ε-устойчивыми множествами – $\Omega_{\pi\varepsilon}$ решений для $\pi\{K_1,K_2\}$

Последнее приводит к отношению эквивалентности, задающему множество Δ-квазиоптимальных альтернатив $\Omega_{o\Delta}$ на МВА Ω

$$\Omega_{o\Delta} = \{\omega_{o\Delta} : \{\Pi K_l(\omega_o) + \Delta_l^{(+)} \ge \Pi K_l(\omega_i) \ge \Pi K_l(\omega_o) - \Delta_l^{(-)}\},\ l \in M,\ \omega_o \in \Omega_o\}. \quad (10)$$

Анализ выражения (10) дает возможность сделать вывод о том, что в случае интервальных оценок $\Delta_l^{(\pm)}$ для $\{\text{ПК}_l\}$, $l \in L$ квазиоптимальные множества альтернатив $\Omega_{\pi\Delta}$ включают в себя и Ω_π соответственно.

Рассматривая совместно множества квазиоптимальных $\Omega_{\pi\Delta}$, π-опти-мальных Ω_π и ε-оптимальных $\Omega_{\pi\varepsilon}$ решений можно утверждать, что взаимные включения могут быть осуществлены в соответствии с выражением (10)

$$\Omega_{\pi\varepsilon} \subseteq \Omega_\pi \subseteq \Omega_{\pi\Delta}\,.$$

При этом каждое из указанных множеств может быть получено путем комбинаторных сравнений альтернатив в соответствии с выражениями (8) ÷ (10).

Проанализируем поведение L-постановки в условиях приводящих к неустойчивости решений. Неустойчивость неизбыточных L-постановок демонстрируется на примере двух L-постановок: $L_1\langle\Omega/k_1,\ k_2\rangle$ и $L_2\langle\Omega/k_2,\ k_1\rangle$ – условных критериев (для минимизации показателей качества). Отметим, что L-постановка становится неустойчива при достаточно малых отрицательных отклонениях ($\varepsilon_1 < 0,\ \varepsilon_2 < 0$) от области эквивалентности и концевых вершин ($\omega_{0\ L1}$ и $\omega_{0\ L2}{}'$) лексикографии по $L_1\langle\Omega/k_1,\ k_2\rangle$ и $L_2\langle\Omega/k_2,\ k_{\ 1}\rangle$. Для L-постановок множество ε-устойчивых решений определим из выражения

$$\Omega_{L\varepsilon} = \{\omega_{o\varepsilon} : \{\text{ПК}_{lo}(\omega_{o\varepsilon}) < \text{ПК}_{lo}(\omega_i) + \beta_{lo};\ l_o = \min l\};\ \alpha_l,\ \beta_l \in E^L\}. \qquad (11)$$
$$|\text{ПК}_l(\omega_o) - \text{ПК}_l(\omega_i)| > \alpha_l$$

На рис. 7 показана неустойчивость решений при отклонениях от границы области ω_o для указанных L-постановок. Всякое «– ε» отклонение приводит к неустойчивости решений.

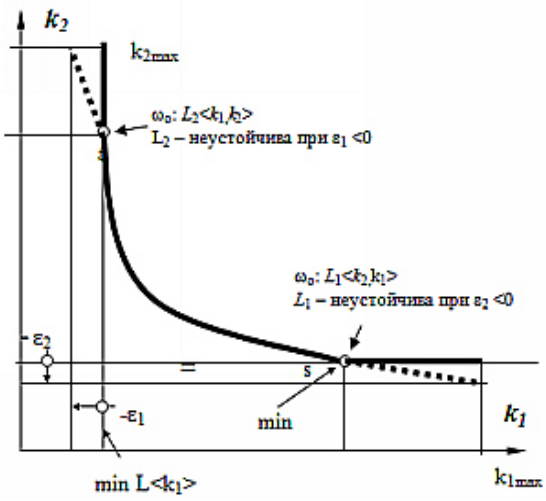


Рис. 7. Неустойчивость неизбыточных $L_1\langle k_2,k_1\rangle$ и $L_2\langle k_1,k_2\rangle$ постановок

На рис. 8 представлен другой случай, в котором границы области Парето отвечают условию ε-устойчивости L-постановок. Так постановка L_2 – устойчива при $+\varepsilon_1 \geq 0$. И, соответственно, L_1 – устойчива при $+\varepsilon_2 \geq 0$.

При $+\varepsilon_1 \geq 0$, $+\varepsilon_2 \geq 0$ решения устойчивы (рис. 8). Но именно в случае $\varepsilon_1 = 0$ и $\varepsilon_2 = 0$ на границе устойчивости L-постановки еще и неизбыточны, так как при поиске решения используется полная цепь лексикографии $L_1\langle\Omega/k_1,\ k_2\rangle$ или $L_2\langle\Omega/k_2,k_1\rangle$ для снятия эквивалентности альтернатив по одному из ПК (в данном случае – два показателя качества).

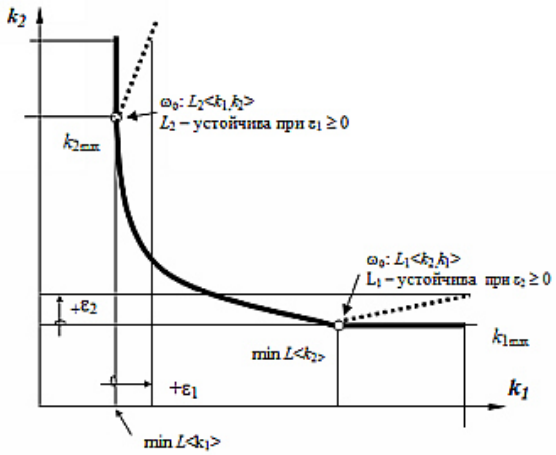


Рис. 8. Устойчивость избыточных $L_1\langle k_2,k_1\rangle$ и $L_2\langle k_1,k_2\rangle$ постановок

Количественной оценкой устойчивости решений задач многокритериального выбора в неметрических постановках при инженерных расчетах может служить величина $\xi = \varepsilon / 3\sigma$, представляющая собой отношение ε-отклонения к максимальной ошибке $\text{ПК}_i = 3\sigma$ (для нормального закона распределения).

Заключение

В работе проведен анализ соотношения силы безусловных и условных критериальных постановок, показаны методы формулировки комбинированных критериев, построенных в надсистемных ПК, позволяющих постепенно увеличивать силу критериальных постановок адаптивно к задаче выбора. Показано, что основным недостатком таких постановок является неустойчивость их решений, связанная с возможным нарушением порядка альтернатив при флуктуациях значений показателей качества, обусловленных различной природой таких отклонений. Предложены инженерные методики оценки устойчивости для безусловных (π) и условных (L) критериев. Приведены их количественные оценки и графическая интерпретация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кандырин, Ю.В.* Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР : учеб. пособие для вузов / Ю.В. Кандырин. – М. : Изд-во МЭИ, 2004. – 174 с.

2. *Кандырин, Ю.В.* Многокритериальный анализ, выбор и структурирование вариантов в САПР : учеб. пособие для вузов / Ю.В. Кандырин. – М. : Изд. Дом МЭИ, 2013. – 320 с.

3. *Кандырин, Ю.В., Кононов, М.Е, Половинкин, А.И.* Выбор вариантов аналогов по условным неметрическим критериям в ассоциативных структурах // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). С. 151–158.

4. *Yury Kandyrm, Vaier. Kamatv. Mikhail Kononov, Galina Shkurina* Algorithm of Organization o: Variant in the Electronic Quids Reference of CAD / CREATIVITY IN INTELLIGENT TECHNOLOGIES & DATA SCIENCE VOLGOGRAD RUSSIA 2015, September 15–17, Springer, 2015. – P.13.

5. *Кандырин, Ю.В.* Алгоритмы установления приоритетов объектов по техническим показателям в целях назначения оптимальной очередности их ремонтов / Ю. В. Кандырин, А. М. Кошелев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М. : Машиностроение, 2006. – № 7. – С. 18–26.

6. *Грэхем, Р.* Конкретная математика. Основание информатики / Р. Грэхем, Д. Кнут, О. Паташник. – М. : Мир, 1998. – 288 с.

7. *Молодцов, О.А.* Устойчивость принципов оптимизации. В кн.: Современное состояние теории исследования операций / О.А. Молодцов, В.В.Федоров. – М. : Наука, 1979. – 236 с.

8. *Tanino, N., Sawaragi, Y.* Stability of nondominated solutions in multicriteria decision-making/ – J. Opt. Theory and Appl., 1980, v. 30, № 2, p. 229–253.

9. *Kandyrin, Yu.V, Sazonova, L.T., Shkurina, G.L.* CHOICE of OPTIMUM ALTERNATIVES With the HELP of CRITERIA With INCREASING FORCE/ *SWorld – 17-29 March* 2015 MODERN DIRECTIONS OF THEORETICAL AND APPLIED RESEARCHES '*Computer Science, Computer Science and Automation* №1(38) T.4. – Odessa, UA) S. 47–52.

УДК 621.396 : 681.5

Ю. В. Кандырин, С. И. Карачаров

МНОГОВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИАТОРОВ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

ywk@mail.ru

Рассмотрена методика многовариантного автоматизированного проектирования радиаторов для микропроцессоров в РЭС. Разработаны алгоритмы проектирования пластинчатых и шыревых радиаторов, позволяющие сформировать множества допустимых и оптимальных вариантов по заданным требованиям. Экспериментально исследованы время установления и рабочая температура рассчитанных радиаторов для сигнального процессора.

Ключевые слова: многовариантное проектирование, радиаторы для процессоров, штыревые и игольчатые радиаторы, алгоритм проектирования радиаторов, выбор допустимых вариантов, выбор Парето оптимальных вариантов радиаторов.

Yu. V. Kandyrin, S. I. Karacharov

RADIATORS FOR MULTIPLE DESIGNING THE MICROPROCESSOR

National Research University «Moscow Power Engineering Institute»

The method of multivariate aided design radiators for microprocessors in RES . Design algorithms developed plate and shyrevyh radiators , allowing to form a set of feasible and the best options for the specified requirements. Studied experimentally setup and operating temperature radiators designed for signal processing .

Keywords: multivariate design radiators for processors, pin and needle-tions radiators, radiator engineering algorithm, the selection of possible variants, the selection of Pareto optimal variants of radiators.

Введение

От теплового режима процессоров и других теплонагруженных электронных компонентов во многом зависит надежность радиоэлектронных средств. Поэтому на практике для их охлаждения весьма часто используются аэрогенные системы охлаждения на базе радиаторов, как с естественным, так и с принудительным охлаждением [1, 3]. Их высокая эффективность для отвода тепла породили большое разнообразие конструкций, которые условно можно подразделить на пластинчатые и игольчато-штыревые. Материалами для них являются главным образом медь, а также алюминиевые и магниевые сплавы. При особо мощном источнике рассеиваемой мощности применяются радиаторы с принудительным охлаждением [2]. Чем быстрее движется воздух, тем эффективнее он сопри-

© Кандырин Ю. В., Карачаров С. И., 2016

касается с поверхностью радиатора, обеспечивая более интенсивную теплопередачу, а это приводит к возможному уменьшению его размеров. Актуальность работы обусловлена тем, что радиаторы, как правило, являются компонентами частного применения в конструкциях РЭС, т. е. их наиболее эффективное использование связано с конкретным вариантом его использования, как по конструктивно-стоимостным показателям, так и по эффективности понижения рабочей температуры охлаждаемого элемента. Отсюда актуализируются требования к созданию инструментальной автоматизированной системы многовариантного проектирования радиаторов и многокритериального сравнительного анализа и выбора сгенерированных вариантов проектов.

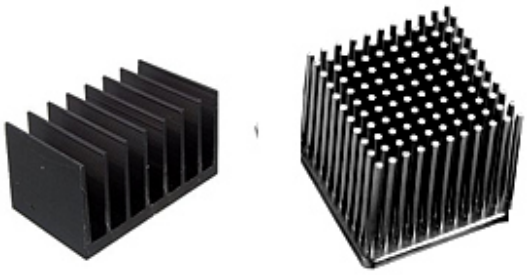


Рис. 1. Пластинчатые и игольчато-штыревые радиаторы

Наиболее распространенные конструкции радиаторов представлены на рис. 1.

Алгоритм формирования оптимальных вариантов проектов радиаторов

Укрупненный алгоритм формирования множества вариантов проектов радиаторов и их выбора содержит следующие этапы (рис. 2):

– ввод ТЗ на проектирование;

– расчет пластинчатых радиаторов с разными параметрами;

– расчет игольчатых радиаторов с разными параметрами;

– проверка сгенерированного множества вариантов на допустимость;

– выбор Парето-оптимальных вариантов из сгенерированного множества;

– построение диаграммы Хассе для установления частичного порядка на полном множестве с целью его структурирования и выделения альтернатив-заместителей;

– выбор L-оптимальных вариантов из Парето-оптимальных;

– выдача результатов автоматизированного проектирования для экспериментальной проверки.

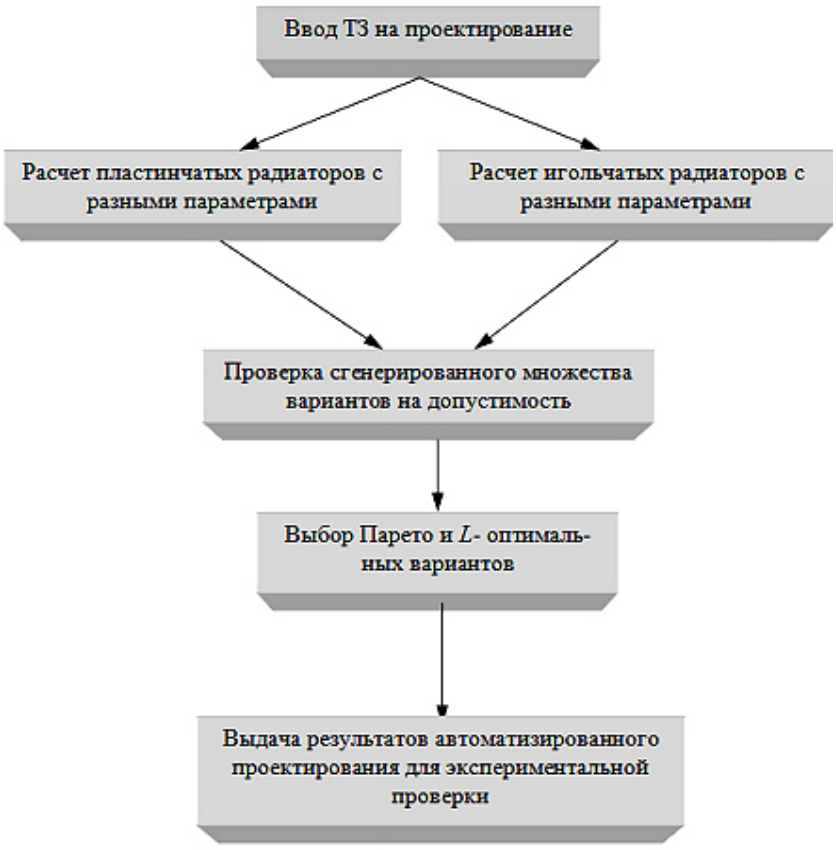


Рис. 2. Укрупненная блок-схема многовариантного расчета радиаторов

Методика расчета пластинчатого радиатора

В основу разрабатываемой методики расчета радиатора для теплонагруженного элемента положены базовые положения из [5]. Схематическое отображение конструкции радиатора представлено на рис. 3.

Будем полагать, что известны: мощность, выделяемая элементом, P; температура окружающей среды T_c; максимальная температура перегрева элемента T_{max}.

Необходимо найти: длину радиатора (D), ширину (M), высоту ребер (H), количество ребер (n), толщина основания радиатора (Δ) и межреберное расстояние (b).

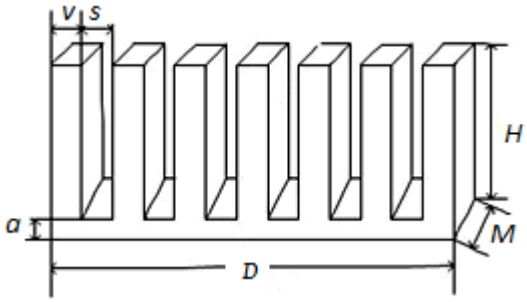


Рис. 3. Схематическое отображение конструкции пластинчатого радиатора

На рис. 4 представлен алгоритм расчета пластинчатого радиатора.

Рис. 4. Алгоритм расчета пластинчатого радиатора

Порядок расчета основных характеристик пластинчатого радиатора следующий.

1. Определяется температура радиатора t по заданной мощности P основания теплонагруженного элемента. При этом максимально допустимая температура перехода T_{max} и тепловое сопротивление берутся из справочной литературы:

$$t = T_{max} - P(R_{пк} + R_{кр}).$$

2. Находится допустимый среднеповерхностный перегрев радиатора ΔT_c

$$\Delta T = T - t,\ \Delta T_c = K_2 \Delta t,$$

где K_2 в первом приближении равен 0.8…0.9.

3. Определяется тепловое сопротивление R_{pc} для ΔT_c

$$R_{pc} = \frac{\Delta T_c}{P}.$$

4. Вычисляется площадь поверхности радиатора

$$S_p = \frac{1}{R_{pc}\alpha},$$

α = 7 – коэффициент теплопередачи радиатора (в первом приближении 6–8).

5. Находится площадь основания радиатора. Коэффициент оребрения K_s= (6–7):

$$S_0 = \frac{S_p}{K_s + 1}.$$

6. Находятся размеры основания. При этом коэффициент формы основания радиатора K_4 задается из конструктивных соображений (обычно он близок к 1):

$$D = \sqrt{\frac{S_0}{K_4}},\ M = K_4 D.$$

7. Рассчитываются количество ребер n и межреберное расстояние b. При этом высота ребер h задается из конструктивных соображений и не должна быть больше 40 мм. Толщина ребер v выбирается в пределах 1…2 мм, а толщина основания – 3…5 мм.

$$n = \frac{(K_s - 1)D}{2h},\ b = \frac{D - nv}{n - 1}.$$

Методика расчета игольчато-штыревого радиатора

В основу разрабатываемой методики и алгоритма расчета радиатора положены базовые положения из [5].

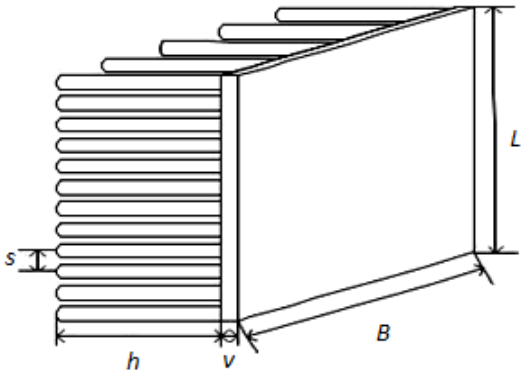


Рис. 5. Схематическое отображение конструкции игольчатого радиатора

Будем полагать, что известны: мощность, выделяемая элементом (P); температура окружающей среды (T_c); максимальная температура перегрева элемента (T_{max}).

Необходимо найти: длину основания радиатора (B), его ширину (L), толщину основания (v), высоту штырей (H), количество штырей (n), расстояние между штырями (s).

Алгоритм расчета игольчато-штыревого представлен на рис. 6.

1. Находим среднюю поверхностную температуру радиатора:

$$T_s = K_1 T_{max} - P(R_{пк} + R_{кр}).$$

2. Вычисляем температурный напор между основанием штыря и окружающей средой

$$\theta = T_c - \frac{t_1 - t_2}{2}.$$

Рис. 6. Алгоритм расчета игольчато-штыревого радиатора

3. Выбираются высота штыря h в пределах (15…30) мм, диаметр верхнего основания d_2 = = (1…1.5) мм, шаг штырей S = (5…7) мм, толщина основания радиатора v = (4…5) мм.

4. Определяется коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{Nu\lambda_в}{d_{экв}},$$

где $d_{экв} = \frac{d_1 + d_2}{2}$, $\lambda_в = 2.27 * 10^{-2}$ Вт/(м град) – коэффициент теплопроводности воздуха.

$$Nu = 0.47\left(\frac{d_{экв}^3 g}{\upsilon^2}\beta(T_s - T_c)\right)^{0.25};$$

$\upsilon = 15.8 * 10^{-6}$ $\left[\frac{м^2}{с}\right]$ – кинематическая вязкость воздуха, $\beta = \frac{1}{T_s}$ g = 9.8 [м/с] – ускорение свободного падения.

5. Периметр U и площадь f поперечного сечения штыря равны:

$$U = \pi d_{экв}, \qquad F = \frac{\pi d_{экв}^2}{4}.$$

6. Находится теплоотдача единичного штыря:

$$Q_{шт} = 1.14 * \theta * th(h)\sqrt{\alpha U F \lambda_р},$$

$\lambda_р = 380$ Вт/(м °К) – коэффициент теплопроводности материала радиатора.

7. Вычисляется общее количество штырей радиатора $n = \frac{P}{Q_{шт}} C_1$, где $C_1 = 0.6$.

8. Площадь основания радиатора равна:

$$S_p = ns^2.$$

9. Длина L и ширина B радиатора равны:

$$B = \sqrt{\frac{S_p}{2}}, \qquad L = 2B.$$

Сравнительный анализ и выбор оптимальных вариантов

Пусть дано:

P = 5 Вт – мощность, выделяемая элементом;

T_c = 296 К – температура окружающей среды;

T_{max} = 353 К – максимальная температура перегрева элемента.

Найти: размеры пластинчатого и игольчато-штыревого радиаторов.

Расчет проводится с учетом следующих соотношений (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные соотношения

Для пластинчатого радиатора:	Для игольчато-штыревого радиатора:
1) $t = T_{max} - P(R_{пк} + R_{кр}) = 352{,}9$ [°К],	1) $T_s = K_1 T_{max} - P(R_{пк} + R_{кр}) = 338{,}8$ [°К],
2) $\Delta t = t - T_c = 52{,}9$ [°К], $\Delta T_c = K_2 \Delta t = 43{,}3$ [°К],	2) $\theta = T_c - \frac{t_1 - t_2}{2} = 296{,}5$ [°К],
3) $R_{рс} = \frac{\Delta T_c}{P} = 42{,}3$ $[\frac{°К}{Вт}]$,	3) Пусть h = 3 мм, $d_2 = 1$ мм, S = 1.5 мм, v = 3 мм
4) $S_р = \frac{1}{R_{рс}\alpha} = 4000$ [мм^2],	4) $\alpha = \frac{Nu\lambda_в}{d_{экв}} = 17.9$, где $d_{экв} = \frac{d_1 + d_2}{2} = 1$ [мм], $Nu = 0.47(\frac{d_{экв}^3 g}{\upsilon^2}\beta(T_s - T_c))^{0.25} = 0{,}716$
5) $S_0 = \frac{S_р}{K_s + 1} = 563$ [мм^2],	$\upsilon = 15.8 \cdot 10^{-6}$ $[\frac{м^2}{с}]$, $\beta = \frac{1}{T_s}$,
6) $D = \sqrt{\frac{S_0}{K_4}} = 24$ [мм], $M = K_4 D = 23$ [мм],	5) $U = 2d_{экв} = 2$ [мм], $F = d_{экв}^2 = 1$ [мм^2],
7) $n = \frac{(K_s - 1)D}{2h} = 4$, $b = \frac{D - nv}{n - 1} = 7$ [мм]	6) $Q_{шт} = 1.14 * \theta * th(h)\sqrt{\alpha U F \lambda_р} = 7$ [мВт], где $\lambda_р = 380$ [Вт/(м °К)],
	7) $n = \frac{P}{Q_{шт}} C_1 = 81$, где $C_1 = 0.6$
	8) $S_p = [d_{экв}\sqrt{n} + (\sqrt{n} - 1)s]^2 = 436$ [мм^2]
	9) $B = \sqrt{\frac{S_p}{2}} = 21$ [мм], $L = B = 21$ [мм]

Результаты расчета вариантов радиаторов для принятого ТЗ из различных материалов, при одинаковой площади поверхности можно представить табл. 2.

Таблица 2

Множество полученных вариантов пластинчатых радиаторов

	Материал, площадь S, мм^2	Температура радиатора T, °C	Условная стоимость радиатора
P = 5 Вт	Пластинчатые радиаторы		
	Медь Cu, S=2486	43	250
	Алюминий Al, S=2486	52	100
	Латунь, S=2486	47	200
	Штыревые радиаторы		
	Медь Cu, S=2486	38	300
	Алюминий Al, S=2486	49	200
	Латунь, S=2486	42	230

Экспериментальная проверка результатов автоматизированного проектирования радиаторов

В качестве экспериментального объекта исследования использовался микропроцессор типа TMS320C6455 в составе модуля цифровой обработки сигналов (ЦОС), обладающий мощностью 5 Вт и максимальной допустимой температурой корпуса 80 °С.

Первоначально в эксперименте исследовался процесс установления стационарного теплового режима для микропроцессора без радиатора и с радиаторами разного типа при постоянной подведенной мощности.

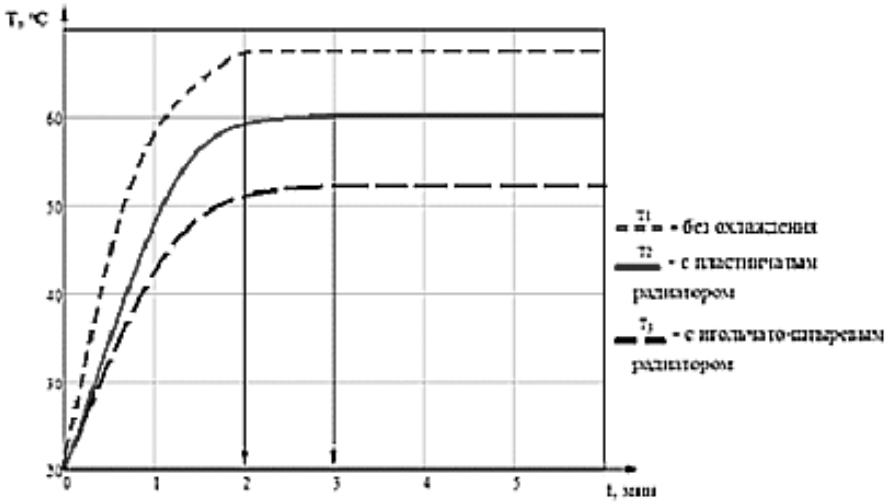


Рис. 7. Время установления теплового стационарного режима

Из графиков видно, что время установления стационарного теплового режима микропроцессора с использованием радиаторов больше, чем без них, а время установления температуры интегрально не превышает 3 минут.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что каждый из исследованных радиаторов обеспечивает требуемый тепловой режим ≤ 80 °С. При этом пластинчатый радиатор обеспечивает температуру +60 °С, а игольчато-штыревой +53 °С.

Многокритериальный выбор радиаторов в программе «Выбор 12М»

Выбор оптимального варианта проводился среди пластинчатых и игольчато-штыревых радиаторов из различных материалов для одинаковой площади – *S* и сравнении по максимальной температуре и приведенной стоимости – *C*.

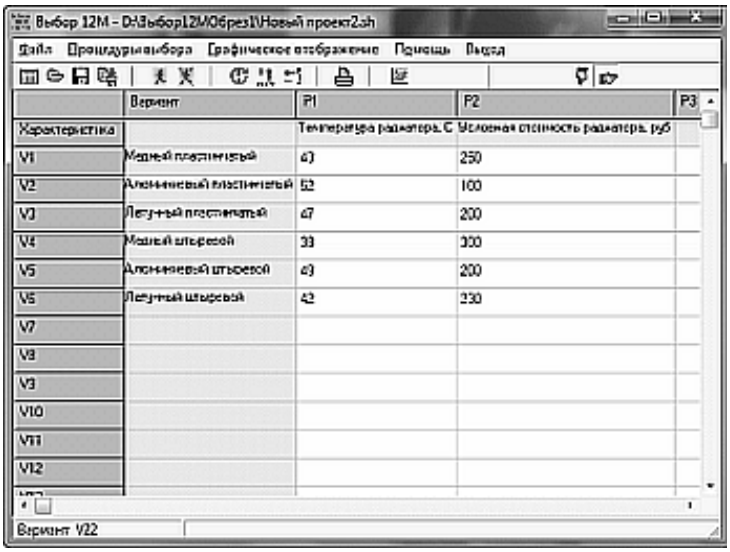


Рис. 8. Исходное множество альтернатив пластинчатых радиаторов (скрин из программы «Выбор 12М»)

Выбор нехудших вариантов по критерию Парето

Анализ альтернатив осуществляется по критерию Парето, для которого

$$K_L(\omega_I) \le K_L(\omega_J) / \omega_I \succ \omega_J; \quad \forall L = \{1, M\};$$

$$I \ne J; \quad I, J = \{1, N\},$$

причем хотя бы для одного l такое неравенство является строгим.

Например: мы хотим максимизировать площадь радиатора и минимизировать его стоимость в программе «Выбор 12М» по критерию Парето [6].

В результате получаем следующие 4 варианта радиаторов: № 2 – алюминиевый пластинчатый радиатор и № 3 – латунный пластинчатый радиатор; № 4 – медный штыревой и № 6 – латунный штыревой. Графически это показано на рис. 10.

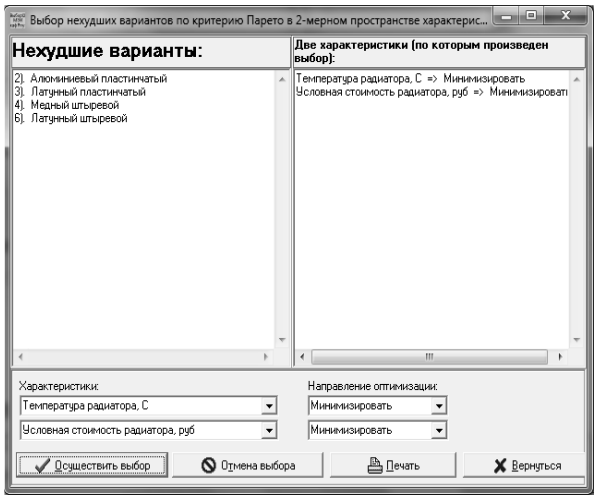


Рис. 9. Выбор нехудших вариантов по критерию Парето

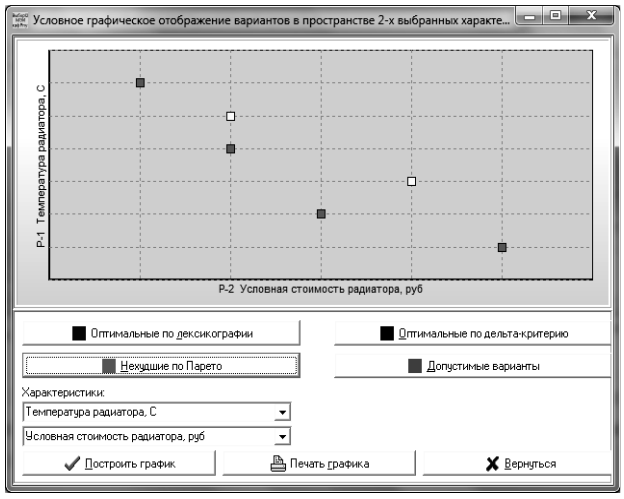


Рис. 10. Графическая интерпретация выбора по π-критерию

Выбор лучших вариантов по лексикографическому (*L*) критерию

Оптимизируемые характеристики задаются в порядке убывания их приоритетов.

Пусть необходимо: минимизировать температуру нагрева радиатора и минимизировать его стоимость.

Задав нужные направления оптимизации соответствующих характеристик мы получаем единственное решение по лексикографическому критерию – вариант № 2 – алюминиевый пластинчатый радиатор.

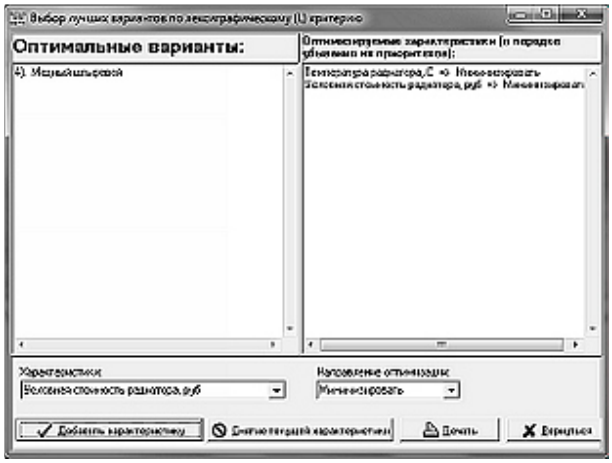


Рис. 11. Выбор лучших вариантов по *L*-критерию

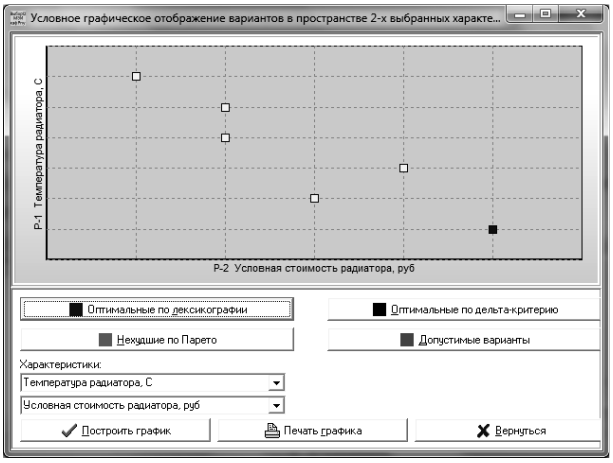


Рис. 12. Графическая интерпретация выбора по *L*-критерию

В табл. 3 представлены результаты выбора оптимальных вариантов проектирования радиаторов по π и *L*-критериям.

Таблица 3

Оптимальные варианты радиаторов для различных критериев

Критерий	№№ оптимальных вариантов
π(Ω/{T,C})	2, 3, 4, 6
L(Ω/<T,C>)	4

Как видно из результатов проведения многовариантного выбора безусловный критерий (критерий Парето) гораздо меньше усекает исходное множество вариантов, чем условный критерий (*L*-критерий).

Выводы

В статье предложена методика и алгоритм многовариантного автоматизированного многокритериального проектирования пластинчатых и игольчато-штыревых радиаторов, позволяющая рассчитать необходимые характеристики радиатора для заданных ограничений по температуре.

В результате экспериментальных исследований было определено время установления стационарного теплового режима радиатора для процессора и с помощью тепловизора замерена температура источника тепла без охлаждения и с использованием радиаторов. Так же каждый из исследованных радиаторов обеспечивает требуемый тепловой режим ≤ 80 °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Intel. High Performance Non-Planar Tri-gate Transistor Architecture. September 17, 2002. www.intel.com

2. Intel. New Transistors for 2005 and Beyond. November 26, 2001. www.intel.com

3. *Кандырин, Ю.В., Хватынец, С.А.* Автоматизированный многокритериальный выбор системы охлаждения процессоров // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. Т. 1. № 1(27). С. 77–82.

4. *Роткоп, Л.Л., Спокойный, Ю.Е.* Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. Радио, 1976. 236 с.

5. *Бородин, С. М.* Обеспечение тепловых режимов в конструкциях радиоэлектронных средств : методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Проектирование РЭС» для студентов, обучающихся по специальности 21020165 направления 200800 «Проектирование и технология электронных средств» / С. М. Бородин. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 52 с.

6. *Кандырин, Ю.В., Краячич, А.В.* Автоматизированный многокритериальный выбор компонентов конструкций РЭС. – М: Изд-во МЭИ, 2005. – 24с.

7. *Kandyrin, Y., Kamaev, V. Kononov, M., Shkurina, G.* Algorithm of Organization of Variants in the Electronic Quick References of CAD // 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. 416–422. – (Ser. Communications in Computer and Information Science. Vol. 535).

8. *Камаев, В.А., Кандырин, Ю.В.* Онтологические предпосылки проектной деятельности и САПР / Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 20. № 6(133). С. 97–102.

9. *Averchenkov, V., Roschin, S., Rytov, M., Averchenkov, A., Kamaev, V.* Conceptual Model of Monitoring Information on the Internet (2015) International Journal of Soft Computing, 10 (3), pp. 220–225.

10. *Fomenkov, S.A., Korobkin, D.M., Kolesnikov, S.G., Kamaev, V.A., Kravets, A.G.* The automated methods of search of physical effects (2015) International Journal of Soft Computing, 10 (3), pp. 234–238.

УДК 658.512.2

В. С. Сорокин, А. А. Яковлев, С. Н. Мишустина

МЕТОДИКА СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ С ЖИДКИМ И ГАЗООБРАЗНЫМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ

Волгоградский государственный технический университет

s.o.r.o.k.i.n@mail.ru, yaa_777@mail.ru, svt4656@mail.ru

В статье описана методика, позволяющая путем построения модели физического принципа действия получить множество возможных технических решений систем охлаждения и определить наиболее перспективные варианты для конструктивной реализации. В частности, выделена предметная область для данной методики, уточнена модель физического принципа действия систем охлаждения, разработан алгоритм построения модели и определены основные структуры данных для информационной поддержки разработки модели физического принципа действия.

Ключевые слова: физический принцип действия, техническое решение, система охлаждения, рабочее тело.

© Сорокин В. С., Яковлев А. А., Мишустина С. Н., 2016

V. S. Sorokin, A. A. Yakovlev, S. N. Mishustina

THE SYNTHESIS FOR PHYSICAL WORKING PRINCIPLE GRAPH MODEL OF COOLING SYSTEMS WITH LIQUID AND GASEOUS WORKING BODY TECHNIQUE

Volgograd State Technical University

The article describes the technique which allows getting sets of possible cooling systems technical solutions by means of development physical working principle graph model. This technique also enables determining the most perspective constructional elements for implementation. Particularly, the subject area for this technique has been defined, physical working principle graph model of cooling systems has been specified, the algorithm of physical working principle graph model development has been made and main data structures for information support of physical working principle graph model development have been determined.

Keywords: physical working principle, technical solution, cooling system, working body.

В данной статье рассматриваются некоторые аспекты поискового конструирования систем охлаждения, в частности, этап разработки модели физического принципа действия (ФПД), на основе которой можно получить множество возможных технических решений систем охлаждения и определить наиболее перспективные варианты для конструктивной реализации.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что в настоящее время наблюдается потребность в более глубокой теоретической проработке методологии начальных этапов проектирования систем рассматриваемого класса. Это обстоятельство сдерживает рост производительности труда проектировщиков и тормозит процессы автоматизации самых творческих – начальных этапов проектирования технических систем.

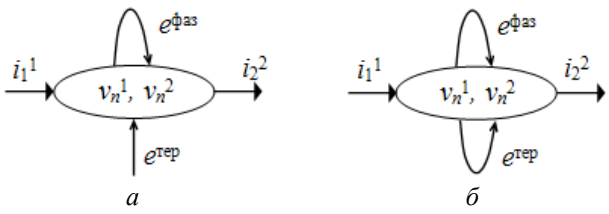
В работах [1, 2] рассмотрены основные положения и область применения инженерно-физического метода поискового конструирования преобразователей энергии. Его главное преимущество заключается в использовании новой модели ФПД, позволяющей на основе принципов феноменологической термодинамики выявить функции конструктивных элементов, а затем сформировать матрицу технических решений для дальнейшей конструктивной проработки наиболее перспективных вариантов.

Как показал наш анализ, теоретические положения этого метода могут быть успешно использованы для систем охлаждения. Был проведен анализ частных и общих классификаций, позволивший выделить предметную область данной методики. Она распространяется на системы охлаждения с рабочим телом, находящимся в газообразном и/или жидком состоянии. Характерными представителями таких технических систем являются парокомпрессионные, пароэжекторные, абсорбционные, газовые, воздушные холодильные установки, системы тонкого распыления, испарительные, вакуумно-испарительные, вакуумно-барботажные и многие другие системы охлаждения.

В системах охлаждения используется достаточно ограниченный набор физических явлений – фазовые переходы хладагента (кипение, испарение, конденсация, сублимация, плавление), дросселирование газов и жидкостей, адиабатическое расширение и расширение с совершением внешней работы, вихревой эффект, абсорбция газов и десорбция газов из растворов, эжекция.

Так как в основе модели ФПД заложены такие понятия как характерная точка, термодинамическое взаимодействие, поток рабочего тела, объекты окружения с соответствующей функциональной нагрузкой, то для каждого физического явления необходимо дать соответствующую интерпретацию характерных точек на графе ФПД.

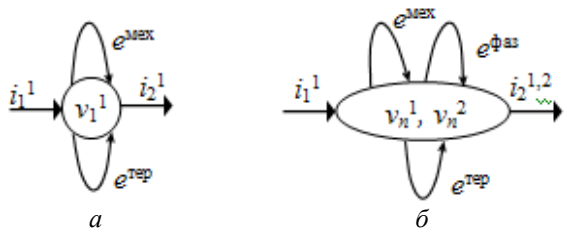
Например, охлаждение за счет кипения хладагента на графе модели ФПД представляется следующими узлами (рис. 1). Процесс кипения, осуществляющийся при подводе тепла от внешнего источника, показан на рис. 1, *а*. На рис. 1, *б* показан тот же процесс без подвода теплоты.



а *б*

Рис. 1. Графическое представление процесса кипения: $v_n{}^1$, $v_n{}^2$ – хладоагент в жидком и газообразном состоянии соответственно; $i_1{}^1$ – поток жидкого хладоагента; $i_2{}^2$ – поток газообразного хладоагента; $e^{фаз}$ – фактор экстенсивности, сопряженный с фазовой формой движения; $e^{тер}$ – фактор экстенсивности, сопряженный с термической формой движения

Аналогичным образом на графе модели ФПД представляется процессы испарения, конденсации, сублимации и плавления. На рис. 2, *а* показано представление процесса дросселирования газа, основанное на резком снижении давления газа при прохождении через суженное отверстие (вентиль, дроссель), а на рис. 2, *б* показан процесс дросселирования жидкостей.



а *б*

Рис. 2. Графическое представление процессов дросселирования газа и жидкостей

Графическое представление процессов расширения газа с совершением внешней работы показано на рис. 3, *а*. Адиабатическое расширение газа – процесс, протекающий без теплообмена между рабочим телом (газом) и окружающей средой представлено на рис. 3, *б*.

а *б*

Рис. 3. Графическое представление процессов расширения газа

На рис. 4 показан вихревой эффект Ранка – Хильша, который создается с помощью специального устройства – вихревой трубы – и в результате которого происходит разделение теплого и холодного воздуха в закрученном потоке.

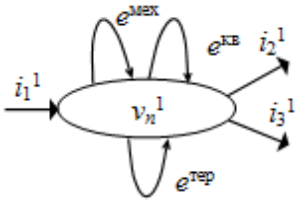


Рис. 4. Графическое представление эффекта Ранка–Хильша:
v_n^1 – газ в вихревой трубе; i_1^1 – поток сжатого газа в сопловом вводе вихревой трубы; i_2^1 – горячий поток газа; i_3^1 – холодный поток газа; $e^{мех}$ – фактор экстенсивности, сопряженный с механической формой движения; $e^{тер}$ – фактор экстенсивности, сопряженный с термической формой движения; $e^{кв}$ – фактор экстенсивности, сопряженный с кинетической (вращения) формой движения

Принципиальная схема эжектора и графическое представление процессов, происходящих в нем, показано на рис. 5. Рабочая среда (газ или пар высокого давления) выходит из сопла *1* (вершина v_1^1) и поступает в камеру смешения *2* (вершина v_2^1). Сюда же поступает из всасывающей камеры *3* подлежащая сжатию подсасываемая среда (газ или пар низкого давления). Из камеры смешения смесь этих двух сред поступает в диффузор *4*, в котором кинетическая энергия струи переходит в потенциальную энергию с повышением давления.

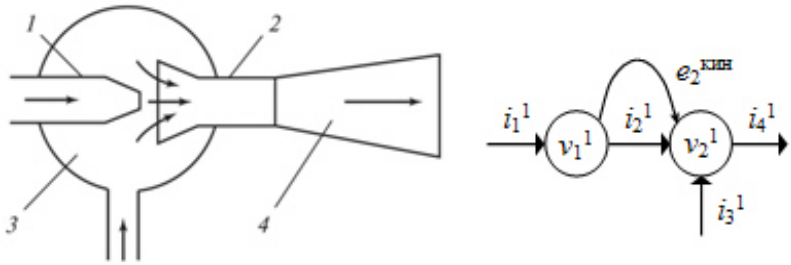


Рис. 5. Графическое представление физических процессов в эжекторе:
v_1^1 – рабочая среда в сопле эжектора; v_2^1 – рабочая и подсасываемая среда в камере смешения; i_1^1 – входной поток рабочей среды; i_2^1 – поток рабочей среды, выходящей из сопла; i_3^1 – поток подсасываемой среды; i_4^1 – выходной поток рабочей среды; $e^{кин}$ – фактор экстенсивности, сопряженный с кинетической формой движения

Такие представления физических явлений позволяют разрабатывать модели ФПД самых различных системах охлаждения согласно положениям, изложенным в работах [3, 4]. На рис. 6 в качестве примера приведена принципиальная схема пароводяной эжекторной холодильной установки, а на рис. 7 – разработанная для нее модель ФПД.

Аналогичные модели ФПД были разработаны для газовой криогенной машины, работающей по обратному циклу Стирлинга, турбохолодильной машины, парокомпрессионной и бромид-литиевой абсорбционной холодильных установок, а также многих других систем охлаждения, что продемонстрировало продуктивность инженерно-физического подхода для рассматриваемого класса технических систем.

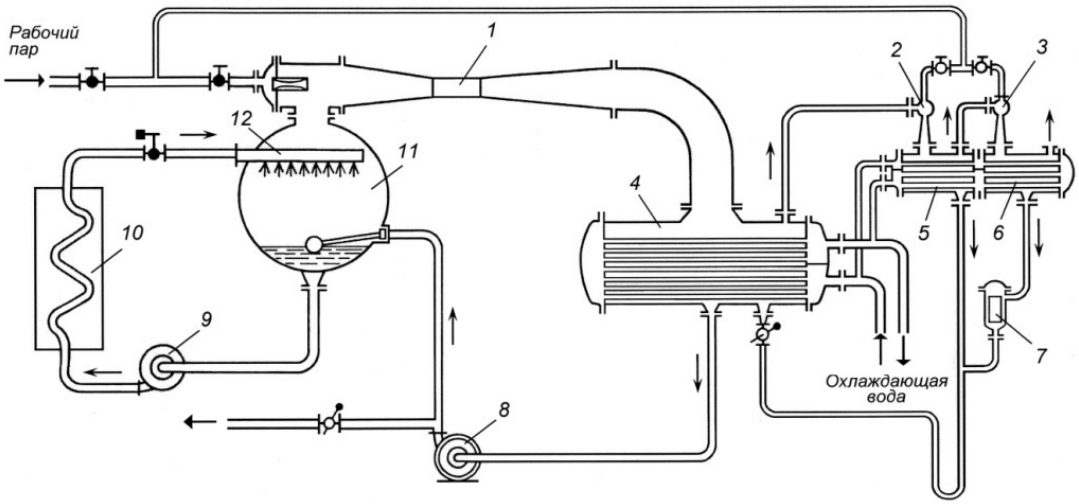


Рис. 6. Схема пароэжекторной холодильной установки:
1 – главный эжектор; *2, 3* – вспомогательные эжекторы нижней и верхней ступеней; *4* – главный конденсатор; *5, 6* – вспомогательные конденсаторы нижней и верхней ступеней; *7* – поплавковый вентиль; *8* – конденсатный насос; *9* – холодноводный насос; *10* – потребитель холода; *11* – испаритель; *12* – распределительная гребенка

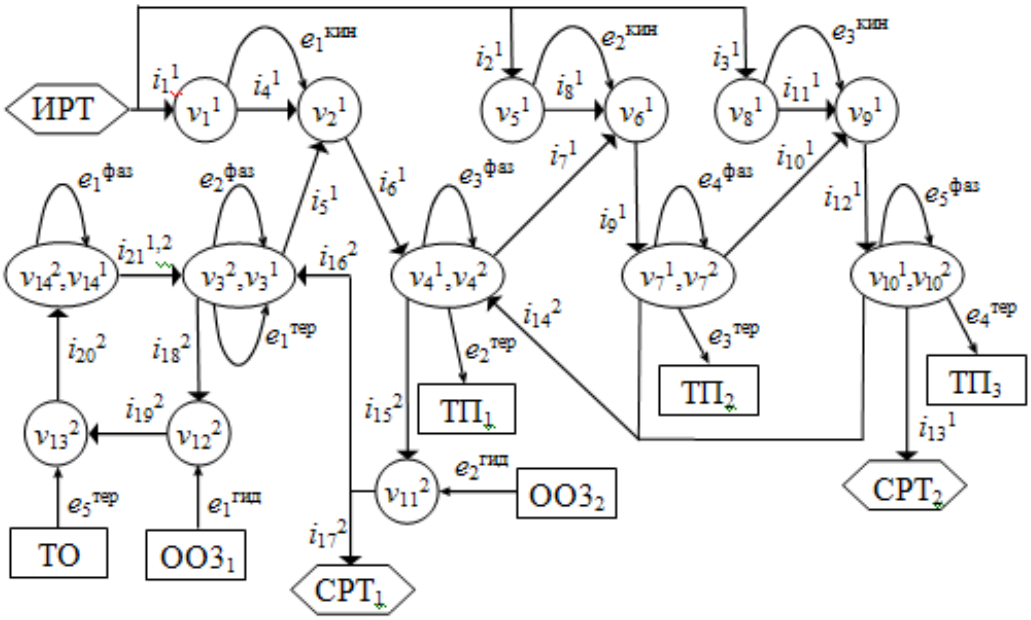


Рис. 7. Модель ФПД пароэжекторной установки

Последовательность построения моделей ФПД показана в виде блок-схемы на рис. 8 и состоит из двух последовательно выполняемых циклов с постусловием, охваченных структурой альтернатива с одним действием. Наличие циклов с постусловием предполагает, что каждая процедура, входящая в тело данного цикла, должна быть выполнена хотя бы один раз. Таким образом, данная структура методики полностью соответствует принципам структурного программирования.

Для каждой характерной точки графа ФПД рассматриваемой системы делаются записи в таблице *A*1 со структурой

$$S_{A1} = \{a_1^1, a_1^2, a_1^3, a_1^4, a_1^5\}, \qquad (1)$$

где *A*1 – наименование реляционной таблицы – Характерные точки системы охлаждения; a_1^1 – порядковый номер кортежа таблицы; a_1^2 – обозначение характерной точки графа ФПД; a_1^3 – семантическое описание вершины; a_1^4 – описание состояний хладагента в точке (верхний индекс в обозначении характерной точки); a_1^5 – обозначение унитарной системы охлаждения.

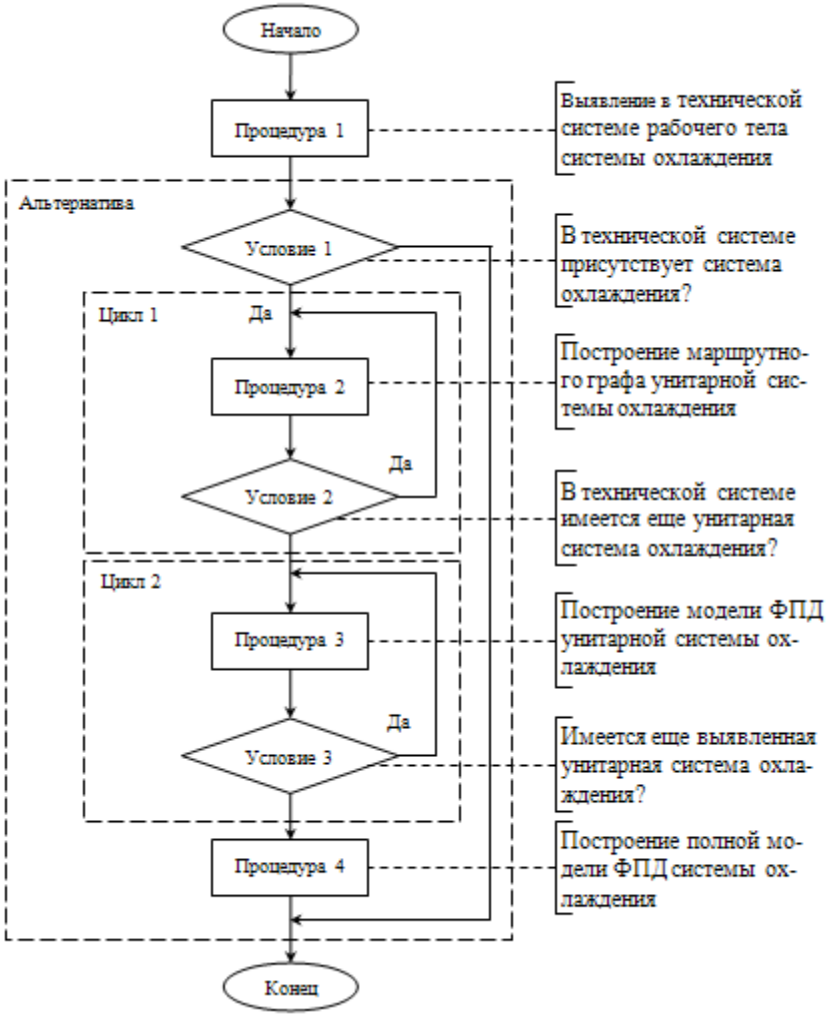


Рис. 8. Последовательность выполнения процедур методики построения модели ФПД

Для каждого истока и стока рабочего тела создаются записи в таблице *A*2 со схемой

$$S_{A2} = \{a_2^1, a_2^2, a_2^3, a_2^4, a_2^5\}, \qquad (2)$$

где *A*2 – наименование реляционной таблицы – Объекты окружения; a_2^1 – порядковый номер кортежа таблицы; a_2^2 – обозначение объекта окружения; a_2^3 – тип объекта окружения; a_2^4 – семантическое описание; a_2^5 – обозначение унитарной системы охлаждения.

Выявляются потоки хладагента, связывающие вершины графа ФПД и для каждого потока сделать записи в таблице *A*3 со схемой

$$S_{A3} = \{a_3^1, a_3^2, a_3^3, a_3^4\}, \qquad (3)$$

где a_3^1 – порядковый номер кортежа таблицы; a_3^2 – обозначение дуги на графе; a_3^3 – семантическое описание дуги; a_3^4 – обозначение унитарной системы охлаждения.

Описание взаимодействий, осуществляемых в характерных точках унитарной системы охлаждения осуществляется в формуляре таблицы *A*4 со схемой

$$S_{A4} = \{a_4^1, a_4^2, a_4^3, a_4^4, a_4^5, a_4^6\}, \qquad (4)$$

где a_4^1 – порядковый номер кортежа таблицы; a_4^2 – обозначение фактора экстенсивности; a_4^3 – обозначение объекта окружения или характерной точки, являющегося источником фактора экстенсивности; a_4^4 – обозначение объекта окружения или характерной точки, являющегося приемником фактора экстенсивности; a_4^5 – семантическое описание дуги; a_4^6 – обозначение унитарной системы охлаждения.

Такое структурирование информации позволяет перейти к этапу автоматизации отдельных процедур при построении моделей ФПД систем охлаждения. При этом информация фиксируется в виде таблиц, что позволяет использовать хорошо зарекомендовавший себя инструментарий реляционных СУБД для поддержки программных приложений.

В ы в о д ы

1. Предлагаемая методика позволяет сформировать матрицу технических решений систем охлаждения с газообразным и жидким рабочим телом. Главным ее преимуществом является то, что получаемые технические решения не содержат функционально несовместимых элементов.

2. Описанный подход позволяет не только открывает широкие перспективы автоматизации данного этапа проектирования, но и повышает вероятность получения нового технического решения с форсированным уровнем качества.

3. Новая методика поискового конструирования систем охлаждения позволяет по-новому обучать процессу проектирования. С ее помощью можно не только изучать уже существующие схемы систем охлаждения, но и понимать принципы их создания и способы трансформации технических систем для получения новых, более прогрессивных технических решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Камаев, В. А*. Обучение концептуальному проектированию преобразователей энергии на базе системного подхода / В. А. Камаев, А. А. Яковлев // Открытое образование. – 2005. – № 5 (52). – С. 62–69.

2. *Яковлев, А. А*. Метод синтеза технических решений технологических лазеров на углекислом газе / А. А. Яковлев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 2(17). С. 118–120.

3. *Яковлев, А. А*. Системный подход к разработке технических решений энергоустановок на начальных этапах проектирования / А. А. Яковлев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2006. Т. 2. №2(17). С. 120–123.

4. *Яковлев, А. А*. Автоматизация поиска улучшенных вариантов технических решений преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. Т. 1. № 1(27). С. 115–117.

УДК 681.5.01:621.396

М. Хла, Ю. В. Кандырин

САПР РЕЗИСТИВНЫХ МИКРОСБОРОК

Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
ywk@mail.ru

Рассмотрена методика и принципы построения САПР резистивных микросборок для промышленного и частного применения. Разработаны алгоритм многовариантного проектирования групп резисторов с помощью морфологического синтеза и алгоритм многокритериального анализа вариантов. Реализован выбор нехудших и лучших вариантов резистивной микросборки по критериям Парето и *L*-критерию.

Ключевые слова: САПР резистивных микросборок, многовариантный синтез, многокритериальный анализ, критерий Парето, *L*-критерий.

M. Hla, Yu. V. Kandyrin

CAD RESISTIVE MICROASSEMBLIES

National Research University "Moscow Power Institute"

The technique and the principles of creation of Computer-Aided Design System(CADS) of resistive microassemblies for industrial and private application are considered. Algorithm of multiple designs of groups of resistors on a substrate by using morphological synthesis and algorithm of the multicriteria analysis of options are developed. The choice of not-worst and best options of resistive microassembly by Pareto's criteria, L-to criterion is realized.

Keywords: CADS of resistive microassemblies, multivariate synthesis, multi-criteria analysis, Pareto's criterion, *L*-criterion.

Введение

Тонкопленочные резистивные микросборки (МС) широко используются при разработке радиоэлектронных средств, например, для цепей развязки по постоянному току, создания нагрузочных резисторов для КМОП-схем, помехоподавляющих фильтров, матриц R2R, делителей, несимметричных SCSI-терминаторов и т. д. Они состоят из групп резисторов и их объединений. Резисторы в них изготавливаются в виде функциональных пленок толщиной менее 1 мкм, нанесенных на диэлектрическую подложку. Они располагаются на сравнительно небольших расстояниях друг от друга и изготавливаются в одном технологическом цикле. Это позволяет достичь малых разбросов их технологических пара-

© Хла М., Кандырин Ю. В., 2016

метров. Температура при эксплуатации также оказывает намного меньшее влияние на микросборку, чем на дискретные элементы, так как у всех *R*-элементов микросборки одинаковые температурные коэффициенты и изменение температуры почти не изменяет соотношения элементов друг к другу, что позволяет минимизировать разброс параметров элементов, повышая тем самым надежность всего устройства и уменьшая размеры устройств. Создание САПР микросборок позволяет повысить качество и сократить время на их разработку, поэтому актуальность задачи не вызывает сомнения.

Методика и структура САПР тонкопленочных микросборок

Главная особенность предлагаемой методики – это *многовариантный* подход к проектированию группы резисторов на подложке и *многокритериальный* выбор варианта, наилучшим образом удовлетворяющего поставленному на проектирование техническому заданию (ТЗ). При этом каждый вариант группы резисторов должен содержать в себе резисторы с рассчитанными геометрическими размерами, для определенных материалов и технологий их изготовления. Расчет группы тонкопленочных резисторов предполагает определение формы, геометрических размеров, площади, занимаемой резисторами на подложке при ограничениях на рассеиваемую мощность с проверкой требуемой точности их технологического исполнения [1]. Исходными данными для расчета геометрии резисторов являются: сопротивления резисторов R_i [Ом]; мощность рассеяния на резисторе P_i [мВт]; допуск на номинал γ_{Ri} [%]; рабочий диапазон температур ($T_{\min} – T_{\max}$) [°C]; ограничения, накладываемые технологией изготовления.

Комбинаторный синтез вариантов при проектировании групп резисторов целесообразно проводить методом морфологического «ящика» [2]. В качестве морфологических признаков (МП) можно принять: $МП_1$ – материал резистора, $МП_2$ – вид используемой технологии получения рисунка (фотолитографический метод, масочный метод, масочно-фотолитографический метод, электронно-ионное напыление). Вид морфологической таблицы для генерации вариантов представлен ниже. Число комбинаторных сочетаний при формировании вариантов проектов составит $N = \prod_{i=1}^{M} K_i$, где K_i – число вариантов реализации каждого из морфологических признаков.

Морфологическая таблица синтеза вариантов групп резисторов

МП	Реализации морфологических признаков									
М1	$К_{11}$	$К_{12}$	$К_{13}$	$К_{14}$	$К_{15}$	$К_{16}$	$К_{17}$	$К_{18}$	….	$К_{1,15}$
М2	$К_{21}$		$К_{22}$			$К_{23}$			$К_{24}$	

Здесь ($К_{11} – К_{1,15}$) – материалы резисторов; ($К_{21} – К_{24}$) – тип технологии (Ф, М, М-Ф, Э-И).

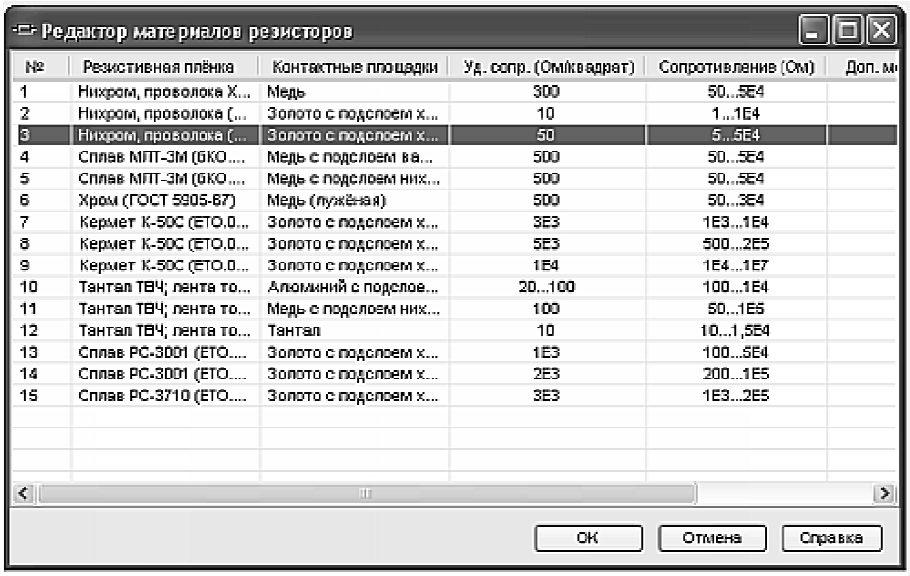


Рис. 1. Скрин окна ввода и редактирования материалов резисторов МС

В программе «Микродизайнер», разработанной на кафедре РПУ МЭИ (авторы: Кандырин Ю. В., Ацюковский А. А.), вид таблицы для ввода и редактирования вариантов материалов резисторов представлен рис. 1.

Окно редактора для ввода и редактирования технологий представлено на рис 2.

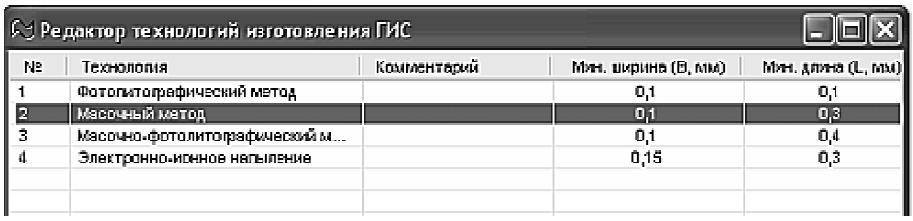


Рис. 2. Скрин окна ввода и редактирования технологий

Расчет каждого варианта при морфологическом переборе начинается с оценки его реализуемости. Если хоть один резистор в группе резисторов не удовлетворяет ограничениям на коэффициент формы или превышает заданную мощность рассеяния – рассчитанный вариант отбрасывается. Таким образом, удается на первом же этапе сократить число рассматриваемых вариантов.

Расчет варианта группы резисторов

Порядок расчета для одного варианта группы резисторов следующий [1], [3]:

Определяют оптимальное сопротивление квадрата резистивной пленки с точки зрения минимума занимаемой площади:

$$\rho_{Sopt} = \sqrt{\frac{\sum_1^n R_i}{\sum_1^n \frac{1}{R_i}}},$$

где n – число резисторов в группе.

Определяют коэффициент формы $K_{\phi i}$ каждого резистора

$$K_{\phi i} = \frac{R_i}{\rho_S},$$

где R_i – номинал i-го резистора; ρ_S – удельное поверхностное сопротивление квадрата резистивной пленки.

Если коэффициент формы $K_\phi < 1$, принимают резистор прямоугольной формы (рис. 3), у которого длина меньше ширины. Если $1 < K_\phi < 10$ (рис. 4), резистор принимают прямоугольной формы типа «полоска». Если же $K_\phi > 10$ (рис. 5), то резистор реализуют как меандр.

Для резисторов с $K_\phi < 1$ сначала определяют ширину, а затем длину резистора.

Расчетное значение ширины резистора должно быть не менее наибольшего значения одной из трех величин $b_{\text{расч}} \geq \max(b_{\text{техн}}, b_{\text{точн}}, b_P)$, где $b_{\text{техн}}$ – минимальная ширина резистора, определяемая технологией изготовления; $b_{\text{точн}}$ – ширина резистора, определяемая точностью изготовления $b_{\text{точн}} \geq \sqrt{\frac{\Delta b^2 + \left(\Delta l / K_\phi\right)^2}{\gamma^2_{\text{Кф.доп.}}}}$, ($\Delta b$, Δl – погрешности изготовления длины и ширины резистора, зависящие от технологии изготовления); b_P – минимальная ширина резистора, обеспечивающая заданную мощность $b_P = \sqrt{\frac{P \cdot \rho_S}{P_0 \cdot R}} = \sqrt{\frac{P}{P_0 \cdot K_\phi}}$.

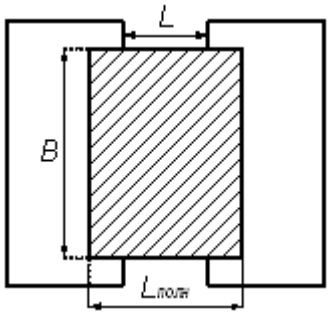


Рис. 3. Резистор с $K_\phi < 1$

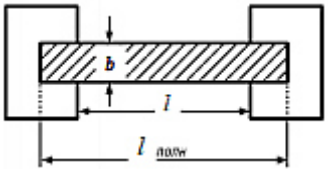


Рис. 4. Резистор с $1 < K_\phi < 10$

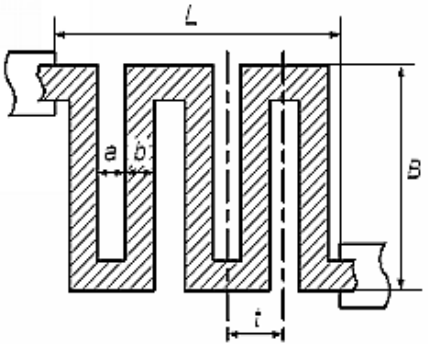


Рис. 5. Резистор с $K_\phi > 10$

За ширину b резистора принимают ближайшее к $b_{\text{расч}}$ большее значение, кратное шагу координатной сетки.

Далее находят расчетную длину резистора $l_{\text{расч}} = b \cdot K_{\text{ф}}$.

За длину l резистора принимают ближайшее к $l_{\text{расч}}$ значение, кратное шагу координатной сетки, принятому для чертежа топологии с учетом масштаба.

Определяют полную длину резистора с учетом перекрытия контактных площадок $l_{\text{полн}} = l + 2 \cdot e$, где e – размер перекрытия резистора и контактных площадок. Площадь, занимаемая резистором на подложке $S = l_{\text{полн}} \cdot b$.

Для резисторов с $1 < K_{\text{ф}} < 10$ сначала определяют длину, а затем ширину резистора. Расчетное значение длины резистора $l_{\text{расч}}$ выбирают из условия

$$l_{\text{расч}} \geq \max(l_{\text{техн}}, l_{\text{точн}}, l_P),$$

где $l_{\text{техн}}$ – минимальная длина резистора, определяемая разрешающей способностью выбранного метода изготовления; $l_{\text{точн}}$ – минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная точность $l_{\text{точн}} = \sqrt{\dfrac{\Delta l^2 + \Delta b^2 \cdot K_{\text{ф}}^2}{\gamma_{\text{Кф}}^2}}$; l_P – минимальная длина резистора, при которой рассеивается заданная мощность $l_P = \sqrt{\dfrac{P \cdot K_{\text{ф}}}{P_0}}$.

За длину l резистора принимают ближайшее к $l_{\text{расч}}$ значение, кратное шагу координатной сетки, принятому для чертежа топологии. Расчетное значение ширины резистора определяют по формуле $b_{\text{расч}} = \dfrac{l}{K_{\text{ф}}}$. За ширину b резистора принимают ближайшее к $b_{\text{расч}}$ значение, кратное шагу координатной сетки. Для проверки находят действительную удельную мощность и погрешность резистора. Резистор спроектирован удовлетворительно, если:

– удельная мощность рассеяния $P_0^{'}$ не превышает допустимого значения P_0

$$P_0^{'} = \frac{P}{S} \leq P_0;$$

– погрешность коэффициента формы $\gamma_{\text{Кф}}^{'}$ не превышает допуска $\gamma_{\text{Кф.доп}}$

$$\gamma_{\text{Кф}}^{'} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l_{\text{полн}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2} \leq \gamma_{\text{Кф.доп.}};$$

– суммарная погрешность $\gamma_R^{'}$ не превышает допуска γ_R

$$\gamma_R^{'} = \sqrt{\gamma_{\rho S}^2 + \gamma_{\text{Кф}}^2 + \gamma_{Rt}^2 + \gamma_{Rk}^2 + \gamma_{Rcm}^2} \leq \gamma_R.$$

Расчет тонкопленочных резисторов при $K_{\text{ф}} > 10$ предполагает расчет резисторов в форме меандра. При этом сумма длин резистивных полосок должна быть равна длине, определенной по формуле $l = b \cdot K_{\text{ф}}$ (рис. 5).

Резисторы типа «меандр» рассчитывают из условия минимальной занимаемой площади. Вначале определяют длину средней линии меандра $l_{\text{ср}} = b \cdot K_{\text{ф}}$ и задают расстояние между резистивными полосками a. С учетом технологических ограничений при масочном методе $a_{\min} = 30$ мкм, при фотолитографии $a_{\min} = 100$ мкм (обычно задают $a = b$).

Находят шаг одного звена меандра $t = a + b$ и определяют оптимальное число звеньев меандра $n_{\text{опт}}$ из условия, чтобы площадь, занимаемая таким резистором, была минимальной. Это будет в случае, когда меандр вписывается в квадрат ($L = B$). Если отношение длины средней линии меандра к ширине резистивной полоски больше 10, то оптимальное число звеньев меандра может быть вычислено по приближенной формуле $n_{\text{опт}} \approx \sqrt{\dfrac{l_{\text{ср}}}{t} \cdot \dfrac{B}{L}}$. При $L = B$ (меандр квадратной формы) и $a = b$ выражение упрощается $n_{\text{опт}} \approx \sqrt{\dfrac{K_{\text{ф}}}{2}}$, а $n_{\text{опт}}$ можно округлить до ближайшего целого. Далее можно определить длину $L = n(a + b)$ и ширину $B = \dfrac{l_{\text{ср}} - an}{n}$ меандра, где n – оптимальное число звеньев меандра – $n_{\text{опт}}$.

Расстояние a для напыления резисторов через маску определяется минимально возможным расстоянием между соседними щелями в маске $a_{\min}$.

Для обеспечения требуемой жесткости маски оно должно удовлетворять условию $\dfrac{B_{\max}}{a} \leq 10$. Для фотолитографического метода последнее условие некритично.

При синтезе вариантов проводится расчет каждой из возможных групп вариантов и проверка результата расчета на допустимость выполнения всех требований ТЗ. Процедура повторяется до комбинаторного перебора всех вариантов из морфологической таблицы.

При первичной проверке на допустимость программа выдает решение: вариант – «*удачный*» или в случае не выполнения ТЗ: вариант – «*недопустим*».

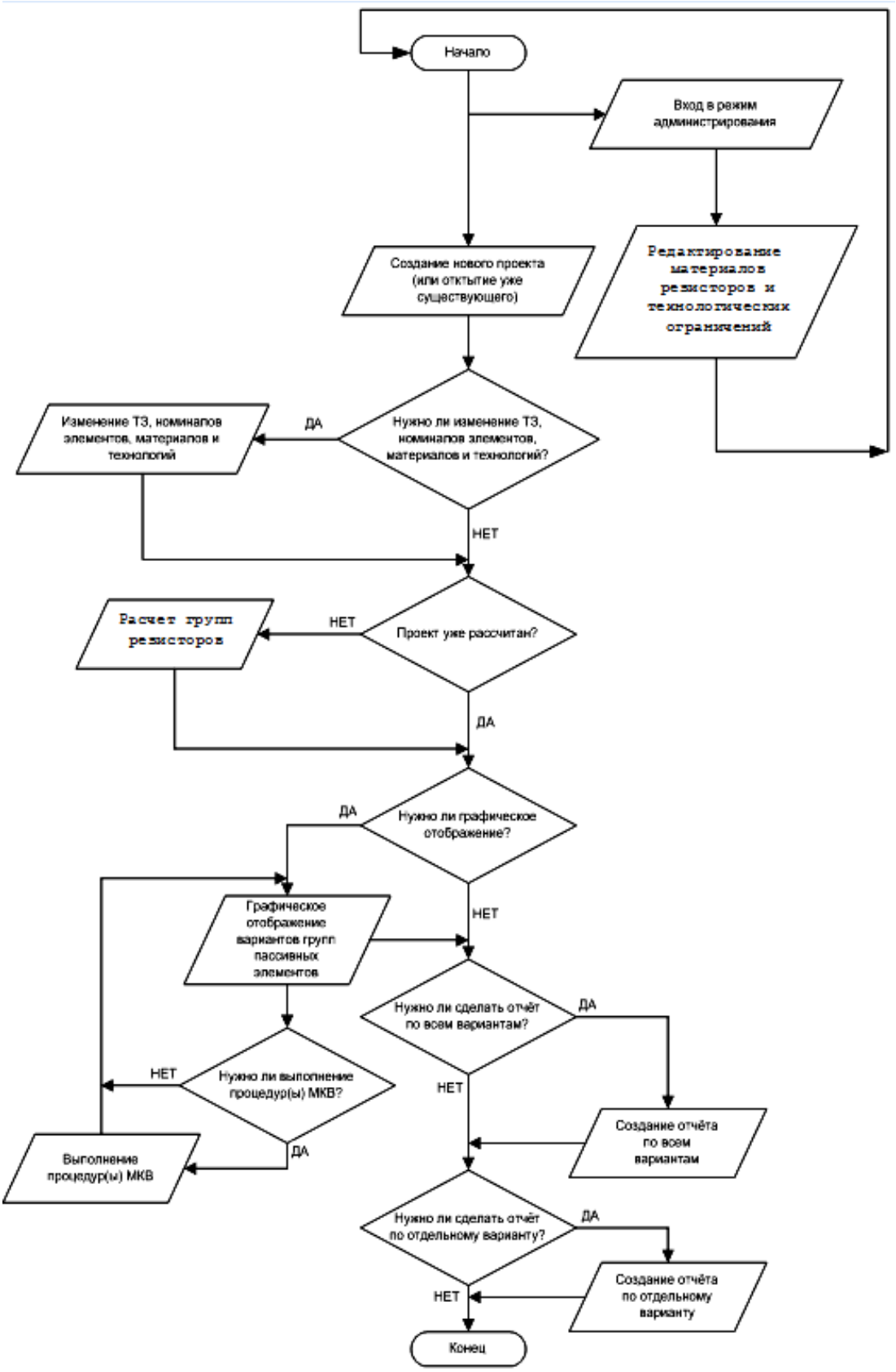


Рис. 6. Алгоритм расчета резисторов для групп вариантов

Таким образом, решается задача формирования допустимых вариантов текущего проекта, в которых разработчику выдаются данные о суммарных площадях, занимаемых группой резисторов $\{S_\Sigma\}$, суммарных приведенных ошибках $\{\gamma_{R\Sigma}\}$ и полная информация обо всех геометрических размерах каждого из спроектированных резисторов.

Многокритериальный выбор (МКВ) по критериям с нарастающей силой вначале проводится по критерию Парето $\pi(\Omega/\{\gamma_{R\Sigma}, S_\Sigma\})$, а затем по лексикографическому критерию $L(\Omega/<\gamma_{R\Sigma}, S_\Sigma>)$. Показателями качества при этом являются общая суммарная площадь S_Σ, и условная результирующая относительная погрешность для группы резисторов $\gamma_{R\Sigma}$. Причем, для условного L-критерия предпочтения задаются исходя из требований на надсистему, например $\gamma_{R\Sigma} \succ S_\Sigma$ или $S_\Sigma \succ \gamma_{R\Sigma}$.

На рис. 6 представлен алгоритм автоматизированного расчета каждого из вариантов групп резисторов.

Пример реализации методики САПР резистивных микросборок

Рассмотрим пример проектирования резистивной микросборки. Принципиальная схема, состоящая из набора резистивных делителей (рис. 7), задана. Проведем многовариантное, многокритериальное проектирование резистивной микросборки с помощью САПР «Микродизайнер».

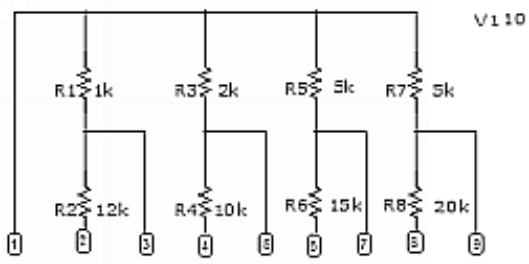


Рис. 7. Принципиальная схема МС

ТЗ на проектирование содержит следующие требования:

температура окружающей среды – 20 °С;
погрешность воспроизведения – 2 %;
погрешность старения – 2 %;
мощность – до 20 мВт;
ошибка – 20 %.

Алгоритм проектирования включает следующие этапы: ввод ТЗ на проектирование; морфологический синтез вариантов групп резисторов с расчетом каждого варианта микросборки; расчет групп резисторов и выбор допустимых вариантов; анализ и выбор вариантов по π и L-критериям; графическое представление результатов проектирования.

Результаты автоматизированного расчета и формирования допустимых вариантов в пространстве «*Площадь – Ошибка*» отображены в скрин-окне (рис. 8).

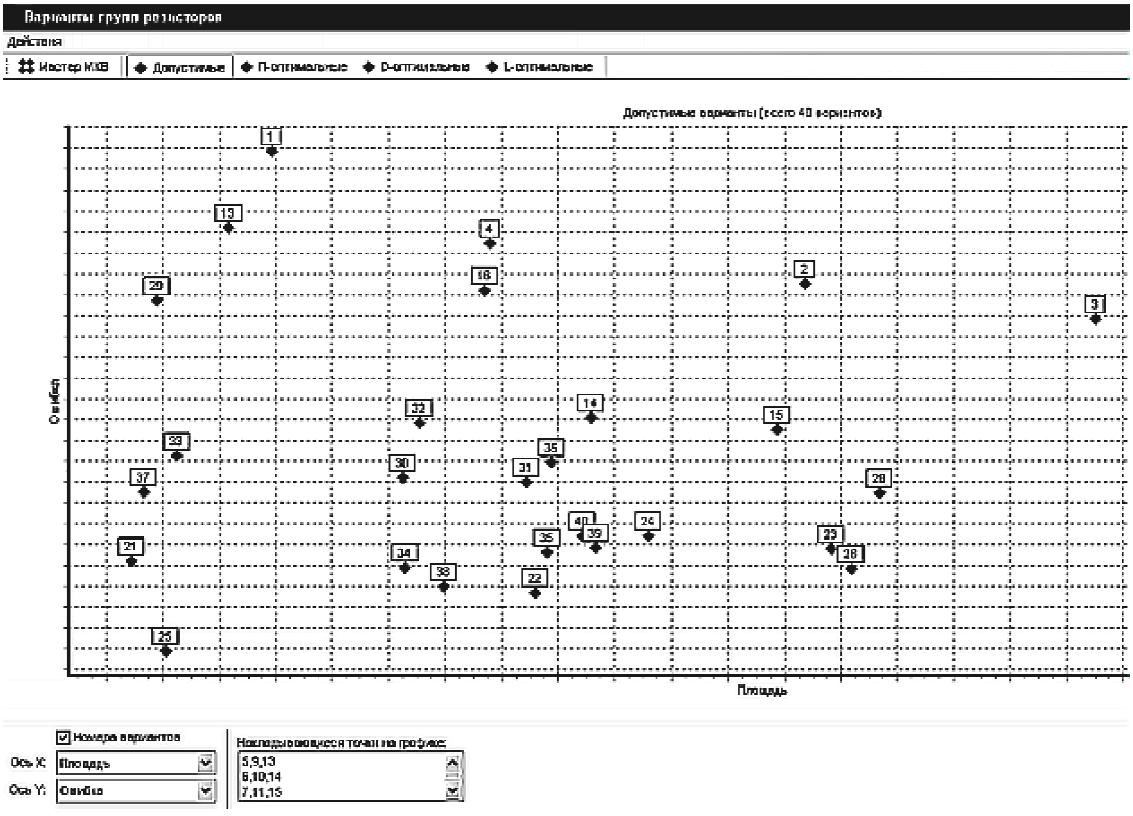


Рис. 8. Множество сформированных допустимых вариантов проектов групп резисторов

На рис. 9 в скрин-окне выделены оптимальные варианты (21, 25) по критерию Парето $\pi(\Omega/\{\gamma_{R\Sigma}, S_\Sigma\})$. На рис. 10 показан выбранный окончательно вариант 25 по L-критерию $L(\Omega/<\gamma_{R\Sigma}, S_\Sigma>)$ для минимальной ошибки $\gamma_{R\Sigma} \to \min$.

Рис. 9. Скрин-окно с выделенными вариантами, оптимальными π-критерию

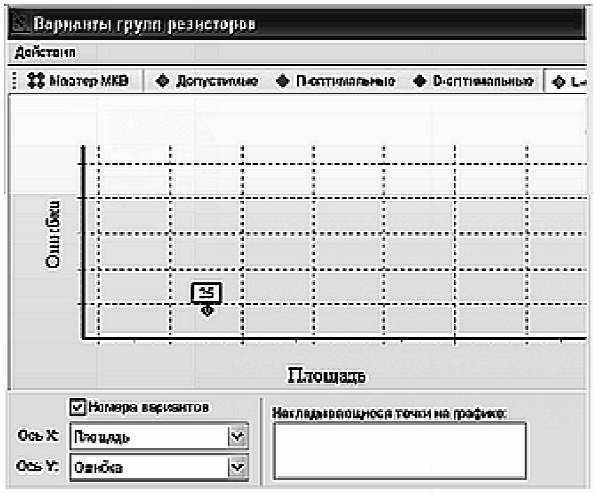


Рис. 10. Скрин-окно с выделенным вариантом, оптимальным по L-критерию

Окончательный выбор варианта микросборки осуществляется эвристически на основании ТЗ, условий эксплуатации и типа производства электронного устройства. Предположим, что эвристический выбор совпадает с выбором по L-критерию. Отсюда, выбираем вариант проекта группы тонкопленочных резисторов № 25.

Протокол распечатки этого варианта содержит интегральные оценки (рис. 11) и данные по всем элементам (на рис. 12 для 1 и 8 вариантов).

Вариант (25) проектирования группы резисторов, выполненных в едином технологическом цикле

Материал резистивной плёнки: №9, кермет К-50С (ЕТО.021.013 ТУ)
Материал контактных площадок: золото с подслоем хрома (нихрома)
Удельное поверхностное сопротивление: 1Е4 Ом/квадрат
Допустимая удельная мощность рассеяния: 2 Вт/кв.см
Оптимальное сопротивление квадрата плёнки: 0 Ом/квадрат

Технология изготовления ГИС: №1, фотолитографический метод
Ограничения технологии:
-> Минимальная ширина (B): 0,10 мм
-> Минимальная длина (L): 0,10 мм
-> Минимальное расстояние между элементами (A): 0,10 мм
-> Минимальное перекрытие (E): 0,10 мм

Погрешность воспроизведения: 2 %
Погрешность старения плёнки: 2 %
Температурная погрешность: 0 %

№	Сопротивление (R, кОм)	Мощность (P, мВт)	Точность (Y, %)	Коэффициент формы (Кф)
R1	1	1	20	0,10
R2	12	6,9	20	1,20
R3	2	1,38	20	0,20
R4	10	6,8	20	1,00
R5	5	1,25	20	0,50
R6	15	3,75	20	1,50
R7	5	1	20	0,50
R8	20	3,2	20	2,00

Рис. 11. Протокол интегральных оценок проекта

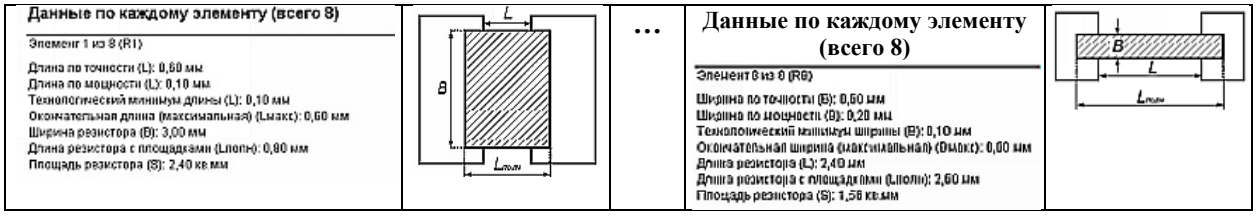


Рис. 12. Протокол по всем (1–8) вариантам проекта

Выводы

Разработанная САПР резистивных тонкопленочных ИМС реализует генерацию множества возможных структурно-технологических вариантов резистивной микросборки на основе принципа дивергенции с помощью автоматического морфологического синтеза. В качестве структурных композитов приняты функциональные материалы резисторов и возможные технологии. От этих составляющих в значительной степени зависит площадь, занимаемая группой резисторов на подложке и точность элементов. В основу сравнительного анализа и выбора проектных вариантов положена методика последовательного критериального усечения спроектированного множества с помощью критериев с нарастающей силой <π, *L*>. Окончательный проектный вариант является оптимальным в принятой ЛПР критериальной постановке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструирование и технология микросхем : учеб. пособие для вузов / под ред. Л. А. Коледова. – М.: Высшая школа, 1984. – 231 с.

2. *Кандырин, Ю.В., Покровский, Ф.Н., Сорокин, С.А.* Элементы конструкций РЭА и ЭВА : учеб. пособие / под ред. Ю. В. Кандырина. – М.: Изд-во МЭИ, 1993. – 304 с.

3. *Кандырин, Ю.В* Многокритериальный анализ, выбор и структурирование вариантов в САПР: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2014. – 312 с.

4. *Спирин, В.Г.* Способы компенсации систематических погрешностей тонкопленочных элементов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 11. С. 47–49.

5. *Леухин, А.В. Андрейкин, В.Н., Нагаев, А.А.* Анализ влияния технологических операций на выходные показатели качества резистивных сборок // Вестник МарГТУ. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2008. № 2. С. 56–62.

6. *Камаев, В.А., Кандырин, Ю.В*. Онтологические предпосылки проектной деятельности и САПР / Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 20. № 6(133). С. 97–102.

7. Kandyrin, Yu., Kamaev, V. Kononov, M., Shkurina, G. Algorithm of Organization of Variants in the Electronic Quick References of CAD // 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. 416–422. – (Ser. Communications in Computer and Information Science. Vol. 535).

8. *Кандырин, Ю.В., Кононов, М.Е, Половинкин, А.И.* Выбор вариантов аналогов по условным неметрическим критериям в ассоциативных структура**х** // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2(157). С.151–158.

9. Averchenkov, V., Roschin, S., Rytov, M., Averchenkov, A., Kamaev, V. Conceptual Model of Monitoring Ineformation on the Internet (2015) International Journal of Soft Computing, 10 (3), pp. 220–225.

10. Fomenkov, S.A., Korobkin, D.M., Kolesnikov, S.G., Kamaev, V.A., Kravets, A.G. The automated methods of search of physical effects (2015) International Journal of Soft Computing, 10 (3), pp. 234–238.

11. *Камаев, В.А.* Применение неметрических методов многокритериального планирования для поддержки принятия решений в задачах технического обслуживания и ремонта / В.А. Камаев, В.Ю. Мельник, А.В. Кизим // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 7. С. 98–106.

РОБОТОТЕХНИКА

УДК 62-523.8

А. Е. Гаврилов

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ ДВИЖЕНИЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ С ИНСЕКТОМОРФНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУТЕМ*

Волгоградский государственный технический университет

gavrilov@vstu.ru

В работе описывается концепция шагающего робота с инсектоморфным шагающим движителем. Описывается конструкция роботизированной транспортной платформы, в которой для перемещения используется шагающий инсектоморфный движитель. Приводятся основные сведения об экспериментальном способе получения программных движений.

Ключевые слова: шагающий инсектоморфный движитель, роботизированная платформа, автономный робот, мехатронный модуль, алгоритмы перемещения, приводы шагания, механизм адаптации.

A. E. Gavrilov

EXPERIMENTALLY OBTAINING LAWS OF MOTION ROBOTIC PLATFORM WITH EITHLEGGED MOVER

Volgograd State Technical University

The paper contains the description of the autonomous robotic walking platform with system of environment monitoring. Construction details of robotic walking platform which used to move the walking insect mover is described.

Keywords: walking orthogonal mover, robotic platform, an autonomous robot, mechatronic module, algorithms of movement, the pacing drives, the adaptation mechanism.

В результате появления новых мощных вычислительных систем стало возможным точное управление сложными электромеханическими исполнительными механизмами. В результате человечество научилось решать ряд задач и выполнять большое количество работ с помощью роботов. Применение робототехнических средств, для решения различных задач в особых условиях, по сравнению с человеческим трудом, имеет ряд преимуществ. Роботы выполняют работу быстрее и с меньшими погрешностями чем человек, с меньшими финансовыми затратами, и с большей производительностью. Поэтому, повсеместное внедрение робототехнических систем для выполнения различных работ и технологических операций становится приоритетным направлением развития [1].

Проблема сохранения экологии планеты является важной и сложной задачей для всех стран мира, без исключения [2]. Сохранение экологической ситуации включает в себя решение множества взаимосвязанных, трудно формализуемых задач. Для решения подобных задач необходимо создание экспертных систем для накопления и анализа информации об окружающей среде. В настоящее время для наблюдения, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов, используются различные методы [2,3]. Для выяснения экологического состояния, снятия проб в зараженных и опасных областях организуются экспедиции в труднодоступные районы, проводятся аналитические исследования и т. д. Проведение экспедиций является не выгодным в финансовом отношении и впоследствии не всегда окупается. Проведение экспедиций, помимо экономических затрат, носит временный характер, а для выявления фундаментальных закономерностей, информацию об окружающей среде необходимо получать постоянно, в течение длительного периода времени. Проведение длительных экспеди-

© Гаврилов А. Е., 2016

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-01-31376, № 15-08-04166, № 15-41-02578

ций для постоянного круглогодичного получения информации и проведения замеров интересующих показателей также экономически не обосновано из-за географической удаленности и труднодоступности мест мониторинга.

Разработана математическая модель робота «Октопод-1» [4] с инсектоморфным шагающим движителем, кинематическая схема которого представлена на рис. 1 и 2.

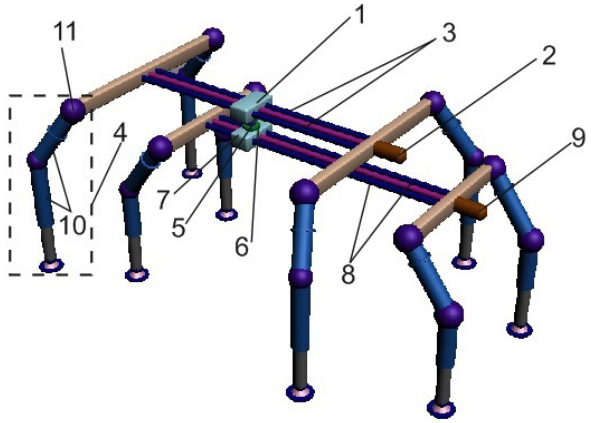


Рис. 1. Кинематическая схема шагающего инсектоморфного движителя «Октопод-1»:
1 – корпус верхней рамы; *2* – привод горизонтального перемещения верхней рамы; *3* – направляющие верхней рамы; *4* – конечность инсектоморфного движителя; *5* – вертикальная вращательная пара пятого класса; *6* – привод поворота рам; *7* – корпус нижней рамы; *8* – направляющие нижней рамы; *9* – привод горизонтального перемещения нижней рамы

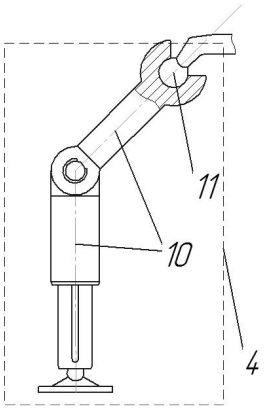


Рис. 2. Кинематическая схема ноги шагающего инсектоморфного движителя «Октопод-1»:
10 – звенья незамкнутой кинематической цепи связанные вращательной парой пятого класса, *11* – вращательная пара четвертого класса

Если принять за k число звеньев механизма, то общее количество степеней свободы до соединения в кинематическую цепь равно $6k$. При обозначении имеющихся кинематических пар одного класса как p_i (i – номер класса), то число накладываемых условий связи $\sum_{i=1}^{5} ip_i$, а число степеней свободы будет

$$N = 6k - \sum_{i=1}^{5} ip_i \qquad (1.1)$$

Если одно из звеньев считается неподвижным, то число степеней свободы будет равно

$$N = 6n - \sum_{i=1}^{5} ip_i \qquad (1.2)$$

где $n = k - 1$ – число подвижных звеньев, k – число звеньев кинематической цепи, Число обобщенных координат определяется структурной формулой (1.2). Таким образом число степеней свободы каждой механической конечности будет равным

$$N = 6k - \sum_{i=1}^{5} ip_i = 6 \cdot 2 - (4 + 5) = 3\,, \qquad (1.3)$$

Общее число степеней свободы механизма при условии наличия в инсектоморфном движителе восьми конечностей представляющих собой незамкнутую кинематическую цепь, в таком случае, будет равно 24. Также поворотный шарнир пятого класса и поступательные пары пятого класса, обеспечивающие относительное перемещение верхней и нижней рам добавляют механизму 3 степени свободы. Таким образом, общее число степеней свободы 27.

Подобная конструкция робота с инсектоморфным шагающим движителем может быть представлена как многозвенная механическая система. Схема математической модели робота представлена на рис. 3.

Математическая модель робота представляется в виде многозвенной механической системы относительно неподвижной системы координат *0XYZ*, с геометрическим центром корпуса робота показанном на рис. 3, связана система координат $0X_1Y_1Z_1$.

Относительное положение центра отсчета подвижной системы координат определяется радиус-вектором $\overrightarrow{R_{01}}$. Положение верхней и нижней частей робота относительно корпуса определяется векторами $\overrightarrow{R_{12}}$ и $\overrightarrow{R_{13}}$ соответственно. Определить их возможно зная геометрические параметры механической конструкции и координату x_1 точек *A* и *B*. Из известных заранее геометрических параметров конструкции однозначно определяются векторы $\overrightarrow{R_{31}}$ и $\overrightarrow{R_{32}}$. Таким образом положение опорной точки каждой ноги в подвижной системе координат определяется геометрической суммой пяти векторов. Для первой ноги нижней рамы такая сумма запишется в виде

$$\overrightarrow{R_{0C}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{13}} + \overrightarrow{R_{31}} + \overrightarrow{R_{311}} + \overrightarrow{R_{312}} \qquad (1.4)$$

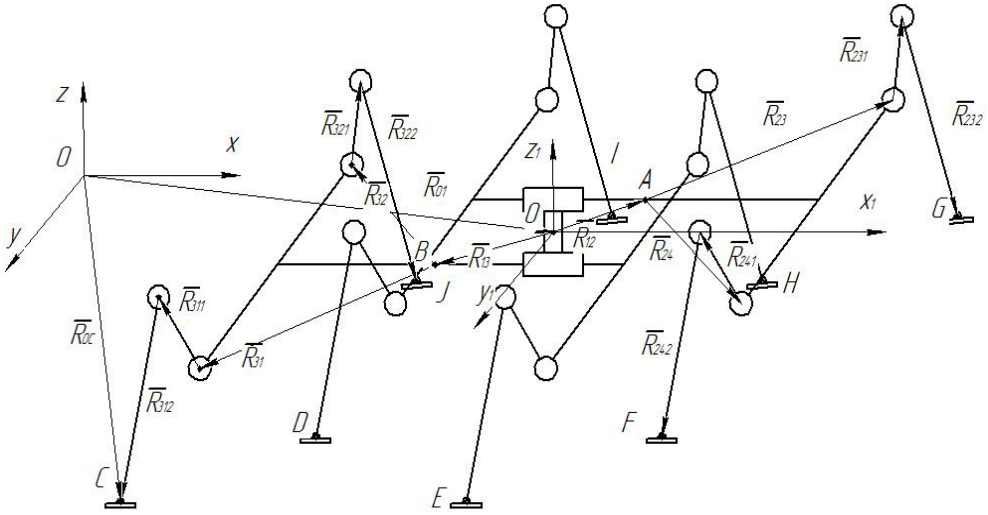


Рис. 3. Схема инсектоморфного движителя «Октопод-1» (часть векторов не указана)

Однозначное положение робота в неподвижной системе координат описывается системой из восьми векторных уравнений:

$$\begin{cases} \overrightarrow{R_{0C}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{13}} + \overrightarrow{R_{31}} + \overrightarrow{R_{311}} + \overrightarrow{R_{312}} \\ \overrightarrow{R_{0J}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{13}} + \overrightarrow{R_{32}} + \overrightarrow{R_{321}} + \overrightarrow{R_{322}} \\ \overrightarrow{R_{0H}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{13}} + \overrightarrow{R_{33}} + \overrightarrow{R_{331}} + \overrightarrow{R_{332}} \\ \overrightarrow{R_{0E}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{13}} + \overrightarrow{R_{34}} + \overrightarrow{R_{341}} + \overrightarrow{R_{342}} \\ \overrightarrow{R_{0D}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{12}} + \overrightarrow{R_{21}} + \overrightarrow{R_{211}} + \overrightarrow{R_{212}} \\ \overrightarrow{R_{0I}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{12}} + \overrightarrow{R_{22}} + \overrightarrow{R_{221}} + \overrightarrow{R_{222}} \\ \overrightarrow{R_{0G}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{12}} + \overrightarrow{R_{23}} + \overrightarrow{R_{231}} + \overrightarrow{R_{232}} \\ \overrightarrow{R_{0F}} = \overrightarrow{R_{01}} + \overrightarrow{R_{12}} + \overrightarrow{R_{24}} + \overrightarrow{R_{241}} + \overrightarrow{R_{242}} \end{cases} \quad (1.5)$$

При построении математической модели использовались следующие допущения:

1. Механическая система состоит из абсолютно твердых тел.

2. На механические звенья наложены идеальные связи.

3. Параметры робота, в том числе длины механических звеньев известны заранее.

4. Углы относительного поворота звеньев известны и определяются данными полученными от системы очувствления.

5. Робот перемещается по недеформируемой абсолютно жесткой плоской поверхности совпадающей с плоскостью X0Y неподвижной системы координат.

6. Робот находится в поле сил тяжести, направление силы тяжести совпадает с нормалью, проведенной к поверхности X0Y.

7. При расчете кинематики и алгоритмов перемещения, массы звеньев робота не учитываются.

При создании конструкции робота с инсектоморфным шагающим движителем применен блочно-модульный принцип построения электромеханических структур на базе унифицированных автоматизированных электроприводов с программируемыми микроконтроллерами. Подобные схемы используются для построения конструкций мобильных роботов и систем управления многодвигательными электроприводами машин и агрегатов типовых групп технологического и транспортного оборудования, а также автоматизированных технологических комплексов базовых отраслей промышленности.

Блочно-модульный принцип позволяет повысить ремонтопригодность системы в целом, быстро заменять вышедшие из строя унифицированные модули, перестраивать их структуру, создавать робототехнические схемы с гибкими функциональными возможностями, обеспечивающие рациональное использование информационных и энергетических ресурсов. В рамках существующей робототехнической системы все блоки выполняются совместимыми по интерфейсу, т. е. совместимыми по параметрам и характеристикам носителей информации, похожими по конструктивному исполнению, с унифицированными устройствами коммутации. Блоки создаются посредством монтажа и коммутации отдельных модулей, которые, в свою очередь собираются из отдельных деталей и узлов.

Каждая нога инсектоморфного движителя является пространственным механизмом, представляющим собой незамкнутую кинематическую цепь, состоящую из нескольких базисных звеньев соединенных между собой шарнирами с разным числом степеней подвижности и од-

ного для каждой ноги свободного концевого звена. За счет наличия свободного звена появляется возможность выбора мест постановки опорных стоек в пределах зоны достижимости механизма ноги. Это расширяет адаптационные возможности мобильных робототехнических систем построенных на базе шагающего инсектоморфного движителя в сравнении с другими движителями.

Кинематическая схема инсектоморфного движителя допускает бесконечное число алгоритмов перемещения опорной точки концевого звена шагающего аппарата между двумя точками пространства. В связи с этим встает вопрос выбора оптимального алгоритма перемещения с точки зрения различных критериев оптимальности. Кинематика движения ноги инсектоморфного робота рассчитывается с помощью методов теоретической механики [5, 6].

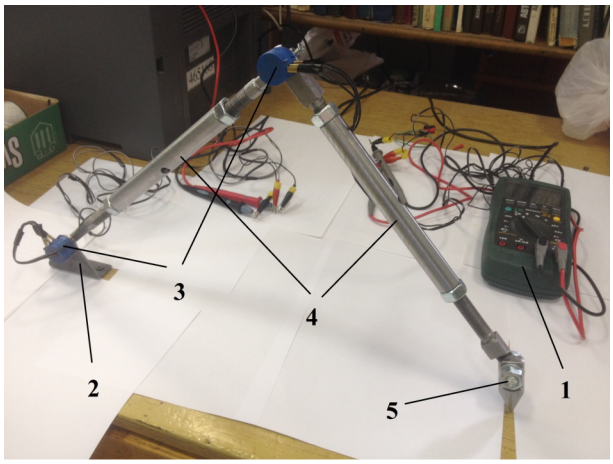


Рис. 4. Экспериментальный стенд:
1 – мультиметр; *2* – кронштейн; *3* – потенциометры;
4 – звенья переменной длины; *5* – опорный конус

Для экспериментальной проверки полученных теоретических законов изменения углов относительного поворота звеньев ноги шагающего инсектоморфного движителя, в зависимости от траектории движения опорной точки механизма, создан экспериментальный стенд (рис. 4). Стенд состоит из персонального компьютера, двух мультиметров «Mastech» *1* с цифровым выходом для подключения к ПК, кронштейна *2*, потенциометров *3*, двух звеньев переменной длины *4*, опорного конуса *5*. Звенья соединяются между собой, а также крепятся на кронштейне, с помощью втулок и вала потенциометра. Данные об изменяющемся сопротивлении потенциометра, в зависимости от положения опорного конуса, передаются с помощью цифровых мультиметров на персональный компьютер. По данным датчиков строятся графики зависимости изменения углов положения от времени. По этим данным в дальнейшем строятся законы программного перемещения звеньев механизма шагания и проводится моделирование движения всего робота, состоящего из корпуса и восьми ног, каждая из которых состоит из шарнирного двухзвенника, соединенного с корпусом сферическим шарниром, на свободном конце которого закреплена опорная плита [5, 6].

Разработки шагающих машин и роботов затруднены сложностью динамических взаимосвязей составляющих движения шагающего робота со многими приводами, отсутствием мобильных энергетических установок небольшой массы, а также с отсутствием теории оптимального движения шагающих аппаратов. Шагающие инсектоморфные движители являются новыми и полностью не исследованы. Однако движители подобной конструкции перспективны для применения в многофункциональных наземных и подводных транспортно-технологических комплексах, а также для исследования других планет, и применения в космической технике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гаврилов, Ан.Е.* Автономная роботизированная шагающая платформа для мониторинга окружающей среды / Ан.Е. Гаврилов, А.С. Даншин, А.А. Бурханов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 21. №12(139). С. 153–157.

2. *Израэль, Ю. А.* Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 376 с.

3. *Муртазов, А.К.* Экологический мониторинг. Методы и средства : учеб. пособие / А.К. Муртазов. – Рязань, 2008. – 146 с.

4. П. м. 154555 РФ, МПК B62D57/02, B62D57/032. Шагающий инсектоморфный движитель / В.В. Арыканцев, А.Е. Гаврилов, Я.В. Калинин, А.В. Леонард, Н.Г. Шаронов ; ВолгГТУ. – 2015.

5. *Гаврилов, А.Е.* Экспериментальное получение законов движения приводов ноги робота с инсектоморфным движителем / А.Е. Гаврилов // Научные исследования и разработки молодых ученых : сб. мат-лов IV Междунар. молодежной науч.-практ. конф. (г. Новосибирск, 22 апр. 2015 г.) / под общ. ред. С.С. Чернова ; Новосибирский гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2015. – С. 83–87.

6. *Селюнин, Д.М.* Нахождение законов относительного перемещения звеньев конечности инсектоморфного робота экспериментальным путем / Д.М. Селюнин, А.Е. Гаврилов // Сборник тезисов докладов по внутривузовскому смотру-конкурсу научных конструкторских и технологических работ студентов (г. Волгоград, 12–-15 мая 2015 г.) / ВолгГТУ, Совет СНТО. – Волгоград, 2015. – С. 139–140.

УДК62-526 + 519.711.3

А. С. Горобцов[1], А. Е. Андреев[1], П. С. Тарасов[1], А. В. Скориков[1], С. К. Карцов[2]

СИНТЕЗ УСТОЙЧИВЫХ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ШАГАНИЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

[1]Волгоградский государственный технический университет
[2] Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

vm@vstu.ru, kartsov@yandex.ru

Представлены методы синтеза управления робота андроида для небольших скоростей движения. Рассматриваются условия устойчивости в форме уравнений связей для общей системы дифференциально-алгебраических уравнений. Приведены результаты натурных экспериментов.

Ключевые слова: математическое моделирование, робототехника, шагающие роботы, управление.

A. S. Gorobtsov[1], A. E. Andreev[1], P. S. Tarasov[1], A. V. Skorikov[1], S. K. Kartsov[2]

SYNTHESIS OF STABLE QUASISTATIC STEPPING MODES OF ANTHROPOMORPHIC ROBOT

[1]Volgograd State Technical University
[2] Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Methods for the synthesis of control of anthropomorphic robot for low velocities are presented. The stability conditions in the form of constraint equations for the overall system of differential-algebraic equations are described. The results of field experiments are given.

Keywords: mathematical modeling, robotics, walking robots, control.

Разработка антропоморфных роботов имеет давнюю историю [1, 2]. Существует достаточно большое количество опытных образцов роботов андроидов [3], которые демонстрируют выполнение ряда режимов движения. Тем не менее, создание методов управления двуногими роботами остается актуальным. Универсальным методом синтеза управляемого движения роботов является метод обратной задачи [4]. Для обеспечения устойчивости используется метод нулевого момента [2]. В работе рассмотрено применение этих методов для генерации управляемого движения робота андроида.

Уравнения для генерации управления имеют вид:

$$\begin{cases} M\ddot{x} - D^T p - D_w^T p_w = f(\dot{x}, x, t), \\ D\ddot{x} = h(\dot{x}, x), \\ D_w\ddot{x} = \ddot{w}(t). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь x – вектор обобщенных координат всей системы размерностью n; M – матрица инерции; $f(\dot{x}, x, t)$ – вектор внешних сил; D – матрица переменных коэффициентов уравнений связей от кинематических пар размерностью $k \times n$; $h(\dot{x}, x)$ – вектор правых частей уравнений связей; p – вектор множителей Лагранжа, соответствующих кинематическим парам. Управление системой сводится к перемещению ее точек по траекториям $w(t)$, найденным, например, методами оптимального управления. D_w – матрица переменных коэффициентов уравнений связей для точек, движение которых задано функциями $w(t)$; p_w – вектор множителей Лагранжа, соответствующих программным траекториям $w(t)$.

Для синтеза управляемого движения существенным является последнее уравнение системы (1), которое определяет программное движение. В этом уравнении можно выделить три группы уравнений связей:

$$\begin{cases} D_{wb} = w_b, \\ D_{wf} = w_f, \\ D_{ws} = w_s. \end{cases} \quad (2)$$

Функция w_b задает желаемое программное перемещение точек корпуса робота; w_f – перемещение точек стоп шагающих движителей, которое реализует w_b; w_s – перемещение некоторых вспомогательных точек, обеспечивающих устойчивость.

Формирование и решение уравнений (1) реализовано в программном комплексе моделирования динамики связанных систем тел ФРУНД [5, 6], который включает в себя специальные программные модули, реализующие вычисление функций w_b, w_f [7]. Трехкомпонентная функция w_s описывает перемещения координат ц.м. робота в процессе ходьбы. Принимается, что вертикаль-

© Горобцов А. С., Андреев А. Е., Тарасов П. С., Скориков А. В., Карцов С. К., 2016

ная координата ц.м. остается постоянной, а координаты проекции центра масс (далее ц.м.) на опорную плоскость совпадают с выбранной точкой опорной ноги в фазе переноса второй ноги или перемещаются от одной ноги к другой в фазе одновременной опоры двух ног. На рис. 1 показан типичный график продольного перемещения проекции ц.м. при движении робота вперед.

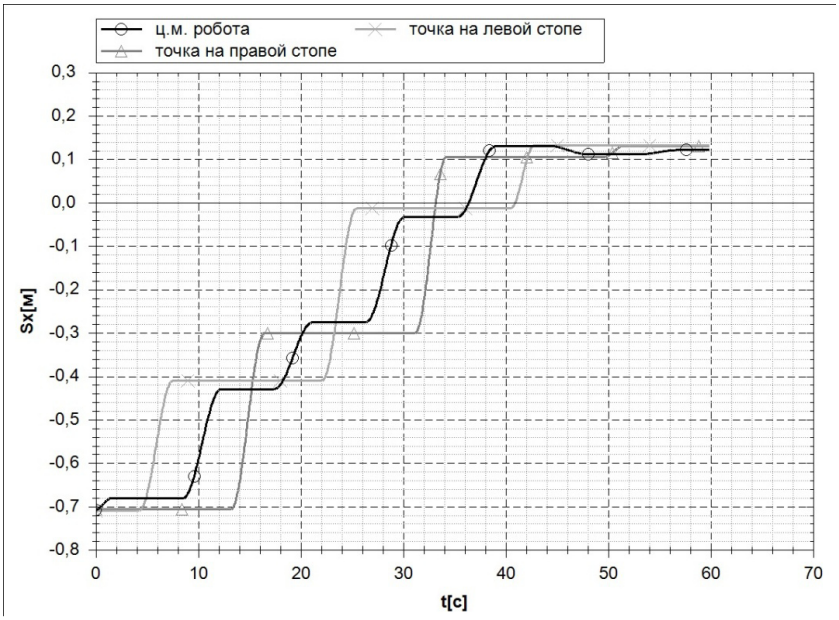


Рис. 1. Продольное перемещение ц.м. робота при движении вперед

Рис. 2. Перешагивание робота по ступеньке (http://frund.vstu.ru/tag/robot/)

Разработанные методы и программы использованы для управления движением робота АР600. Предложенный метод позволил получить статически устойчивое движение андроида при движении вперед, назад, вбок и при перешагивании через ступеньку – рис. 2.

В результате работы были синтезированы и экспериментально проверены законы управления роботом андроидом для малых скоростей. Такие законы управления могут быть использованы для создания функциональных прототипов роботовандроидов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белецкий, В.В.* Двуногая ходьба. Модельные задачи динамики и управления / В.В. Белецкий. – М.: Наука, 1984.

2. *Vukobratovic, M., Borovac, B.* / Biped locomotion dynamics, stability, in: Control and Application, Springer-Verlag, Berlin, 1990.

3. DRCFinals – QualifiedTeams [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : http://www.theroboticschallenge.org/teams

4. *Крутько, П.Д.* Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные модели / П.Д. Крутько. – М.: Наука, 1988.

5. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкций автомобилей : монография / А. С. Горобцов [и др.]. – М. : Машиностроение, 2011. – 462 с

6. *Гетманский, В.В.* Решение задач большой размерности в системах моделирования многотельной динамики с использованием параллельных вычислений / В.В. Гетманский, А.С. Горобцов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 9(35). С. 9–12.

7. *Горобцов, А.С.* Синтез параметров управляемого движения многозвенных механических систем произвольной структуры методом обратной задачи / А.С. Горобцов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 6. – С. 43–50, 2 с. обл.

УДК 51-74+517.9

Я. В. Калинин, Е. С. Брискин

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОХОДОК МОБИЛЬНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА*

Волгоградский государственный технический университет

dtm@vstu.ru, jkv83@mail.ru

Ставится модельная задача определения энергетически эффективной походки многоногого шагающего робота при движении по абсолютно твердому грунту. Методами классического вариационного исчисления получено решение, которое задает оптимальную, по критерию минимума тепловых потерь в приводном двигателе, походку шагающего робота.

Ключевые слова: шагающий робот, потери энергии, энергетическая эффективность, оптимизация на базе вариационного исчисления.

Ya. V. Kalinin, E. S. Briskin

ABOUT THE HEAT LOSS IN THE DRIVE MOTORS OF WALKING ROBOT, PERFORMS TRANSKATIONAL MOTION

Volgograd State Technical University

Raises the problem of determining a model energy-efficient gait of the multi-legged walking robot while driving on absolutely solid ground. The methods of classical calculus of variations give a mathematical model that determines the walking robot gait according the optimal criterion for low heat losses in the drive motor.

Keywords: walking robot, energy losses, energy efficiency, the optimization based on the calculus of variations.

Известно, что одной из главных проблем, сдерживающих развитие и применение мобильных шагающих роботов является их низкая энергетическая эффективность.

Как было показано [1], необходимая для преодоления пиковых потерь энергии, связанных с периодическим повторением фаз разгона и торможения неуравновешенных движителей, мощность двигателя в приводе курсового движения шагающих машин и роботов, всегда пропорциональна кубу скорости. Это накладывает значительные ограничения на увеличение скорости движения шагающих машин и роботов.

Для уменьшения роста необходимой мощности при увеличении скорости движения применяются различные способы, например, увеличивается соотношение продолжительностей фаз переноса и опорной фазы (увеличене коэффициента режима механизма шагания) [2], введятся в схему механизма шагания какие-либо рекуператоры механической энергии [3].

Оба этих метода имеют различную эффективность, которая зависит и от условий движения, однако эти методы также приводят к усложнению конструкции шагающего робота, увеличению его массы и снижению КПД приводов.

Возможен и другой подход [4]. При этом для шагающих машин и роботов с цикловыми движителями ставится задача определения закона изменения относительной горизонтальной скорости опорной точки механизма шагания, при котором мощность, приводного двигателя во время движения, будет постоянна и минимальна.

Примером шагающей машины, для которой ставилась и решалась такая задача, служит шагающая машина «Восьминог» [5] (рис. 1).

Рис. 1. Шагающая машина «Восьминог»

При постановке модельной задачи оценки энергетической эффективности походок мобильного шагающего робота он представляется сис-

© Калинин Я. В., Брискин Е. С., 2016

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект 16-31-60042-мол_а_дк; Минобрнауки РФ (проект № 862).

темой нескольких твердых тел (рис. 2): корпуса и нескольких опор, жестко соединенных друг с другом безынерционными обратимыми механизмами шагания и приводимых в движение одним общим двигателем, что соответствует кинематической схеме шагающего робота, аналогичного машине «Восьминог», но с большим количеством механизмов шагания в одном движителе.

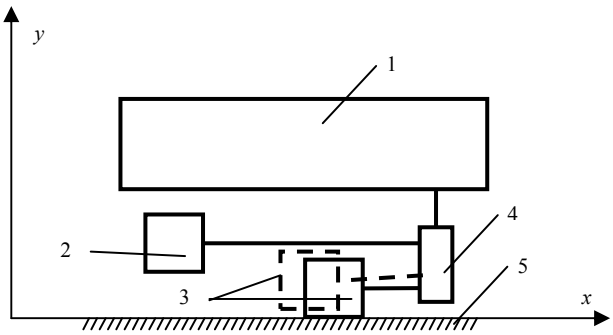


Рис. 2. Модельная схема поступательного движения многоногого шагающего робота с несколькими механизмами шагания в фазе опоры:
1 – корпус; *2* – эквивалентный механизм шагания в фазе переноса; *3* – несколько эквивалентных механизмов шагания в фазе опоры; *4* – привод курсового движения; *5* – грунт

Такие шагающие движители имеют одну степень свободы, так как кинематически представляют собой единый шарнирный четырехзвенник, поэтому теория энергетически эффективного движения таких движителей не может распространяться на общий случай движителей с большим числом степеней подвижности или с индивидуальными приводами каждого движителя. Рекуперация механической энергии в системе осуществляется в две фазы: в той фазе цикла шага, когда требуется ускоренное движение переносимой стопы, стопы, находящаяся в опоре, и корпус робота движутся замедленно. За счет инерции корпуса, момент на ведущем валу опорных механизмов шагания становится отрицательным, и, при постоянстве момента развиваемого двигателем, момент на ведущем валу переносимого механизма возрастает. Таким образом, происходит перераспределение кинетической энергии от корпуса к ускоренно движущемуся механизму шагания и, аналогично, в обратном направлении при замедлении механизма шагания. Следовательно, при соответствующем выборе параметров механизма шагания и управления вращением приводного вала шагающего движителя можно добиться того, чтобы мощность, развиваемая двигателем, оставалась постоянной и была минимальной.

Подробно теория рекуперации механической энергии в системе «корпус машины – переносимый механизм шагания» изложена в [6].

При решении задач, связанных с видоизменением походки шагающего робота или определении оптимальной походки, важным является ограничение на движение стоп относительно корпуса робота. Движение механизмов шагания робота должно задаваться таким образом, чтобы в каждый момент времени не менее трех движителей находилась в опоре – этим обеспечивается статическая устойчивость робота. При наличии более четырех механизмов шагания возможна организация значительного числа различных походок, отличающихся друг от друга сдвигом фаз опоры и переноса каждого конкретного механизма шагания, при выполнении условия статической устойчивости.

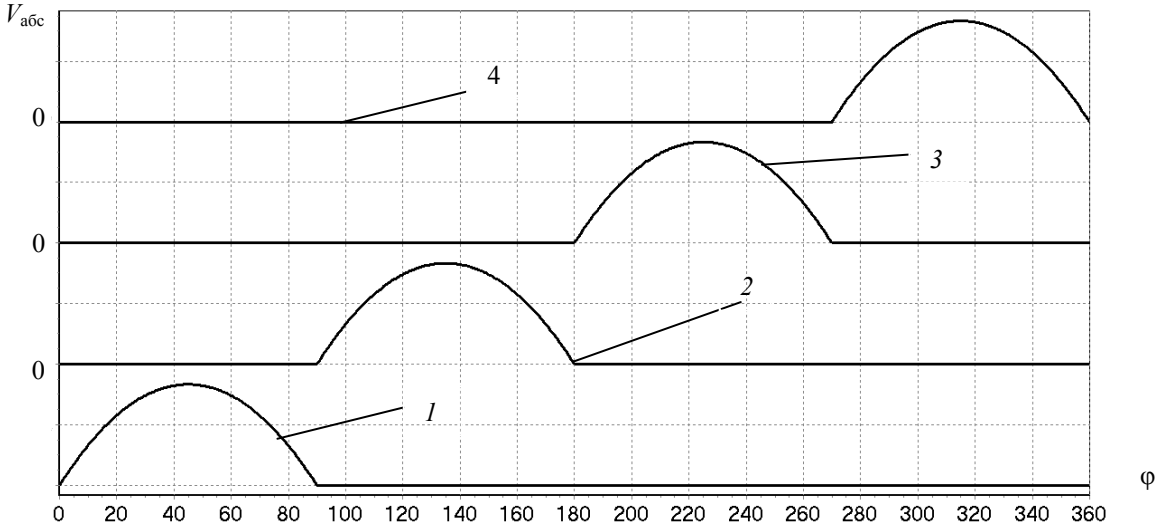


Рис. 3. График скоростей опорных точек движителя за время одного поворота кривошипа шагающего движителя:
1 – первый переносимый движитель; *2* – второй переносимый движитель; *3* – третий переносимый движитель; *4* – четвертый переносимый движитель

Рассматривается *N*-движительный шагающий робот, у которого всегда только один из движителей находится в фазе переноса. При этом подразумевается, что нет периодов времени, когда нет переноса какого-либо движителя. Примерный вид зависимостей скоростей опорных точек четырехопорного шагающего робота, соответствующих поставленным условиям, может иметь вид, представленный на рис. 3.

Уравнения движения рассматриваемой механической системы, имеющей один общий привод для нескольких механизмов шагания находящихся как в опорной фазе, так и в фазе переноса, включают в себя дифференциальные уравнения движения тел, уравнения связей, устанавливающие зависимость между перемещением ведущего звена, перемещением корпуса робота, переносимого механизма шагания, а также уравнение двигателя при постоянной скорости выходного звена при действии постоянной силы сопротивления движению Q:

$$\begin{cases} M\ddot{x}_1 = \lambda_1 - Q, \\ m\ddot{x}_2 = \lambda_2, \\ x_1 - \Pi_1(\varphi) = 0, \\ x_1 - \Pi_1(\varphi+\Delta\varphi_1) = 0, \\ \ldots \\ x_1 - \Pi_1(\varphi+\Delta\varphi_n) = 0, \\ x_2 - \Pi_2(\varphi) = 0, \\ L - \lambda_1 \dfrac{\partial \Pi_1}{\partial \varphi} - \lambda_2 \dfrac{\partial \Pi_2}{\partial \varphi} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

здесь M, m – масса корпуса робота и эквивалентная масса звеньев механизмов шагания, находящихся в фазе переноса, приведенная к опорной точке; x_1, x_2 – абсолютные горизонтальные координаты корпуса машины массы M и опорной точки переносимого механизма шагания массы m; λ_1, λ_1 – неопределенные множители Лагранжа; φ – обобщенная координата приводного двигателя (например, угол поворота), при этом $\dot{\varphi} = \omega = \text{const}$; $\Pi_1(\varphi), \Pi_2(\varphi)$ – передаточные функции, определяющие голономные стационарные связи между приводным двигателем и опорными движителями и переносимым движителем соответственно; $\Delta\varphi_i$ – сдвиг фазы между условно выбранным первым опорным движителем и всеми остальными, которые находятся в опоре; L – генерируемая приводным двигателем обобщенная сила (в рассматриваемом случае момент).

Полагая, что необратимые непроизводительные потери мощности W, происходящие в приводном двигателе пропорциональны квадрату генерируемой обобщенной силы L, что, например, характерно для двигателей постоянного тока (потери на джоулево тепло в обмотках при силе тока пропорциональной генерируемому двигателем моменту)

$$W = \alpha L^2, \quad (2)$$

где α – постоянный коэффициент пропорциональности.

С учетом того, что

$$\frac{\partial \Pi_1}{\partial \varphi}\dot{\varphi} = \dot{x}_1, \frac{\partial \Pi_2}{\partial \varphi}\dot{\varphi} = \dot{x}_2, \quad (3)$$

после преобразований уравнений (1) имеет место уравнение

$$L\dot{\varphi} = \dot{T} + Q\dot{x}_1. \quad (4)$$

Для того чтобы решить задачу минимизации потерь энергии в приводном двигателе, необходимо обеспечить минимум функционала

$$A = \alpha \int_0^\tau L^2 \mathrm{d}t = \frac{\alpha}{\dot{\varphi}^2} \int_0^\tau \left(\dot{T} + Q\dot{x}_1\right)^2 \mathrm{d}t, \quad (5)$$

где τ – время, соответствующее четверти полного поворота кривошипа привода механизмов шагания или время переноса одного движителя. При решении поставленной задачи обязателен учет дополнительных условий совместности перемещений корпуса робота и его движителей (изопериметрических условий)

$$\int_0^\tau \dot{x}_1 \mathrm{d}t = \frac{S}{4}, \int_0^\tau \dot{x}_2 \mathrm{d}t = S, \quad (6)$$

где S – длина шага одного механизма шагания.

С учетом (6) функционал (5) рассматривается с применением неопределенных множителей Лагранжа следующим образом

$$J = \int_0^\tau \left[\left(\dot{T} + Q\dot{x}_1\right)^2 + \mu_1\dot{x}_1 + \mu_2\dot{x}_2 \right] \mathrm{d}t, \quad (7)$$

где μ_1, μ_2 – неопределенные множители Лагранжа.

В таком случае уравнения Эйлера – Лагранжа для функционала (7) имеют вид:

$$\begin{cases} 2\left(\ddot{T} + Q\ddot{x}_1\right)m_2\dot{x}_2 = \mu_2, \\ 2\left(\ddot{T} + Q\ddot{x}_1\right)m_1\dot{x}_1 - 2Q\left(\dot{T} + Q\dot{x}_1\right) = \mu_1. \end{cases} \quad (8)$$

Также необходимо обеспечить выполнение граничных условий на скорости корпуса робота и переносимого движителя в начале и конце фазы переноса движителя

$$\dot{x}_2(0) = \dot{x}_2(\tau) = 0, \dot{x}_1(0) = \dot{x}_1(\tau) = \dot{x}_{10}, \quad (9)$$

где $\dot{x}_{10}$ – скорость шагающей машины в момент смены опорных точек механизмов шагания, входящих в движитель (в момент переступания). Такими граничными условиями обеспечивается повторяемость движения корпуса в установившемся режиме (равенство скорости корпуса заданной величине в начале и конце периода каждого шага), а также безударные вход в фазу опоры и выход из нее для переносимого движителя.

При наложении граничных условий (9) следует $\mu_2 = 0$ и $\mu_1 = -Q^2S/(2\tau)$.

Тогда из первого уравнения (8), при учете, что неопределенные множители Лагранжа при решении изопериметрических задач являются константами, следует, что

$$\ddot{T} + Q\ddot{x}_1 = 0, \qquad (10)$$

и остается одно содержательное уравнение

$$\dot{T} + Q\dot{x}_1 = Q\frac{S}{4\tau} = QV_{\text{ср}}, \qquad (11)$$

которое при $Q = 0$ сводится к известному ранее результату $\dot{T} = 0$, [7], где $V_{\text{ср}} = S/(4\tau)$ – средняя скорость движения корпуса шагающего робота.

Рассуждая аналогично [4], вводя такие же безразмерные комплексы параметров, упрощающих интегрирование и дальнейшее исследование полученного дифференциального уравнения (11), которое можно решать как численно, так и, в некоторых простейших случаях, аналитически, получаем закон движения переносимого механизма шагания условно выбранного первым. Для всех механизмов шагания законы движения одинаковы, так как каждый закон переноса движителя отличается от других только сдвигом фазы.

При дальнейшем исследовании можно задаваться любым законом переноса корпуса, но с целью упрощения задачи исследования, для того, чтобы можно было найти аналитическое решение достаточно сложного интеграла дифференциального уравнения (11), и обеспечения минимума ускорений на корпусе робота удобно принять равнопеременный закон движения корпуса робота. При таком законе движения на первой половине периоде шага (при разгоне переносимого механизма шагания) происходит замедление корпуса с постоянным ускорением, а на второй половине периода шага (при торможении переносимого механизма шагания перед входом в фазу опоры) происходит разгон корпуса с постоянным ускорением, равным по модулю ускорению корпуса на первом этапе.

В таком случае, для простейшей походки четырехопорного робота, когда все движители последовательно друг за другом проходят фазы переноса, таким образом, что никакие два движителя не находятся в переносе одновременно, а также нет периодов, когда все четыре движителя находятся в опоре, закон относительного движения переносимого механизма шагания относительно корпуса робота при переносе в отсутствие сил сопротивления представлен на рис. 4. Для наглядности результат сопоставлен с аналогичным движением шагающего движителя машины «Восьминог», при реализации стандартного, не оптимального по критерию минимума потерь энергии в приводных движителях, движения с постоянной скоростью корпуса.

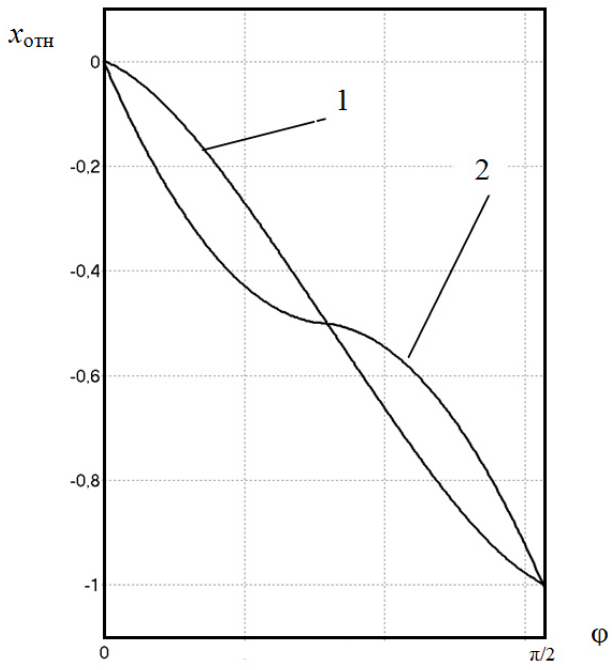


Рис. 4. Сопоставление законов движения опорной точки механизма шагания относительно корпуса для четырехопорного робота, у которого сдвиг фаз опоры составляет 90°: *1* – базовый робот при отсутствии управления (аналог машины «Восьминог»); *2* – при обеспечении энергетически оптимального движения корпуса робота и переносимых масс механизмов шагания

В результате исследования получены законы оптимального по критерию минимума потерь энергии в приводном двигателе движения, которые задают кинематическую характеристику такого циклового механизма шагания, который будет обеспечивать минимум энергозатрат при движении. Для того, чтобы можно было синтезировать передаточное устройство, которое смогло бы обеспечивать необходимый закон движения механизма шагания в переносе при постоянном по угловой скорости вращении

выходного вала приводного двигателя, необходимо задаться режимом маршевого движения шагающего робота, а также конкретными массовыми и геометрическими параметрами движителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лапшин, В. В.* Модельные оценки энергозатрат шагающего аппарата / В. В. Лапшин // Известия АН СССР. МТТ. – 1993. – № 1. – С. 38–43.

2. *Охоцимский, Д. Е.* Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата / Д. Е. Охоцимский, Ю. Ф. Голубев. – М.: Наука, 1984. – 310 с.

3. *Охоцимский, Д. Е.* Об одном способе рекуперации энергии при движении шагающего аппарата / Д. Е. Охоцимский, А. К. Платонов, В.В. Лапшин // Известия АН СССР. МТТ. – 1986. – № 5. – С. 67–71.

4. *Калинин, Я.В.* Оценка энергетической эффективности шагающей машин с цикловыми движителями / Я.В. Калинин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 7. № 12(60). С. 40–44.

5. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 1. Концепция проектирования / Е.С. Брискин [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 5. – С. 22–27.

6. *Брискин, Е.С.* Об энергетически эффективных алгоритмах движения шагающих машин с цикловыми движителями / Е.С. Брискин, Я.В. Калинин // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2011. – № 2. – С. 170–176.

7. *Брискин, Е.С.* Об управлении движением шагающей машины с двигателем минимальной мощности / Е.С. Брискин, В.В. Жога, А.В. Малолетов // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2009. – № 6. – С. 21–30.

Выпускающий редактор
Л. Н. Рыжих

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00
E-mail: president@vstu.ru

Темплан 2016 г. Поз. № 10ж. Подписано в печать 09.06.2016 г. Формат 60 х 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л. 10,35.
Тираж 80 экз. Заказ №
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Известия высших учебных заведений», серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах», публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование наземных транспортных и тяговых систем и их элементов, а также на повышение эффективности транспортных операций.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия журнала, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Диск должен быть вложен в отдельный конверт, на этикетке диска указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, на котором работает автор статьи. В конце статьи ставится подпись автора (на бумажном варианте).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *а*, *б* 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.